ОАО «Гомсельмаш»
Научно-технический
центр комбайностроения

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра

Сборник научных статей восьмой международной научно-практической конференции

Часть 1



15 ноября 2024 года
г. Гомель, Республика Беларусь

Министерство промышленности РБ
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
Национальная академия наук РБ
Государственный комитет по науке и технологиям РБ
Министерство образования РБ

8-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ - СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

15 ноября 2024 г.

Сборник научных статей 8-ой международной научно-практической конференции

В 2 частях
Часть 1

Гомель, Республика Беларусь

УДК 631.3:620.22:001895

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 8-ой международной научно-практической конференции: В 2ч. Ч.1 - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2024. - 246 с.

ISBN 978-985-6477-67-9 (ч.1)
ISBN 978-985-6477-66-2

В сборнике опубликованы научные статьи участников 8-ой международной научно-практической конференции **«Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра»,** посвященные состоянию, тенденциям и направлениям развития сельскохозяйственного машиностроения в области создания тракторов, универсальных энергетических средств, навесных и прицепных машин, машин для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов, новых материалов, методов проектирования с использованием компьютерных технологий, методов повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных машин, включая критерии надежности и безопасности.

© ОАО «Гомсельмаш», 2024

УДК 631.354.2

ПНЕВМОСЕПАРАЦИЯ ЛЕГКИХ КОМПОНЕНТОВ ОЧЕСАННОГО ВОРОХА В КОРПУСЕ АДАПТЕРА

В. Ю. Савин[1], В. Н. Ожерельев[2], В. В. Никитин[2]
[1] Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана,
г. Калуга, Россия;
[2] Брянский государственный аграрный университет,
г. Брянск, Россия

Очес растений на корню является одним из перспективных способов увеличения эффективности уборки зерна. При этом доказана целесообразность предварительного выделения из очесанного вороха свободного зерна и направления его в систему очистки минуя молотильный аппарат комбайна. Такое изменение технологической схемы уборочного процесса способствует, как существенному снижению энергозатрат, так и уменьшению доли дробленого зерна [1, 2].

Наиболее перспективным рабочим органом для осуществления такого рода сепарации является решетчатая поверхность с продольными отверстиями, которая может быть выполнена либо в виде днища наклонной камеры комбайна, либо смонтирована непосредственно перед молотильным барабаном [3]. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что скорость сепарации свободного зерна на решетке с продольными отверстиями уменьшается при увеличении содержания в исходном ворохе легких примесей типа половы [4]. В связи с этим целью наших исследований стало изыскание возможности удаления из исходного вороха как можно большей доли легких компонентов еще в корпусе адаптера, то есть до его поступления в зону сепарации свободного зерна.

Приняв за аналог технологический процесс зерноочистительных машин сформулировали гипотезу о том, что при резком увеличении поперечного сечения воздушного канала вместе с генерируемым очесывающим барабаном избыточным воздушным потоком за пределы корпуса могут быть удалены и легкие компоненты вороха.

Схема предполагаемого технологического процесса представлена на рис. 1. Воздушный поток 2 вместе с компонентами очесанного вороха пройдя через сужение между наклонным щитком 6 и шнеком 12 поступает в зону резкого расширения, ограниченную задней стенкой 8 корпуса адаптера и его крышкой 5. В связи с уменьшением скорости происходит выпадение свободного зерна 10 и других компонентов, сопоставимых с ним по парусности. При этом воздушный поток 4, изменивший направление скорости на противоположное, вместе с частью легких

фракций очесанного вороха, удаляется из корпуса адаптера через прямоугольное окно, сформированное крышкой 5 и корпусом 1. Таким образом, реализуются два принципа сепарации: изменением скорости воздушного потока и его резким поворотом в противоположном направлении. При этом часть воздуха может удаляться и через сетчатое окно 9 задней стенки 8 корпуса адаптера.

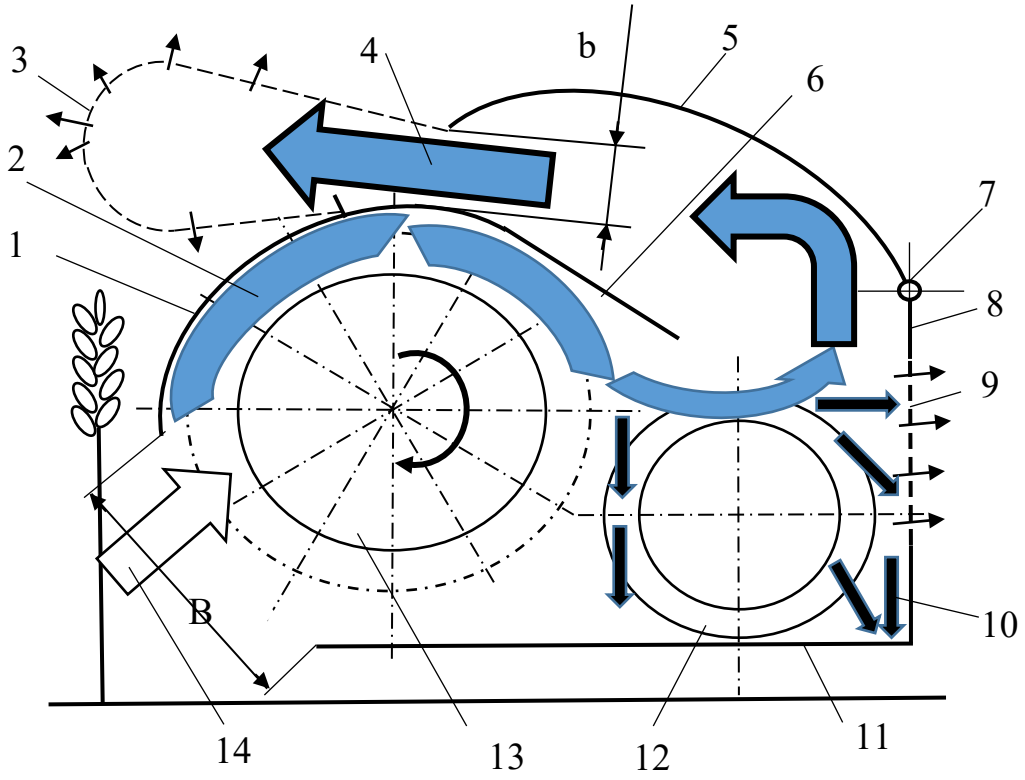


Рис.1 – Схема пневмосепарации легких компонентов очесанного вороха в корпусе адаптера: 1 – щиток передний (регулируемый); 2 – исходный очесанный ворох (с воздухом); 3 – контейнер сетчатый; 4 – выходящий воздушный поток с легкими примесями; 5 – крышка; 6 – щиток внутренний (наклонный); 7 – шарнир;8 – стенка задняя; 9 – сетчатое окно;10 – зерно, колосья и другие наиболее тяжелые компоненты; 11 – днище корпуса; 12 – шнек; 13 – барабан очесывающий; 14 – входящий воздушный поток

Конструкция очесывающей жатки ОЗОН ПАО «Пензмаш» позволила реализовать гипотезу без существенного изменения исходной конструкции (рис. 2). Серийный корпус адаптера включает три верхние сетчатые крышки, которые могут открываться, поворачиваясь на передних шарнирах, открывая доступ со стороны задней стенки корпуса к зоне над шнеком 12. Для осуществления эксперимента левая сетчатая крышка была заменена сплошной крышкой 5 (рис. 1), которая могла поворачиваться на шарнирах 7, смонтированных на задней стенке 8 корпуса адаптера. За счет

этого можно было изменять высоту *b* выходного окна. При этом последнее сориентировано вперед по ходу комбайна. Для улавливания и накопления выносимых воздушным потоком легких компонентов вороха на выходном окне закрепляли быстросъемный сетчатый контейнер 3 (рис. 1).



Рис. 2 - Комбайн «НИВА-ЭФФЕКТ» с модернизированной очесывающей жаткой ОЗОН

Эксперимент проводили на опытном поле Брянского ГАУ (с. Кокино, Брянской области) при уборке яровой пшеницы сорта «Злата» урожайностью 3,2 т/га при влажности зерна 20,5%. Длина учетной делянки – 24 метра. Комбайн проходил учетную делянку в результате чего зерно поступало в бункер, а часть легких компонентов вороха с 1/3 ширины захвата адаптера в сетчатый контейнер (рис. 2). В вариантах опыта высота *b* выходного окна принималась равной 70, 110 и 150 мм. Кроме того, в одной серии экспериментов сетчатое окно 9 (рис. 1) в задней стенке 8 корпуса адаптера закрывали специальным щитком. Во второй серии экспериментов указанное сетчатое окно оставалось открытым, то есть, затянутым сеткой с отверстиями диаметром 2 мм. В каждом варианте опыта измеряли скорость воздушного потока на входе (перед очесывающим барабаном) и на выходе.

Изначально учет легких примесей проводили в абсолютных значениях, то есть, по массе. Но для оценки их доли $P_л$, вынесенной воздушным потоком за пределы корпуса адаптера, выполнили пересчет по формуле

$$P_л = \frac{m}{M_л} 100\% \quad ,$$

где m – масса легких компонентов, накопленных в сетчатом контейнере, кг; $M_л$ – общая масса легких компонентов в ворохе, произведенных в течение одной повторности эксперимента, кг. Величина $M_л$ = 1,6 кг была получена расчетным путем, исходя из содержания в ворохе порядка 10% половы и аналогичных легких компонентов.

Результаты эксперимента представлены в таблице.

Таблица – Доля выделенных легких компонентов вороха и относительные потери зернаВысота выходного окна, мм	Доля выделенных легких компонентов вороха $P_л$, %	Потери зерна, %
С закрытыми щитками		
70	8,5	0,1
110	6,8	0,16
110	9,3	0,13
150	15,7	0,18
С демонтированными щитками		
110	11,4	0,12
150	19,9	0,22

Они свидетельствуют о том, что наибольшая эффективность сепарации достигнута при демонтированных щитках, то есть, при открытых окнах в вертикальной стенке корпуса адаптера, забранных сеткой. При этом выделено порядка 20% имевшихся в ворохе легких компонентов. Оценим этот результат с точки зрения процесса сепарации.

Если рассматривать массовые показатели, то уменьшение массы легких компонентов в суммарной массе вороха на 2% представляется мало значимой. Однако, если перейти к объемным показателям, то ситуация будет существенно иной. Действительно, если объемная масса зерновой смеси составляет 0,59 т/м^3, то для половы и сбоины указанный параметр уменьшается до 0,12 т/м^3. То есть, при одной и той же массе объем половы примерно в пять раз превышает объем зерна. Следовательно, в результате выделения легких компонентов в корпусе адаптера объем вороха, поступающего на сепарацию в наклонную камеру, должен уменьшиться, как минимум, на 10%. Если предположить, что скорость сепарации обратно пропорциональна объему сепарируемого материала, то увеличение указанного показателя на 10% представляется вполне достижимым результатом.

Следует также иметь в виду, что содержание в ворохе половы может варьироваться в значительных пределах в зависимости от культуры и влажности зерна. Представляется правомерным предположить, что при большем содержании в исходном ворохе легких компонентов эффект от их предварительного удаления в корпусе адаптера должен увеличиться.

Что касается потерь зерна, то 0,2% является достаточным основанием для работы над дальнейшей оптимизацией процесса. В частности, это касается перспектив дополнения процесса сепарации еще одной ступенью инерционной очистки жалюзийного типа [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Сепарация очесанного зернового вороха на решетчатом днище наклонной камеры комбайна // Агроинженерия. 2023. Т. 25, №3. С. 35-40. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-35-40.

2. Исследование процесса сепарации очесанного зернового вороха на сетчатой ячеистой поверхности / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин, В. М. Кузюр, А. Е. Кузнецов // Вестник НГИЭИ. 2019. № 3(94). С. 18-28.

3. Ожерельев В. Н., Никитин В. В. Перспективы совершенствования конструкции зерноуборочного комбайна: монография. М.: ООО «Русайнс», 2024. 178с.

4. Ожерельев В. Н., Никитин В. В., Савин В. Ю. Влияние состава очесанного зернового вороха на эффективность его сепарации на решетчатой поверхности // Наука в центральной России. 2024. №2 (68). С. 7 – 14.

5. Пат. №2566017 (РФ) МПК[7] A01D 41/08. Устройство для обмолота растений на корню / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. Опубл. 20.10.15, Бюл. №29.

УДК 631.352

БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (БИНС) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А. В. Уксусов
ООО Научно-производственная фирма «АТИ»,
г. Екатеринбург, Россия

По оценке Института статистических исследований и экономики знаний ВШЭ, цифровая трансформация АПК позволит обеспечить дополнительный рост производительности труда на 15,6 процента к 2030 году. В России это является трендом последних нескольких лет, и перспективы роста заказов на высокотехнологичные решения в аграрном секторе весьма оптимистичны.

Необходимость цифровой трансформации агросектора отмечают на высшем уровне. В конце прошлого года правительство обновило Стратегию развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ до 2030 года. В документе говорится и о перспективах применения в АПК интеллектуальных систем орошения и полива полей, дронов для внесения удобрений, использования спутников для сбора данных о состоянии почвы и прочего. Активно развивается применение автономной сельскохозяйственной техники. Системы управления, основанные на технологиях искусственного интеллекта, позволяют задавать направление движения и ориентироваться в пространстве, распознавать кромку поля, скошенную или нескошенную культуру, внедряются технологии "точного земледелия" - автоматизированное внесение удобрений, борьба с сорняками, орошение, использование дронов для разбрасывания энтомофагов. Электронные карты сельскохозяйственных угодий с данными о химическом составе почвы могут содержать рекомендации по оптимальной высадке культур, количеству и типу удобрений. Такие карты можно загрузить в "умную" технику: сеялки, опрыскиватели и разбрасыватели, в этом случае работнику не придется самостоятельно принимать решение, скажем, сколько удобрений и какого типа потребуется внести в почву. За него это сделает специальная программа. Такой подход исключает ошибки, вызванные человеческим фактором. По словам экспертов, внедрение современных технологий позволит не только вывести сельское хозяйство на новый уровень развития, но и будет стимулировать развитие смежных отраслей.

Развитие бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) в сельском хозяйстве требует совершенствования систем обработки информации. При этом необходимое уменьшение

массогабаритных характеристик встроенных вычислительных средств сопровождается требованиями увеличения производительности и уменьшения различных составляющих погрешностей (инструментальной, вычислительной и т. п.), а также глубокие знания применяемой импортной элементной базы комплектующих.

Это приводит к необходимости реализации специализированных архитектур на уровне СБИС. При положительном результате таких усилий появляется возможность отказаться от системы обработки данных в БИНС как от самостоятельной и автономной и перейти к встраиванию этой системы непосредственно в состав аппаратуры инерциальных датчиков (блоков чувствительных элементов). Это может дать максимальный выигрыш в реализации самой БИНС, габариты которой могут совпадать с параметрами блоков датчиков, что является важным показателем при встраивании данных решений в структуру управляемого объекта.

Создание систем обработки данных в минимальных габаритах, массе и энергопотреблении, например, для МЭМС, когда блок датчиков и система обработки данных не должны занимать более одного кристалла СБИС, требует перехода от процессорных архитектур общего назначения к архитектурам функционально-ориентированных процессоров (ФОП). В случае, когда ставится задача создания БИНС высокой точности со значительным временем непрерывной работы (например, порядка часов), то альтернатива СБИС-реализации ФОП практически отсутствует.

Специфика разработки ФОП в полной мере проявляется при создании его программного обеспечения. Ограниченный круг реализуемых алгоритмов, а также требование высокой (иногда сверхвысокой) производительности требуют минимизации всех возможных накладных расходов при решении задач в реальном времени. Это, в свою очередь, требует от компилятора с языка прикладного программирования минимального времени запаздывания, что часто приводит к отказу от языков высокого уровня. С другой стороны, СБИС ФОП как процессор должен допускать программирование любых алгоритмов, пусть даже с различной эффективностью. Мы приходим к языку программирования уровня ассемблера, но учет специфики архитектуры требует реализации таких языковых конструкций, которые позволяют адаптировать язык в случае изменения архитектурных параметров, например, при изменении числа процессорных элементов либо блоков памяти. В итоге, базовым языком программирования ФОП следует считать ассемблер модульного типа, основанный на развитой библиотеке макросов. Изменение алгоритмов в этом случае может быть учтено с помощью изменения состава и функций библиотеки, а возможное изменение архитектуры – с помощью изменения числа и вида программных модулей. Модульный ассемблер может служить основой соответствующего языка спецификаций, для которого характерно, что пользователь по большей

части программирует алгоритмические функциональные блоки с помощью процедур библиотеки, нежели чем с помощью операторов общего типа. В этом смысле язык программирования тоже становится функционально-ориентированным. Разработка целевого или штатного программного обеспечения для ФОП непосредственно связана с разработкой его архитектуры. Существенной особенностью в этом случае является необходимость учета изменений в архитектуре процессора, что часто обусловлено изменениями в схемотехнике. Поэтому итерационный процесс разработки как ФОП, так и его программного обеспечения может стать длительным и трудоемким. Необходимо, кроме того, учесть, что разработка практически любой СБИС, в том числе и ФОП, в настоящее время содержит этап прототипирования на основе ПЛИС, что усложняет технологию проектирования. Поэтому одной из актуальных научно-технических проблем реализации СБИС ФОП является создание комплекса технологического программного обеспечения (ТПО), предназначенного для разработки и отработки программ пользователя. Некоторым результатам создания ТПО посвящен настоящий доклад.

Функционально-ориентированный процессор ФОП-64 для реализации алгоритмов БИНС

Основой структуры ФОП-64 является высокопроизводительное процессорное ядро, ориентированное на реализацию быстрых алгоритмов базовой процедуры вида:

$$f = \Sigma\Pi a_{i,j}\ {}_{j=1}{}^{M}\ {}_{i=1}{}^{N}$$

Особенностью ядра является минимальное время выполнения этой процедуры и обеспечение ввода/вывода в ядро/из ядра практически без прерывания, что дает максимальную производительность при реализации алгоритмов навигации среди возможных классов одноядерных архитектур.

Программное обеспечение ФОП-64

Полный комплекс программного обеспечения прототипа ФОП-64 состоит из трех основных составляющих:

- Технологическое ПО (ТПО). Это ПО встроено в состав компьютерной рабочей станции, предназначенной для разработки и отработки алгоритмов и программ на ФОП.

ТПО прототипа ФОП предназначено для программирования прототипа ФОП в составе рабочей станции.

Системное ПО. Это ПО представляет собой систему, состоящую из множества программных подсистем, из которых основными являются подсистема компиляции с входного языка программирования в совокупность исполняемых кодов и подсистема управления вычислительным процессом.

Штатное ПО (ШПО). Это ПО размещается в памяти программ. Оно непосредственно реализует алгоритмы прикладных задач. В состав этого

ПО входят исполняемые блоки программ и макросы, которые, как правило, реализуют устоявшиеся, часто используемые и редко меняющиеся от проекта к проекту функциональные блоки алгоритмов.

Программная модель ФОП представляет собой динамически подключаемую библиотеку в формате Microsoft Windows DLL. В библиотеке реализована потактовая модель процессора и функции его запуска, останова, записи/чтения памяти и МПЗУ, чтения внутренних регистров. Отладочное окружение представляет собой исполняемую программу, которая является интерфейсом пользователя к библиотеке модели. Отладочная программа позволяет производить загрузку программы в МПЗУ процессора, чтение/запись файлов в память процессора, а также имеет возможность ввода значений в память вручную. Программа позволяет производить запуск программы процессора в пошаговом режиме и вести контроль значений переменных, находящихся в памяти и регистрах ФОП.

Для создания программ на ФОП-64 был разработан язык программирования DAPLANG 1.0. Этот язык принадлежит к классу ассемблеров и разработан на базе макрогенератора ML1. Совокупность возможностей эмулятора архитектуры процессора и языка ассемблера DAPLANG 1.0 позволяют разрабатывать любые программы на прототипе ФОП, а также оценивать возможности его архитектуры в части реализации алгоритмов различных задач.

Для обеспечения эффективной отработки штатных программ ФОП разработана специализированная программная система, являющаяся частьютехнологического ПО. Эта система представляет собой специальную библиотеку взаимодействия эмулятора ФОП и программной среды скриптового языка Lua. Структура технологического ПО приведена на рис. 1.

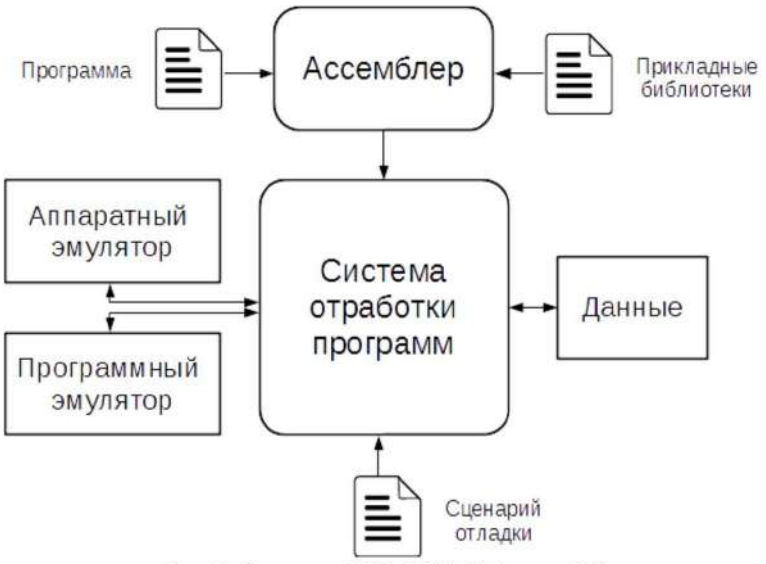


Рис. 1: Структура ТПО ФОП-64 (версия 1.0)

Рис. 1 – Структура ТПО ФОП-64 (версия 1.0)

Программа на языке DAPLANG транслируется в машинные коды ФОП-64 и вместе со сценарием отладки загружается в систему отработки программ на базе скриптового языка Lua. Сценарий отладки также записывается на Lua. В простейшем случае он состоит из этапов загрузки программы и данных, запуска и останова процессора, выгрузки результатов. При своей работе система отладки программ вызывает соответствующие функции в программном или аппаратном эмуляторе процессора через подключаемые библиотеки. Данный механизм позволил провести верификацию ШПО, а также получить оценки времени реализации алгоритмов БИНС.

Анализ разработанного ТПО показал, что существует возможность повышения эффективности разработки и отработки программ ФОП-64. Особенностью разработанного программного комплекса является независимость программного эмулятора ФОП и его прототипа на платформе ПЛИС, в то время как в процессе оптимизации архитектуры часто возникают изменения проекта. Все эти изменения, прежде всего, касаются Verilog-описания будущего процессора. Разрыв между двумя моделями ФОП приводит к тому, что данные изменения не отражаются на программном эмуляторе. В то же время программная модель является важной составляющей процесса разработки ФОП, поскольку позволяет проводить отработку программ в среде ПЭВМ без дополнительного оборудования. Возникает новая проблема – обеспечение согласованности программного и аппаратного эмулятора. Для достижения этой цели приходится дополнительно разрабатывать тесты и прогонять их на обоих эмуляторах со сравнением результатов. В итоге при каждом изменении исходного проекта возникает трудоемкий итерационный процесс, который может привносить ошибки и требовать дополнительного времени на создание проекта.

Таким образом, существующая реализация требует двойной работы: разработка модели на языке аппаратного уровня (Verilog) и разработка модели на конкретном языке программирования (например C++). При этом всегда необходимо гарантировать согласованность этих моделей.

Поэтому естественным этапом развития системы проектирования ФОП послужили работы по созданию следующей версии ТПО, в котором было произведено объединение функций программного и аппаратного эмуляторов. Изменения коснулись, прежде всего, программного эмулятора. Вместо независимого программного эмулятора на языке программирования C++ были созданы симулятор Verilog и библиотека взаимодействия с симулятором. В качестве симулятора может быть использован любой из существующих т. к. библиотека связи с ним основана на стандартизованном программном интерфейсе Verilog PLI 2.0. В качестве исходного файла для симулятора берется то же Verilog-

описание, что и для аппаратного эмулятора. Таким образом, реализовано одно модельное описание ФОП.

Библиотека симуляции устроена следующим образом. К Verilog-описанию ФОП добавляется файл связи сигналов ФОП (внутренних и внешних шин, синхронизации, сброса и т. д.) с внутренними функциями библиотеки (отображение ФОП в библиотеку). При своей работе библиотека, взаимодействуя с симулятором Verilog формирует в каждом такте работы процессора входные сигналы для ФОП и после отработки одного цикла работы Verilog- симулятора получает состояния выходных (и внутренних) сигналов процессора.

Структура ТПО на базе единого описания ФОП приведена на рис. 2.

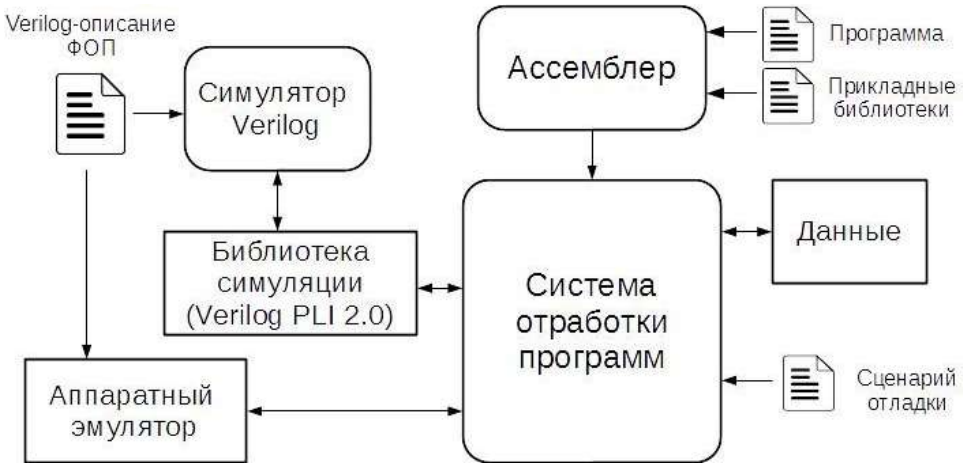


Рис. 2 – Структура ТПО ФОП-64 (версия 2.0)

Заключение

Разработанное технологическое программное обеспечение для ФОП-64 позволяет проводить полный цикл написания и отладки программ. Отладка программ возможна как на аппаратном эмуляторе, так и на программной библиотеке симуляции прозрачно для пользователя. Переход на единственное описание ФОП позволил исключить необходимость в поддержке отдельного программного симулятора и сократить время одной итерации при изменении проекта ФОП.

УДК 631.145:331.586

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА В ОБЛАСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В. К. Липская
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

На современном этапе инновационного развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь вопросы взаимодействия науки и производства являются достаточно актуальными и требуют пристального внимания, как со стороны научных кругов, так и промышленных предприятий. Разработка мероприятий, направленных на укрепление этих связей позволит создать условия и стимулы для развития научных школ и закрепления в науке талантливой молодежи, популяризировать науку, привлечь молодежь к научно-исследовательской деятельности, повысить технический уровень, надежность и конкурентоспособность разрабатываемых и выпускаемых сельскохозяйственных машин.

Основная часть

В настоящее время для обеспечения тесной интеграции науки и производства в Республике Беларусь статус научной организации имеют 23 предприятия в системе Министерства промышленности, в том числе ОАО «Гомсельмаш». Стоит отметить, что 4 из них получили такой статус только в 2023 г., в их числе ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш», ОАО «Минский механический завод им. С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО», ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга, ОАО «Цветотрон» [1].

По мнению специалистов Минпрома такая форма взаимодействия позволяет ускорить процесс внедрения инноваций: снижаются сроки разработки новой продукции, подготовки производства, повышается конкурентоспособность белорусской техники. Кроме того, это способствует проведению системной работы в сфере разработки и внедрения новых товаров и технологий, наращиванию кадрового потенциала и компетенций, развитию отраслевой науки, сотрудничеству с учеными, модернизации действующих и созданию новых производств.

В то же время, в числе преимуществ (для предприятий), которые дает государственное признание компетентности юридического лица в выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ – это доступ к программе развития

материально-технической базы государственных научных организаций, т.е. выделяются средства на закупку измерительного, технологического и прочего оборудования, также предусмотрены льготы в налогообложении.

Так, в ОАО «Гомельмаш» на базе Научно-технического центра комбайностроения (далее НТЦК) с 2017 г. функционирует отраслевая лаборатория сельскохозяйственного машиностроения – одна из крупнейших в отрасли проектных организаций с мощной интеллектуальной и материально-технической базой, а в конце 2023 г. на предприятии создана технологическая отраслевая лаборатория.

Высокая квалификация разработчиков, накопленный опыт проектирования сложных, наукоемких машин и современное оснащение экспериментального производства НТЦК и технологической отраслевой лаборатории позволяют выполнять разработки по основным перспективным направлениям сельскохозяйственного машиностроения на высочайшем уровне, не уступая при этом лучшим мировым аналогам. Сегодня в организации выпускаются надежные, производительные машины нового поколения, которые отличаются комфортабельностью и долговечностью.

С целью совершенствования отраслевой науки организациям, подчиненным Министерству промышленности Республики Беларусь, прошедшим аккредитацию и получившим статус научных, следует вести целенаправленную работу в следующих направлениях, которые частично реализованы или планируются к реализации в ОАО «Гомсельмаш»:

1) разработка в отраслевых научных организациях пятилетних программ по типу подготовленной ОАО «Гомсельмаш» по инициативе Минпрома в 2021 году «Программа по привлечению и закреплению молодых специалистов, исследователей и разработчиков для выполнения научных исследований, и разработок на 2021-2025 годы». Она включает мощный мотивационный пакет для поощрения и активизации инновационной и рационализаторской деятельности сотрудников.

Программой предусмотрено развитие и обучение специалистов, как в процессе работы, так и путем проведения семинаров, а также предоставление возможности получения дополнительного образования по своей специализации (повышение квалификации, переподготовка) за счет средств организации. Приветствуется получение второй ступени высшего и послевузовского образования (аспирантура, докторантура), в том числе за счет средств организации.

Разработаны мероприятия по адаптации молодых специалистов, исследователей и разработчиков, которые призваны облегчить вхождение новых сотрудников в открытое акционерное общество, по обеспечению их удовлетворенности качеством организации и мотивации труда, а также по созданию условий карьерного роста и (или) морального и материального стимулирования;

2) осуществление в отраслевых научных организациях мониторинга привлечения и закрепления молодых специалистов, исследователей и разработчиков (в возрасте до 35 лет). Мониторинг представляет собой систему сбора и анализа информации об условиях их профессиональной деятельности, уровне научной квалификации, карьерном росте, социально-экономической и методической поддержки, адаптации, реализации творческого и научно-технического потенциала, удовлетворенности условиями работы и т.п. Ежегодно готовящийся на его основе информационно-аналитический материал о состоянии и тенденциях развития процессов привлечения и закрепления молодых специалистов, исследователей и разработчиков позволит оперативно разрабатывать улучшающие мероприятия;

3) проведение в отраслевых научных организациях ежегодных конкурсов работ молодых специалистов, исследователей и разработчиков (в возрасте до 35 лет), позволяющих повысить их вовлеченность в процесс исследований и разработок, а также в формирование углубленного научного подхода к выполняемой работе и процессу проектирования в целом.

В ОАО «Гомсельмаш» в 2022 г. разработано и внедрено в практику положение о порядке проведения конкурса работ молодых специалистов, исследователей и разработчиков. На основании указанного документа ежегодно проводится конкурс по следующим направлениям научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ:

– проектирование зерноуборочных машин;
– проектирование кормоуборочных машин;
– проектирование прочих машин;
– проектирование адаптеров;
– испытания техники;
– гидропневматические, ходовые системы и трансмиссии;
– электрические, электронные системы и цифровизация;
– расчетные исследования и виртуальные испытания.

Перечисленные направления могут включать поднаправления: механические и гидромеханические передачи; несущие конструкции; кабины управления; материаловедение и технологии изготовления компонентов конструкций машин и адаптеров и т.п.

Значительная часть исследований, проведенных и представленных в конкурсных работах, уже сегодня внедрены или находятся на этапе внедрения в сельскохозяйственные машины производства ОАО «Гомсельмаш».

Выводы

Выработанные практические рекомендации позволят повысить связь науки и производства в области сельскохозяйственного машиностроения. Они дадут возможность привлечь и закрепить в

отраслевой науке активную талантливую молодежь (до 35 лет) с креативным подходом к научно-исследовательской, конструкторской и технологической деятельности, сформировать благоприятные условия для развития интеллектуального и творческого потенциала сотрудников, повысить личную заинтересованность работников в достижении целей предприятия и отрасли в целом, и должны являться основой кадровой политики научных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. В 2023 году в системе Минпрома выросло количество научных организаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sb.by/articles/v-2023-godu-v-sisteme-minproma-vyroslo-kolichestvo-nauchnykh-organizatsiy-.html. – Дата доступа: 28.04.2024.

УДК 669.79

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УПРОЧНЕННЫХ МИКРО И МАКРОЧАСТИЦАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВТУЛОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ

В. А. Калиниченко
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Условия эксплуатации узлов трения варьируется от внутрицеховых условий до повышенной запыленности, влажности или низких температур для техники, работающей в полевых условиях. Для обеспечения надежности рассматриваемых узлов были предложены втулки скольжения на основе медьсодержащих сплавов. Медь и ее сплавы характеризуются высокими антифрикционными свойствами. Однако ее физико-механические свойства довольно низкие, что ограничивает ее применение в высоконагруженных узлах трения и при повышенной температуре. Как результат имеет смысл использование композиционных материалов (КМ) применяются в различных отраслях промышленного производства [1-2]. Широкое распространение получило изготовление деталей ответственного назначения из КМ различными методами литья, но они требуют специальной формообразующей оснастки [2, 3]. Стоимость такой оснастки, изготавливаемой с использованием традиционных технологий, в несколько раз превышает стоимость создаваемых изделий, а ее изготовление трудоемко. В связи с этим представляется актуальным и возможным применение высокоэнергетических технологий для получения изделий конкретного назначения из композиционных материалов, в частности, на основе меди.

Объектом исследований являлся микрогетерогенный КМ (МКМ) на основе бронзы БрКМц3-1, армированный гранулами карбида кремния фракции 100-300 мкм. Аналогом являлся литой композиционной материал, того же состава с шагом расположения гранул 1,5 – 3,0 мм, полученный литьем в кокиль (ЛКМ).

В качестве способа получения МКМ была использована лазерная наплавка никелевых валиков порошком ПГ-12-01 на стальную подложку, с последующим нанесением покрытий на основе цветных сплавов, армированных микрочастицами карбидов. Наплавка сетки проводилась с помощью CO_2 лазера, с шагом 5х5 мм на образец размерами 100х100 мм.

Триботехнические испытания образцов в режиме сухого и граничного трения проводились на автоматизированном трибометре АТВП

(рис. 1). Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательного движения призматического образца (8×6×6 мм) по пластинчатому контртелу при максимальной скорости взаимного перемещения 0,1 м/с. В качестве контртела использовалась пластина (90×30×3 мм), изготовленная из закаленной углеродистой стали У8, с твердостью 800 HV 10. Номинальная удельная нагрузка испытаний (р) в условиях сухого трения составляла 1 МПа, а в среде смазочного материала И-20А – 10 МПа. Перед испытаниями рабочие поверхности контактирующих тел обезжиривались спиртом и ацетоном и высушивались.

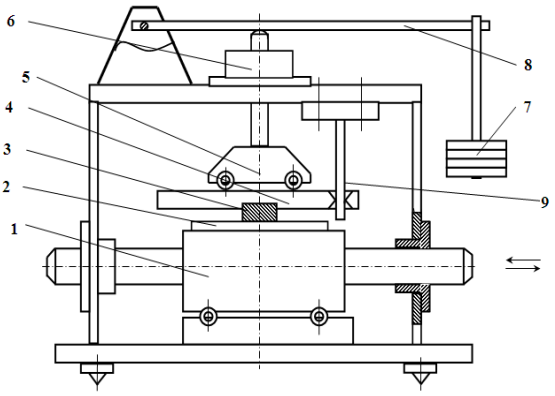


Рис. 1 – Схема автоматизированного трибометра АТВП: *1* - ползун; *2* - контртело; *3* - образец; *4* - обойма; *5* - коромысло; *6* - втулка; *7* - набор гирь; *8* - рычаг; *9* - тензометрическая балка

Для определения линейного износа образцов был использован метод искусственных баз. Метод основан на определении величины износа, путем вычисления удаленного при трении слоя посредством измерения глубины, предварительно нанесенного алмазной пирамидой отпечатка твердости на различных стадиях трениях. При этом толщина удаленного слоя Δh_i определяется из выражения:

$$\Delta h_i = h_0 - h_i$$

где h_0– глубина отпечатка перед триботехническими испытаниями; h_i – глубина отпечатка после триботехнических испытаний различной продолжительности.

Углубления на поверхности наносились путем вдавливания индентора (нагрузкой P=294 Н) в виде пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине между противолежащими гранями 136^0 (рис. 2). Дно углублений служит неизменной искусственной базой, от

которой измеряется расстояние до поверхности трения. Глубина отпечатка вычисляется по формуле:

$$h=d/7$$

где d – длина диагонали.

По изменению длины отпечатка на поверхности трения определялась глубина отпечатка после триботехнических испытаний различной продолжительности.

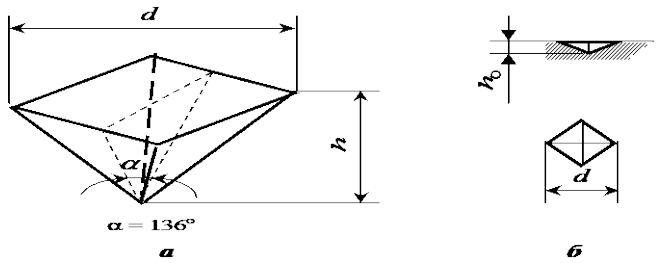
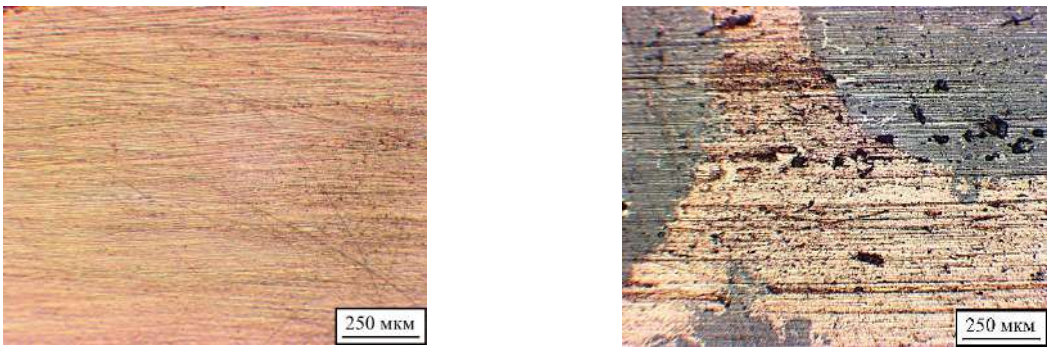


Рис. 2 – Форма алмазного наконечника (*а*) и вид отпечатка (*б*)

Данные проведенных испытаний в масле и при сухом трении приведены в таблицах 1 и 2, а внешний вид образцов подвергшихся износу на рис. 3 и 4 соответственно.

Таблица 1 – Интенсивности линейного изнашивания образцов при граничном трении в смазочном материале И-20А при удельной нагрузке 10 МПа

Маркировка образца	Интенсивность линейного изнашивания (I_h, $\times10^{-9}$) в И-20А при p = 10 МПа с учетом этапа приработки (300 м)	Интенсивность линейного изнашивания (I_h, $\times10^{-9}$) в И-20А при p = 10 МПа на стадии установившегося трения
ЛКМ	10,7	9,2
МКМ	5,7	3,8



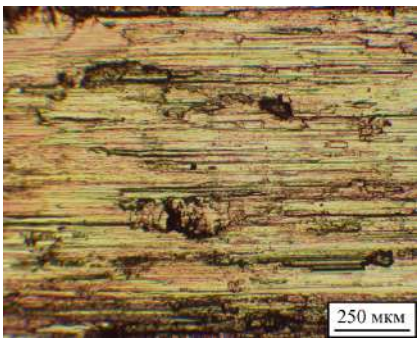
а б

Рис. 3 – Характерные фотографии поверхностей трения образцов испытаниях в смазочном материале И-20А при удельной нагрузке 10 МПа: а – МКМ; б – ЛКМ

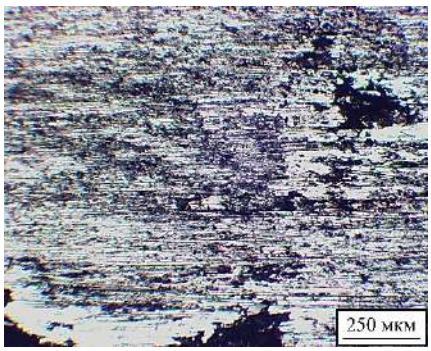
Таблица 2 – Интенсивности линейного изнашивания образцов при сухом трении при удельной нагрузке 1 МПа

Маркировка образца	Интенсивность линейного изнашивания (I_h, $\times 10^{-9}$) в условиях сухого трения при p = 1 МПа с учетом этапа приработки
ЛКМ	28,4
МКМ	109,5

Как видно из представленных экспериментальных данных и фотографий, наиболее существенному износу подверглись образцы из ЛКМ. Разрушение поверхностных слоев и их смазывание при приложении к ним истирающих нагрузок хорошо отражено на рис. 3б.



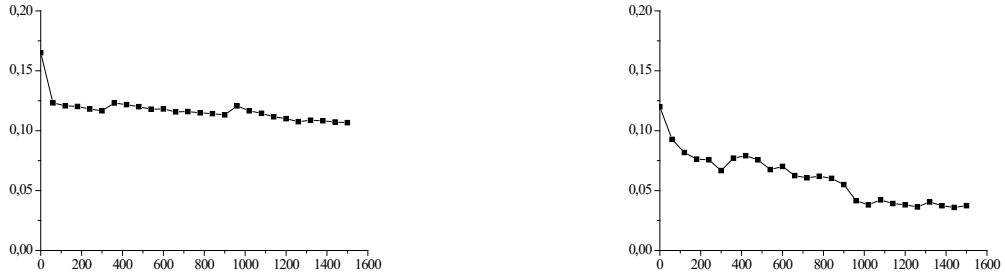
а



б

Рис. 4 – Характерные фотографии поверхностей трения образцов испытаниях в условиях сухого трения при удельной нагрузке 1 МПа: а – МКМ; б – ЛКМ

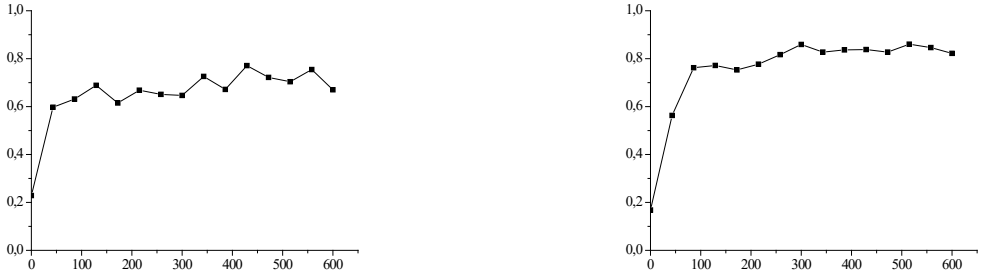
На заключительном этапе было проведено определение коэффициента трения при условиях, оговоренных ранее. Данные замеров представлены в таблице 3 и на рис. 5 и 6. Как видно из рис. 5 при трении в масле наилучше результаты показывает ЛКМ, который после приработки к контртелу показывает значительное уменьшения коэффициента трения. МКМ имеет стабильные свойства на всем участке трения, что может быть объяснено его равномерностью его армирования твердыми микрочастицами, при которой весь замеренный путь трения являлся исключительно приработкой данного материала.



а б

Рис. 5 – Зависимости коэффициентов трения от пути трения в условиях трения со смазочным материалом И-20А: а – МКМ; б – ЛКМ.

Это отчасти подтверждается графиками, представленными на рис. 6. Наглядно видно, что на начальном этапе трения при отсутствии смазки МКМ значительно сопротивляется трению и имеет низкий его коэффициент. Далее в процессе работы коэффициенты трения обоих материалов начинают выравниваться и стремятся к линейности.



а б

Рис. 6 – Зависимости коэффициентов трения от пути трения в условиях сухого трения при удельной нагрузке 1 МПа: а – МКМ; б – ЛКМ.

Таблица 3 – Значения коэффициентов трения образцов по стальному контртелу, испытанных в различных условиях трения

Маркировка образца	Коэффициент трения при трении со смазочным материалом И-20А	Коэффициент трения в условиях сухого трения
ЛКМ	0,04-0,08	0,75-0,85
МКМ	0,11-0,12	0,60-0,70

Вывод. Рассмотренные материалы могут эффективно использоваться в узлах трения, причем материалы типа МКМ имеют

достаточную сопротивляемость аварийным режимам, т.е. работе при отсутствии смазки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин В. Г. Литые металломатричные композиционные материалы электротехнического назначения / В. Г. Бабкин, Н. А. Терент ьев, А. И. Перфильева // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2014. – Vol. 4, № 7. – P. 416–423.

2. Макрогетерогенные композиты, армированные гранулами. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://metal-archive.ru/litye-materialy/103-makrogeterogennye-kompozity-armirovannye-granulami.html. – Дата доступа: 16.01.2018.

3. Андрушевич А. А. Литейная технология изготовления деталей сельскохозяйственной техники из композиционных материалов / А. А. Андрушевич, В. А. Калиниченко // Мат. МНТК «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК»; Минск 7–8 июня 2018 г. – Минск: БГАТУ, 2018. – С. 225 – 228.

УДК 621.744.072.2; 621.792; 621.88

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СКЛЕЕННЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАБОТАЮЩИХ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

М. Л. Калиниченко
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Как правило, многие склеенные материалы, проводят свой жизненный цикл в условиях замкнутых помещений. Однако, рассматривая частные случаи использования вспененных материалов, нужно обратить внимание на их высокие демпфирующие свойства, звуко- и шумопоглащению [1]. Данное свойство склеенных вспененных материалов может быть эффективно использовано для шумо- и вибропоглощения (последнее реже) в кабинах сельскохозяйственной или иной техники. Из-за особенностей эксплуатации, данных материалов, имеется высокая вероятность воздействия на клеевые составы воды, масел, топлива и т.д. Данные жидкие среды обладая высокой жидкотекучестью могут вступать в контакт с большими поверхностями склеенных материалов и оказывать негативное влияние на клеевой состав.

Известно [2-4], что вода и другие среды могут постепенно разрушать адгезионные связи, следовательно, наличие первоначальных дефектов (пор, капилляров) приводит к небольшому возрастанию водопоглащения и изменению других свойств. Однако, по мере увеличения продолжительности пребывания в жидких средах прочность и другие характеристики клеевых соединений (и, вообще, гетерогенных систем) могут сильно меняться, причем в большей степени, чем свойства аналогичных гомогенных материалов. Запланированные испытания должны оценить такие свойства адгезивов как водопоглощение, водостойкость и стойкость к активным средам. Для оценки работы клея было принято решение об использовании адгезивов, максимально отличающихся по составу от склеиваемых материалов.

Для исследования адгезивов на водопоглощение были подготовлены пять групп образцов из нержавеющей стали (для каждого вида клея по три образца) на которые были произвольно нанесены клеевые составы. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 30535-97 [5] и ГОСТ 4650-80 [6] с использованием аналитических весов ВЛА-200г-М. Согласно методике проведения испытаний, первоначально взвешивались сухие образцы. Далее они погружались в емкость с водой и в течение 40 суток, проводилось их ежедневное контрольное взвешивание. Перед

взвешиванием образцы просушивали с помощью фильтровальной бумаги. Результаты изменений по показателям массы показали отсутствие каких-либо существенных изменений по влагонасыщению, в рассматриваемый период времени [2].

Установлено, что адгезивы на любых синтетических основах являются водоненасыщаемыми и водонерастворимыми. Аналогичные результаты были получены и с другими исследуемыми образцами (универсальным цианакрилатный суперклеей «Секунда 505», а также белорусскими клеями на цианакрилатной и эпоксидной основе).

Далее были проведены прочностные испытания клеевого шва. Наименьшую прочность при растяжении показал цианакрилатный суперклеей «Секунда 505» (14,3 МПа). При этом потеря прочности при растяжении склеенных соединений после эксплуатации во влажных условиях по сравнению с сухими, как белорусского клея на цианакрилатной основе, так и цианакрилатного суперклея «Секунда 505», составила до 1%.

Необходимо отметить, что цианакрилатные клеи стойки к водным средам. Для повышения их работоспособности в воде, как правило, вводят 0,1 % (масса) эфира абиетиновой кислоты с возможными добавками глицерина [3,4]. Так как в нашем случае отсутствует развернутый состав используемых цианакрилатных клеев и не указано наличие тех или иных добавок, то результаты прочностных испытаний данных клеев во влажных условиях можно считать условно точными.

Наихудшие результаты показал клей на акриловой основе DP 8005NS, для которого потеря прочности составила 39 % по сравнению с испытаниями в сухих [7] условиях при удовлетворительных результатах – 19,86 МПа.

Независимо от используемого клея прочность при растяжении аналогичных соединений после испытаний в масляной среде существенно не изменилась. Данные потери прочности остались либо те же, что и при эксплуатации в сухих условиях, либо на некоторых образцах составили от 0,5 до 2,5 %.

Для изучения влияния водных и масляных сред на клеевые составы отечественного и импортного производства, в соединение с пористыми металлическими материалами, было принято решение изготовить образцы из высокопористого алюминиевого шлака, соединенных между собой по парно следующими клеевыми составами: универсальным цианакрилатным суперклеем «Секунда 505», а также белорусскими клеями на цианакрилатной и эпоксидной основе.

Образцы изготавливались для последующей выдержки в масляной среде на основе моторного масла М-10ДМ SAE 30 (производитель ОАО «Нафтан») и в воде. Выдержка образцов производилась в течение месяца. Для активации воздействия жидких сред на клеевой шов, к образцам

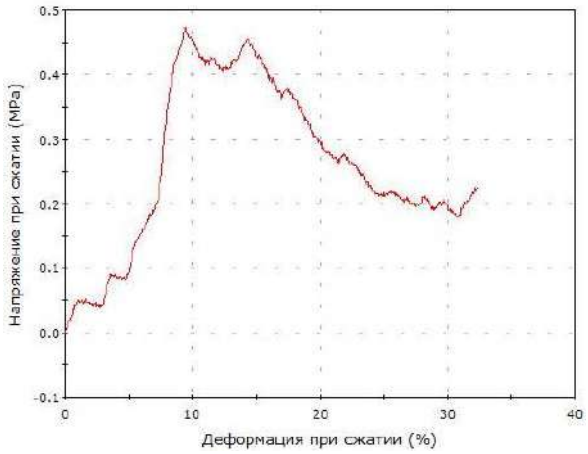
прилагалось вибрационной воздействие периодичностью 30 мин в сутки. По окончанию времени выдержки, образцы были промыты обезжиривателем с последующим ополаскиванием в воде. Далее была проведена естественная сушка в течение суток при нормальных условиях. По окончанию сушки образцы были подвергнуты механическим испытаниям на сжатие по ГОСТ 25.503-97 [8]. Результаты испытаний отображены в таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1 – результаты испытаний на сжатие склеенных соединений из высокопористого алюминиевого шлака после их длительного нахождения в различных средах

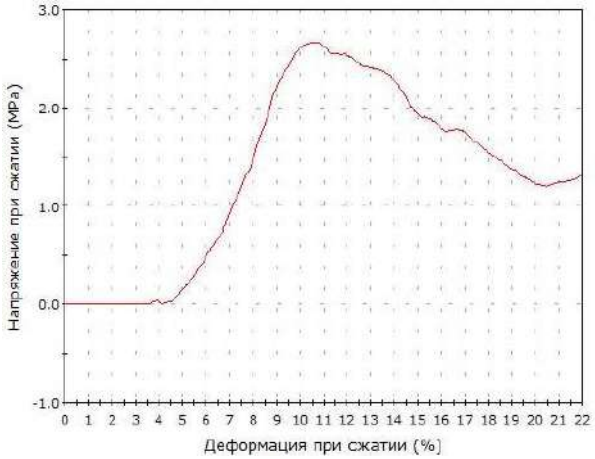
Среда выдержки образцов	Тип клея для соединения образцов	Деформация при сжатии, (%)	Нагрузка при сжатии, кН	Удлинение при сжатии, мм
водная	Белорусский на эпоксидной основе	1,6	0,03	0,24
	Белорусский на цианакрилатной основе	8,12	0,26	1,22
	Суперклеей «Секунда 505»	7,0	0,30	1,05
масляная	Белорусский на эпоксидной основе	10,7	1,3	1,60
	Белорусский на цианакрилатной основе	3,8	0,17	0,56
	Суперклеей «Секунда 505»	7,8	0,26	1,17

Анализ графиков, приведенных на рис. 1 показывает, что для белорусского клея на эпоксидной основе и суперклея «Секунда 505» наибольшее разрушающее воздействие оказывает контакт с водной средой, что теоритически может быть связано с меньшей вязкостью воды и, как следствие, ее возможностью более легкого заполнения пор клеевого шва. В случае применения белорусского цианакрилатного клея, наблюдается

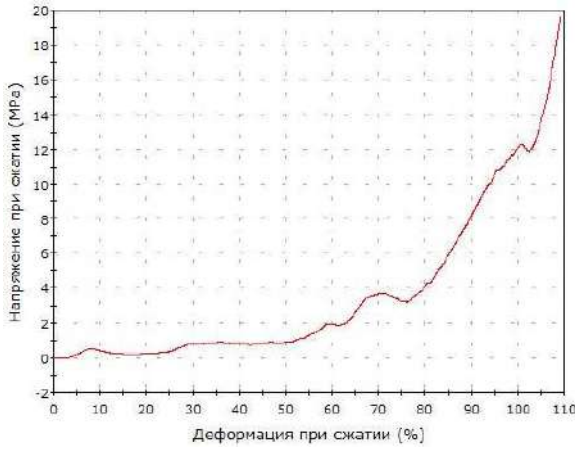
диаметрально противоположная ситуация, а именно, наибольшие потери прочности на сжатие наблюдаются у образцов, выдержанных в масляной среде. Этот эффект может быть обусловлен химическим взаимодействием масляной среды с одним или несколькими компонентами цианакрилатного клея. Необходимо отметить ярко выраженную схожесть разрушения образцов после сжатия вне зависимости от типа влажной среды (рис. 1). Особенно показательными являются образцы, склеенные белорусским клеем на эпоксидной основе (рис. 1 а, б) и белорусским цианакрилатным клеем (рис. 1 в, г). В случае применения суперклея «Секунда 505» (рис. 1 д, е), зависимость может просматриваться и не столь четко. Однако сопоставив количество деформационных пиков и характеристику их расположения можно утверждать, что данные образцы не выбиваются из рассмотренной закономерности.



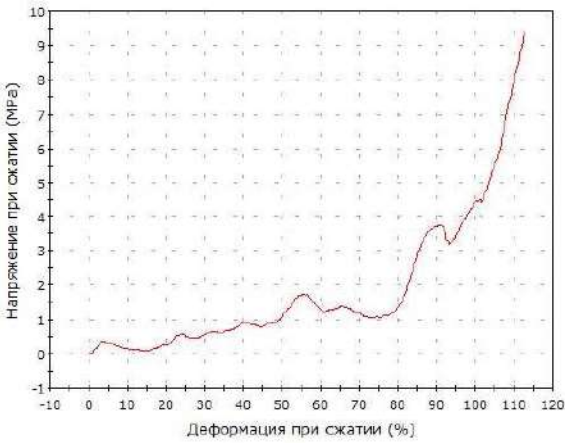
а



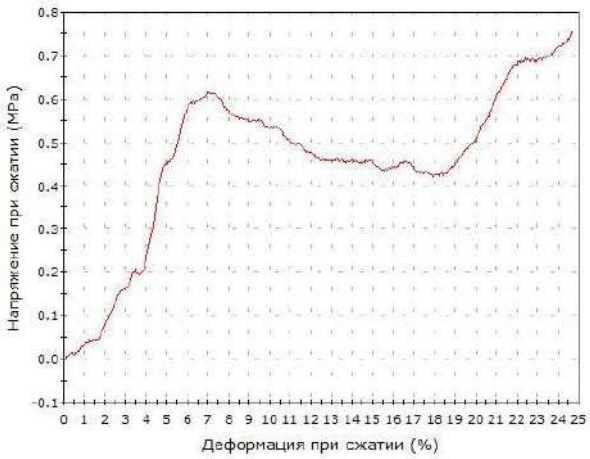
б



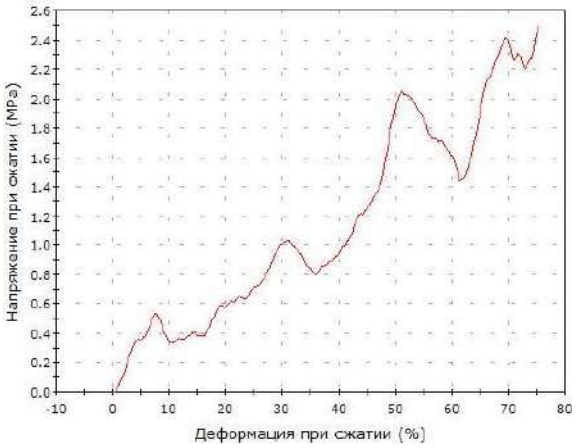
в



г



д



е

Рис. 1 – Графики результатов испытаний на сжатие склеенных соединений из высокопористого алюминиевого шлака после длительного нахождения в жидких средах: а – образцы, склеенные белорусским клеем на эпоксидной основе после выдержки в воде; б - образцы, склеенные белорусским клеем на эпоксидной основе после выдержки в масле; в – образцы, склеенные белорусским клеем на цианакрилатной основе после выдержки в воде; г - образцы, склеенные белорусским клеем на цианакрилатной основе после выдержки в масле; д – образцы, склеенные суперклеем «Секунда 505» после выдержки в воде; е – образцы, склеенные суперклеем «Секунда 505» после выдержки в масле

В заключении необходимо отметить, что исследование прочностных свойств пористых материалов имеет, как правило, не абсолютно истинные результаты, в некотором приближении. Это объясняется тем, что в пористых системах невозможно добиться абсолютного повторения расположения пор, размерности и толщины стенок матричного материала между порами. Следовательно, отображенные на рис. 1 наглядные видимые зависимости свидетельствуют, как о высоком качестве подготовки образцов, так и о качестве проведенных механических испытаний в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калиниченко В. А. Способы получения вспененного алюминия, области его применения и ряд особенностей механической обработки / В. А. Калиниченко, А.С. Калиниченко // Литье и металлургия. 2005. – № 2.-Ч.1.-С. 164–169.

2. Калиниченко М. Л. Исследование технологических параметров, влияющих на качество обработки клеевого шва в элементах литейных модельных комплектов и оценка его эксплуатационных свойств

в жидких и влажных средах / М. Л. Калиниченко, Б.М. Немененок // Литье и металлургия. 2024. – № 2. С. 96–105.

3. Вильнав Ж. Ж. Клеевые соединения / Ж. Ж. Вильнав; под. ред. Г. В. Малышевой – М.: Техносфера, 2007. – 385 с.

4. Поциус А. Клеи, адгезия, технология склеивания / А. Поциус; 3-ие изд. под ред. Г. В. Комарова – СПб.: ЦОП «Профессия», 2016. – 384 с

5. Клеи полимерные. Номенклатура показателей. ГОСТ 30535–97. – Введ. 01.01.2002. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2001. – 10 с.

6. Пластмассы. Методы определения водопоглощения. ГОСТ 4650-80. – Введ. 01.12.1980. – Москва: Государственный стандарт Союза ССР: ИПК Издательство стандартов, 1988. – 7 с

7. Калиниченко М.Л. Технология склеивания: теория, практика, материалы / М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, В.А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2021. – 187 с.

8. Метод испытания на сжатие. ГОСТ 25.503–97. – Введ. 01.07.1999. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 25 с.

УДК 004.942

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ АГРЕГАТОВ СЕЛЬХОЗМАШИН

И. А. Попов [1], В. М. Медведев [2], И. А. Попов-мл.[2], Ю. В. Жукова [3]
[1] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ,
г. Казань, Россия;
[2] Казанский государственный аграрный университет,
г. Казань, Россия;
[3] Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ,
г. Минск, Республика Беларусь

Один из способов сократить издержки при полевых работах - цифровизация. И это направление активно развивается в сельскохозяйственных машинах. В Республике Татарстан к посевной кампании ежегодно готовятся более 11 тыс. тракторов, 6 тыс. сеялок и культиваторов, 650 широкозахватных посевных комплексов с энергонасыщенными тракторами. Техническая модернизация позволила сдержать падение энергообеспеченности агропромышленного комплекса республики, а затем обеспечить ее рост до 159 л.с. на 100 га посевов, повысить производительность труда в отрасли за последние 5 лет вдвое.

В современных условиях индустриальной революции 4.0 разработка и создание новых образцов техники, обладающих высокими экономическими, экологическими показателями и энергоэффективностью, значительно ускоряются. Этому способствует также высокая конкурентная борьба разработчиков и все больший переход на технологическую самостоятельность стран мира.

В основе работы лежит концепция создания цифровых двойников изделия (DT – digital twin) - цифровой копии объекта, в которой воплощены все физические (теплообменные, термодинамические, кинематические, гидравлические и прочие) процессы в объекте и вокруг него [1, 2]. Согласно [3] DT должен иметь двустороннюю связь с объектом. DT – это система CAD и математических моделей, описывающая форму, размеры, структуру, функциональность объекта, взаимосвязь узлов и агрегатов внутри объекта, его режимы работы, изменение рабочих параметров. DT строится как для прототипа изделия, так и для реального изделия. В обоих случаях DT подвергается виртуальным испытаниям. В случае построения DT для реального объекта, необходимо иметь набор электронных протоколов испытаний или прямую связь с объектом во время эксплуатации для оценки соответствия построенной DT предъявляемым к изделию требованиям по рабочим параметрам (валидация и верификация) [3].

Переход с натурного образца на цифровой аналог на стадии проектирования и первичных испытаний позволяет выявлять проблемы функционирования объекта без дорогостоящих и длительных натурных испытаний и производить доводку объекта с целью повышения его эффективности, проверки технических решений, повышения надежности эксплуатации и разработки технологии производства. Одним из главных преимуществ перехода на DT является возможность проведения цифровых (виртуальных) испытаний для определения количественных и качественных характеристик объекта [3]. Это значительно снижает трудозатраты и затраты времени на разработку новых объектов, определение их рабочих характеристик и технико-экономическое обоснование применяемых новых технических решений и вариантов модернизации.

Согласно [1, 2], при использовании DT реализуется идея виртуальных разработок, их тестирования, модернизации и сопровождения в рамках комплексного междисциплинарного подхода к решению задачи создания нового продукта (объекта). При создании DT должна реализоваться главная идея прямой связи DT с объектом – его работоспособность должна обязательно подтверждаться результатами натурных испытаний объекта-аналога. Для этих целей при создании DT и его тестировании необходимы прямые связи в виде результатов измерений параметров во время эксплуатации или натурных испытаний на различных режимах. После чего реализуется обратная связь DT с объектом - в DT вносятся новые конструктивные и функциональные изменения, которые после виртуальных испытаний и подтверждения, передаются на производство для создания новой реальной конструкции.

Примером объекта для разработки DT могут рассматриваться дизельные двигатели мощностью 300-450 л.с. При разработке DT двигателя проводилась его декомпозиция на системы, узлы и агрегаты для отдельного анализа их работы. В качестве основных систем, узлов и процессов выделялись: система охлаждения двигателя и его тепловое состояние, помпа системы охлаждения, система подачи воздуха, цилиндропоршневая группа и внутрикамерные процессы, кривошипно-шатунный механизм, система отвода газов, турбокомпрессор, система смазки и маслоохладитель, подкапотное пространство для двигателя с вентилятором и радиаторами и т.д. (рис.1).

Известно, что DT классифицируются по уровням взаимодействия численной модели объекта исследования с натурными условиями.

Цифровой двойник прототипа (DTP) – это тип DT, который создается не для реального объекта, а для прототипа физического объекта (самого реального объекта еще нет, а имеются только требования к его параметрам). В этом случае мы создаем DT пока не существующего объекта для последующих виртуальных испытаний с целью проверки его

работоспособности, прогнозирования его рабочих характеристик, технико-экономического обоснования правильности принятых технических решений при его создании. Обычно DTP создается на базе DTI, при внесении в последний новых технических решений.

Цифровой двойник изделия (DTI) - тип DT, описывающий конкретный существующий физический объект. Т.е. мы создаем DT объекта, для которого имеется вся информация по натурным испытания или он имеет прямую связь с датчиками во время испытаний или эксплуатации. Мы можем проверить адекватность DTI на основе реальных данных испытаний или эксплуатации. В этом случае, DTI служит для «визуализации» процессов в объекте, их глубокого понимания и анализа на основе анализа локальных и мгновенных значений параметров. Кроме этого DTI может быть создан на основе аналога объекта, на котором проверяется адекватность заложенных моделей, а затем объект модернизируется или оптимизируется для создания нового объекта на базе существующего, и таким образом, DT переходит с уровня DTI на уровень DTP нового, модернизированного объекта.

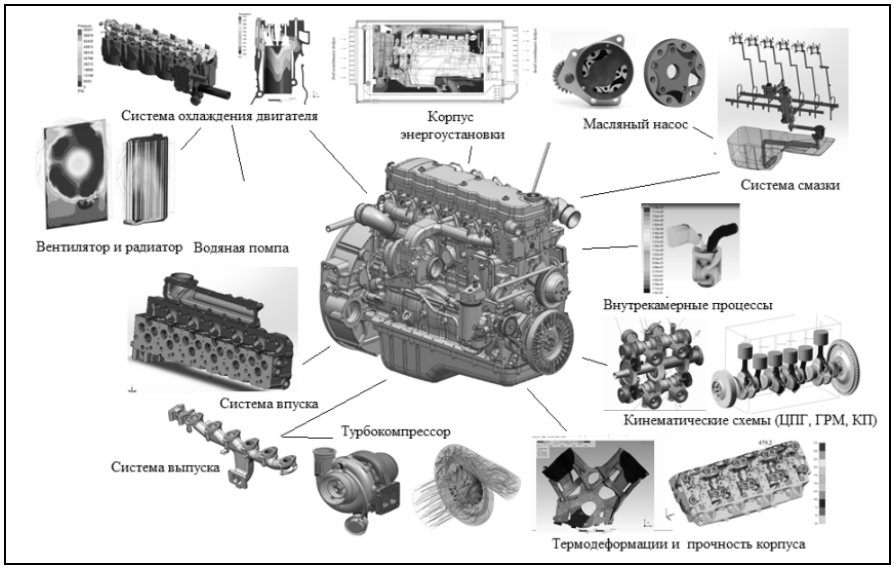


Рис. 1 – Декомпозиция двигателя

Совокупность цифровых двойников (DTA) – тип DT, который содержит в себе совокупность взаимосвязанных по параметрам DTI или DTP. Сюда же относится DT в окружающей среде (DTE) – это DTI, совмещенный с большим объемом внешних параметров окружающей среды – природных параметров, эксплуатационных характеристик, весогабаритных параметров и т.д.

Первоначально строятся DTI отдельных систем и агрегатов двигателя на основе физико-математического моделирования процессов переноса вещества и теплоты, термодеформированного состояния и прочности реального объекта-аналога, с которым DTI может иметь

прямую связь. Прямая связь может осуществляться за счет снятия сигналов при прямых измерениях параметров и их «проводной» передачи в DTI или в виде файлов больших данных, записанных на носителе и подвергавшихся первичной обработке или восстановлению промежуточных данных за счет одномерного или нейросетевого моделирования. Чаще реализуется второй вариант передачи данных в DTI от реального объекта-аналога. После проверки работоспособности DTI объекта-аналога (этап реинжиниринга) и выявления на нем недостатков конструкции и режимов работы, вносятся конкретные технические решения и рекомендации - модель объекта модернизируется и переходит с уровня DTI уровень DTP. После этого на DTP производятся виртуальные испытания и восстановление характеристик прототипа нового изделия или, при обосновании улучшения характеристик объекта, он направлялся на разработку конструкторской документации (КД), изготовление, натурные испытания и внедрение в производство.

DT строится на физико-математических моделях процессов, но они могут оказаться настолько сложны, что их интеграция в DT приводит к значительным временным затратам при численном моделировании процессов. Недостатки современных математических моделей сложных процессов, например, аэрогидродинамики или теплообмена можно решить, упростив их, за счет применения адаптивных самообучающихся методов, в частности нейросетевых технологий. Использование нейросетевых методов позволяет создать DT, работающий в реальном времени, т.е. мы можем получать ответные сигналы из модели, при известных входных сигналах, практически моментально. Но нейросетевые модели часто не описывают конкретные процессы, а работают на подборе поправочных коэффициентов, полученных для конкретных случаев в ходе обучения нейросетевой модели. Описание процессов возможно также при использовании одномерных моделей, но в этом случае мы имеем физическую модель, математически описывающую процессы на основе балансовых уравнений и физических законов, но не можем визуализировать протекающие процессы.

Поэтому предлагается использовать DTI, построенный на численном моделировании всех узлов и агрегатов изделий, процессов их работы. Это значительно «утяжеляет» модель и не позволяет работать в режиме реального времени, но решает основную задачу DT – виртуально проектировать новый объект, виртуально его испытывать, проводить технико-экономическое обоснование принимаемых технических решений при минимизации затрат времени и финансов.

Перед началом работ с DT двигателя проводится обязательная валидация и верификация его работы в базовой комплектации на номинальных режимах.

Цель работы в области DT – разработка наукоемких DTI базовых моделей узлов и агрегатов газопоршневых двигателей для создания на их основе DTP новых технических решений и их виртуальных испытаний (рис.2) [4,5].

В ходе работы показано, что использование технологии цифровых двойников приводит к экономии трудозатрат, времени и финансовых средств на освоение новой техники и позволяет проводить масштабированние технических решений и результатов новейший научных исследований; ставит задачу создания Benchmarks (эталонных решений) для последующих исследований и их верификацию и валидацию на новом классе сложных задач, нерасчетных ранее; позволяет кастомиризировать (адаптировать) расчетные модели и методы под новые классы сложных задач; позволяет распознать критические области и параметры эксплуатации, внести изменения в конструкцию, провести модернизацию и выйти на новое изделие, отличающееся надежность и эффективностью, провести его виртуальные испытания, подтвердив заявленные параметры.



Рис. 2 – Пример реализации проекта по разработке полного цифрового двойника дизельного двигателя

ЛИТЕРАТУРА

1. Grieves M. W. Digital Twins: Past, Present, and Future . In The Digital Twin. Edrs.: N. Crespi, A.T. Drobot, R. Minerva. – Springer, 2023 - P.97-121.

2. Боровков А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Росс. инст-т стандартизации, 2021. – 15 с.

4. Чорный А. Д., Попов И. А., Жукова Ю. В., Баранова Т. А., Кухарчук И. Г., Попов-младший И. А. Определение потерь давления в главной масляной магистрали и форсунках системы смазки дизельных двигателей большегрузных автомобилей: численное моделирование // Механика машин, механизмов и материалов. 2024. № 3 (68). С. 28-35.

5. Попов И. А., Гуреев В. М., Гуреев М. В., Жукова Ю. В., Чорный А. Д., Баранова Т. А., Кухарчук И. Г., Попов-мл И. А. Гидродинамика и теплообмен нестационарных потоков в каналах сложной формы двигательных установок транспортных систем // Инженерно-физический журнал, 2024. №7.

УДК 62-342

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КПД ГИДРОМАШИН

Н. М. Костров
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

Для оценки технического состояния и технического уровня гидромашины крайне важно знать фактическое значение механического КПД. Механический КПД гидромашин невозможно измерить в виде конкретного параметра. В данной статье приводится методика, в которой подробно описано какие конкретные параметры и в каком месте необходимо измерить в режиме реального времени (осуществить записи) и каким образом обработать для получения графика изменения механического КПД в режиме функционирования таких гидромашин как гидромотор и гидронасос.

Основная часть

Формула для расчета теоретического крутящего момента гидромашины (на входе в гидронасос или на выходе из гидромотора) приведена в выражении (1).

$$M_{Г.Маш} = \frac{\Delta p \cdot q}{2\pi} \cdot \frac{9.81}{100} \qquad (1)$$

где $M_{Г.Маш}$ – теоретический крутящий момент гидромашины, рассчитанный по перепаду давления во входной и выходной гидромагистралях и рабочему объему гидромашины, Нм; Δp – перепад давления в гидромагистралях, кг/см^2 (атм); q – рабочий объем гидромашины, см^3.

Гидромотор

Для вычисления механического КПД гидромотора **измеряемыми** параметрами (записываемыми) являются **входное и выходное давление** в гидромагистралях гидромотора и развиваемый им **крутящий момент на выходе**. Все параметры необходимо записывать в режиме единого времени.

На гидромоторе крутящий момент, рассчитанный по измеренным (записанным) значениям входного и выходного давления в гидромагистралях и по его рабочему объему с использованием выражения (1), всегда больше реально развиваемого гидромотором и измеренного

(записанного) выходного крутящего момента на величину потери момента внутри гидромотора (2).

$$M_{ГМ}^{Изм.Вых.} < M_{ГМ}^{Расч.} \quad (2)$$

где $M_{ГМ}^{Изм.Вых.}$ – реально развиваемый гидромотором измеренный (записанный) крутящий момент на выходе, Нм; $M_{ГМ}^{Расч.}$ – крутящий момент гидромотора, рассчитанный с использованием выражений (3) по входному и выходному значениям давления, измеренным (записанным) в гидромагистрали, и его рабочему объему, Нм.

$$M_{ГМ}^{Расч.} = \frac{\Delta p_{ГМ} \cdot q_{ГМ}}{2\pi} \cdot \frac{9.81}{100} \quad (3)$$

где $q_{ГМ}$ – рабочий объем гидромотора, см^3; $\Delta p_{ГМ}$ – перепад давления на гидромоторе, рассчитанный (4) по измеренным (записанным) входному и выходному давлению в гидромагистралях гидромотора, кг/см^2 (атм).

$$\Delta p_{ГМ} = p_{ГМ}^{Изм.Вход.} - p_{ГМ}^{Изм.Вых.} \quad (4)$$

где $p_{ГМ}^{Изм.Вход.}$ – измеренное (записанное) входное давление в гидромагистрали гидромотора, кг/см^2 (атм); $p_{ГМ}^{Изм.Вых.}$ – измеренное (записанное) выходное давление в гидромагистрали гидромотора, кг/см^2 (атм).

Соотношение между $M_{ГМ}^{Изм.Вых.}$ и $M_{ГМ}^{Расч.}$ описывается выражением (5):

$$M_{ГМ}^{Изм.Вых.} = M_{ГМ}^{Расч.} \cdot \eta_{ГМ}^{Мех.} \quad (5)$$

где $\eta_{ГМ}^{Мех.}$ – механический КПД гидромотора.

Тогда непосредственно механический КПД гидромотора может быть определен из выражения (6):

$$\eta_{ГМ}^{Мех.} = \frac{M_{ГМ}^{Изм.Вых.}}{M_{ГМ}^{Расч.}} \quad (6)$$

Гидронасос

Для вычисления механического КПД гидронасоса **измеряемыми** параметрами (записываемыми) являются **входное и выходное давление** в гидромагистралях гидронасоса и приложенный к нему **крутящий момент на входе**. Все параметры необходимо записывать в режиме единого времени.

На гидронасосе измеренный (записанный) крутящий момент, приложенный к гидронасосу на входе всегда больше крутящего момента, рассчитанного по измеренным (записанным) значениям входного и выходного давления в гидромагистралях и по его рабочему объему с использованием выражения (1), на величину потери крутящего момента внутри гидронасоса (7).

$$M_{ГН}^{Изм.Вход.} > M_{ГН}^{Расч.} \qquad (7)$$

где $M_{ГН}^{Изм.Вход.}$ – измеренный (записанный) крутящий момент, приложенный к гидронасосу на входе, Нм; $M_{ГН}^{Расч.}$ – крутящий момент, рассчитанный с использованием выражений (8) по измеренным (записанным) входному и выходному давлению в гидромагистралях и рабочему объему гидронасоса.

$$M_{ГН}^{Расч.} = \frac{\Delta p_{ГН} \cdot q_{ГН}}{2\pi} \cdot \frac{9.81}{100} \qquad (8)$$

где $q_{ГН}$ – рабочий объем гидронасоса, см^3; $\Delta p_{ГН}$ – перепад давления на гидронасосе, рассчитанный (9) по измеренным (записанным) входному и выходному давлению в гидромагистралях гидронасоса, кг/см^2 (атм).

$$\Delta p_{ГН} = p_{ГН}^{Изм.Вых.} - p_{ГН}^{Изм.Вход.} \qquad (9)$$

где $p_{ГН}^{Изм.Вых.}$ – измеренное (записанное) выходное давление в гидромагистрали, кг/см^2 (атм); $p_{ГН}^{Изм.Вход.}$ – измеренное (записанное) входное давление в гидромагистрали, кг/см^2 (атм).

Соотношение между $M_{ГН}^{Изм.Вход.}$ и $M_{ГН}^{Расч.}$ описывается выражением (10):

$$M_{ГН}^{Расч.} = M_{ГН}^{Изм.Вход.} \cdot \eta_{ГН}^{Мех.} \qquad (10)$$

где $\eta_{ГН}^{Мех.}$ – механический КПД гидронасоса

Тогда непосредственно механический КПД гидронасоса может быть определен из выражения (11):

$$\eta_{ГН}^{Мех.} = \frac{M_{ГН}^{Расч.}}{M_{ГН}^{Изм.Вход.}} \quad (11)$$

Путем осуществления математических действий с графиками (вычитания, перемножения, умножения на константы) измеренных (записанных) параметров по приведенным выше выражениям можно получить графики изменения механического КПД для различных испытываемых гидромоторов и гидронасосов при реализации различного давления и различной частоты вращения.

Заключение

1. Приведенная в статье методика позволяет получить экспериментально как зависимость изменения механического КПД гидромашины в процессе функционирования на конкретном режиме, так и зависимость этого КПД от уровня преодолеваемой нагрузки.

2. Данная методика может быть эффективно использована для диагностики технического состояния уже эксплуатировавшихся гидромашин и для оценки технического уровня и качества изготовления новых гидромашин, сравнения фактически полученных показателей с заявленными изготовителем.

3. Последнее может быть эффективно использовано для поиска новых, альтернативных, ранее не применявшихся в производстве изготовителей качественных гидромашин, что крайне важно в сложившейся на сегодняшний день международной обстановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюханов О. Н., Коробко В. И., Мелик-Аракелян А. Т. Основы гидравлики , теплотехники и аэродинамики : Учебник. — М.: ИНФРА -М , 2015. — 254 с.

2. Галдин Н. С. Основы гидравлики и гидропривода: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 145 с.

3. Моргунов К. П. Гидравлика: Учебник. — СПб.: Издательство «Лань», 2014 — 288 с.

УДК 631.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА КОМПАНИИ АСКОН ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

Д. А. Галецкий, И. А. Кольцова
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация: Введение санкций против России заставило задуматься о многих вещах, в том числе и «цифровых технологиях».

Можно ли полагаться на импортное программное обеспечение (далее – ПО), импортные цифровые технологии в отрасли или ждать новые экономические санкции, предприятиям, создающим сложную, наукоемкую технику, решающим вопросы проектирования и технологической подготовки производства.

Санкции могут затруднить разработки, создание новых проектов, новых изделий на предприятиях. Сегодня нельзя купить обновления ПО, нельзя купить лицензии.

В статье представлен комплексный подход по поиску импортозамещению ПО PTC Creo и Windchill на отечественные аналоги от компании АСКОН, такие как Компас-3D (далее-Компас) и Лоцман:PLM (далее-Лоцман).

Разработанная методика направлена на оптимизацию процесса перехода на российское ПО, что позволяет снизить зависимость от зарубежных поставщиков и повысить информационную безопасность.

Введение: Импортозамещение в сфере информационных технологий является одной из приоритетных задач для предприятий в Республике Беларусь.

В условиях санкционного давления и необходимости обеспечения кибербезопасности, поиск и внедрение отечественного ПО становится приоритетно важным.

Затраты на переход к отечественным решениям могут быть значительными, однако долгосрочные выгоды включают снижение рисков, связанных с использованием зарубежного ПО и поддержку национальных разработчиков.

Данная статья посвящена исследованию методов и инструментов, которые могут помочь организациям эффективно перейти на импортозамещающее ПО, минимизируя при этом возможные риски и затраты.

Объект исследования: альтернативное, импортонезависимое ПО, новые информационные технологии для работы конструкторских, технологического подразделений ОАО «Гомсельмаш».

Предмет исследования: Поиск альтернативного, импортозамещающего решения, ПО, которое обеспечит корректную миграцию данных, достаточную функциональность, быстродействие при работе с 3D-моделями - больших сборок (50 -100 тысяч деталей, сборочных единиц) и совместную работу конструкторских подразделений, технологов, специалистов ОАО «Гомсельмаш».

Цель исследования: Поиск импортозамещающего ПО, которое обеспечит процесс проектирования, многопользовательскую работу над проектами, корректную миграцию данных, достаточную функциональность, работу с большими сборками, обеспечит эффективный переход на отечественное ПО, многопользовательскую работу подразделений.

Найти, протестировать импортозамещающее, провести пилотный проект ПО (информационные технологии), по направлениям:

- САПР (CAD) – система проектирования; проектировщики на базе данного инструмента выполняют разработку 3D-моделей и ассоциативных чертежей;
- система PDM/PLM; обеспечивает управление инженерными данными и жизненным циклом изделия; взаимодействие систем САПР и PDM;
- хранение данных в СУБД Oracle - СУБД база данных для хранения.

Методология исследования

1 Сравнительный анализ существующего и импортозамещающего ПО аналогов

Сегодня проектирование в НТЦК выполняется в САПР Creo Parametric (3D CAD). Для управления жизненным циклом изделия используется система управления жизненным циклом изделия PDM Windchill. Системы САПР Creo и PDM Windchill (далее- Windchill) разработчик фирма англ. «PTC» страна США.

В НТЦК в течение 20 лет при взаимодействии САПР Creo Parametric (далее – Creo) и системы управления жизненным циклом изделия PDM Windchill разрабатываются, модифицируются современные электронные цифровые 3D-модели зерноуборочных, кормоуборочных и других видов техники. Выполняется выпуск конструкторской документации.

Цифровая электронная 3D-модель сборки верхнего уровня комбайнов в системе Creo состоит из 40-70 тысяч (например, для

современных зерноуборочных комбайнов) электронных 3D-моделей деталей, сборочных единиц (далее - ДСЕ).

На основании данных формируется электронный конструкторский состав изделий (ЭСИ). Данные о составе изделий передаются в систему ERP SAP для планирования и управления производством ОАО «Гомсельмаш».

Спроектированными 3D-моделями пользуются специалисты УГТ (для технологического контроля, выполнения разверток, разработки программ для станков с ЧПУ) и других подразделений ОАО «Гомсельмаш».

Система Creo относится к «тяжёлой» (многофункциональной САПР мирового уровня) на современном рынке в машиностроение, сельхозмашиностроение, транспортном машиностроение, авиастроении, кораблестроении и других отраслях.

«Тяжёлые САПР» предназначены для работы со сложными изделиями, большими сборками и отличаются высокой производительностью обработки, высокой скоростью загрузки 3D-моделей, чертежей, расширенной функциональностью, технологиями ассоциативности

В САПР (CAD-системах) различают «легкие» и «тяжелые» системы. Виды, анализ, обзор САПР приведен в таблице 1. Обзор CAD-систем - «легкие» и «тяжелые» системы САПР.

Обзор CAD-систем - «легкие» и «тяжелые» системы САПР

«Легкие», «Средние» САПР используются преимущественно для выполнения чертежей (ориентированы на 2D графику), сравнительно дешевы и менее требовательны в отношении вычислительных ресурсов.

«Тяжелые» САПР ориентированы на геометрическое моделирование (3D), более дорогие, оформление чертежной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей на базе ассоциативных связей.

Наиболее известные - следующие CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении: «Тяжелые» системы (в скобках указана фирма, разработавшая или распространяющая продукт):

- Unigraphics (EDS Unigraphics); -Solid Edge (Intergraph);
- CREO/ Pro/Engineer (PTC — Parametric Technology Corp.), CATIA (Dassault Systemes), EUCLID (Matra Datavision), CADDS.5 (Computervision, ныне входит в PTC) и другие.

Таблица 1 - Обзор CAD-систем - «легкие» и «тяжелые» системы САПР

Условная классификация САПР по продуктам и компаниям		
Класс САПР	**Продукт**	**Компания**
1	2	3
Тяжелый	Unigraphics NX	EDS
	CATIA	Dassault Systems/IBM
	CREO (Pro/Engineer)	PTC США
	Зарубежные системы	
	SolidEdge	EDS
Средний	SolidWorks	SolidWorks
	Inventor и Mechanical Desktop	Autodesk США
	Cimatron	Cimatron
	CadKey	CadKey
	PowerSolutions	Delcam
	Отечественные продукты , РОССИЯ	
Средний	КОМПАС(CAD/CAM/CAE/PDM)	"Аскон"
Средний	T-Flex (CAD/CAM/CAE/PDM)	"Топ Системы"
	КРЕДО (CAE)	НИЦ АСК
Легкий	AutoCAD	Autodesk США
	SurfCAM 2D	Surfware

«Легкие» системы: AutoCAD (Autodesk); АДЕМ; bCAD (ПроПро Группа, Новосибирск); Caddy (Ziegler Informatics); Компас (Аскон, С.Петербург); Спрут (Sprut Technology, Набережные Челны); Кредо (НИВЦ АСК, Москва).

Системы, занимающие промежуточное положение (среднемасштабные): Cimatron, Microstation (Bentley), Euclid Prelude (Matra Datavision), T-FlexCAD (Топ Системы. Москва) и др.

С марта 2022 года иностранные ИТ-компании начали выполнять требования регуляторов своих стран по соблюдению санкций и приостановили работу в России. Среди них оказалась фирма «PTC».

С сентября 2024года для России и Республики Беларусь введен новый пакет санкций. Новые санкционные меры включают:

1) Услуги ИТ-проектирования и разработки приложений включают услуги по проектированию структуры и/или написанию компьютерного кода, необходимого для создания и/или реализации программного приложения, такие как:

(a) проектирование структуры веб-страницы и/или написание компьютерного кода, необходимого для создания и реализации веб-страницы;

(b) проектирование структуры и содержимого базы данных и/или написание компьютерного кода, необходимого для создания и реализации базы данных;

(c) проектирование структуры и написание компьютерного кода, необходимого для проектирования и разработки пользовательского программного приложения;

(d) настройка и интеграция, адаптация (модификация, конфигурирование, и т.д.) и установка существующего приложения таким образом, чтобы оно функционировало в среде информационной системы клиента.

2) ПО для управления предприятием:

- планирование ресурсов предприятия (ERP);
- управление взаимоотношениями с клиентами (CRM);
- бизнес-аналитика (BI);
- управление цепочками поставок (SCM);
- корпоративное хранилище данных (EDW);
- компьютеризированная система управления техническим обслуживанием (CMMS);
- управление проектами и управление жизненным циклом продукта (PLM).

3) ПО для проектирования и производства:

– для информационного моделирования зданий (BIM);

– автоматизированного проектирования (CAD);

– автоматизированного производства (CAM) и проектирования на заказ (ETO).

4) Облачные сервисы, включающие в себя доставку ПО через Интернет или через облако, в том числе через ПО как услугу (SaaS), или облачные сервисы SaaS в отношении такого ПО.

Под санкционными ограничениями импортозависимыми оказались инженерные системы CAD/CAM/CAE/PLM/PDM, разработанные фирмами «PTC», Siemens, AutoDesk, SAP,Siemens NX, Teamcenter, FiberSIM, SolidWorks, CATIA, NX, Ansys и HyperWorks и др.

Не понятно, что будет далее с санкциями. К какой ситуации готовиться. ПО под санкционными ограничениями приведены в таблице 2. Перечень ПО находящего под санкциями, используемого для КТПП [1],[2].

Таблица 2 - Перечень ПО находящего под санкциями, используемого для КТПП

Класс информационной системы	Функционал	Зарубежные аналоги, которые нужно заменить
Средства управления жизненным циклом изделий разных назначений(PLM,PDM).	Средства управления жизненным циклом изделий/продукции различного назначения	Delmia (Dassault Systems), Teamcenter (Siemens AG), ENOVIA (Dassault Systems**), Windchill (PTC)**
Средства (системы) автоматизированного проектирования (CAD, САПР)*	Средства автоматизированного проектирования сложных высокотехнологичных изделий различных отраслей промышленности	Siemens NX (Siemens AG), **AutoCAD (Autodesk)**, Catia/SolidWorks , AVEVA Marine (Schneider Electric Global), FORAN (Sener Ingenieria), **PTC Creo Parametric (PTC).** К основным линейкам продуктов компании относятся PTC Creo (CAD), PTC Windchill (PLM), PTC Mathcad (инженерные расчёты), PTC Integrity , PTC Creo View, PTC Servigistics и PTC Arbortext (работа с техдокументацией)
Средства инженерного анализа (CAE)	Системы моделирования (имитационное, аэро-, гидро-, теромодинамическое и пр. прикладное моделирование) и решения оптимизационных задач.	Siemens NX (Siemens AG), ANSYS (ANSYS), FORAN (Sener Ingenieria), Семейство MSC (DP Technology), Simula Abaqus (Dassault Systems)
Средства распознавания символов и работы с документами PDF	Сервисы для просмотра, печати и комментирования документов в формате PDF	Adobe Reader, Abbyy FineReader
Система управления планированием предприятием, производством, СУБД	Системы управления технологическим транспортом и передвижным оборудованием в промышленности и др.	**SAP** Transportation management , Oracle TMS, Oracle Field Service Cloud, SAP Field Service Management, SAP SuccessFactors, Oracle Dynamic Skills и Oracle Cloud HCM

* Подбор ПО, находящего под санкциями, используемого для КТПП в деятельности ОАО «Гомсельмаш». На сегодняшний день перечень санкционного ПО свыше 500 названий систем по информационным технологиям.

В России вышел Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 года № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Из указа №166 следует, что

полностью перейти на российский софт в России необходимо до 1 января 2025 года [3].

2 Разработка концепции перехода на отечественное ПО в условиях ОАО «Гомсельмаш»

Нынешняя политическая обстановка диктует необходимость использовать отечественные технологии, без зависимости от санкций, без программных продуктов не дружественных стран.

Концепция перехода, выполняли:

- обзор рынка в области данного направления информационных технологий и ПО;
- обзор контрагентов, которые используют Российские аналоги ПО по направлению САПР, PDM, СУБД, инженерные расчеты;
- исследовали функционал аналогичных, импортозамещающих систем по направлению – тематика PDM/PLM/CAD/CAM.

В таблице 3 Функциональный анализ ПО, указывается, что требуется импортозамещать и предполагаемые варианты по функциональности.

Таблица 3 - Функциональный анализ ПО

Вид ПО	Система САПР	Система PDM/ PLM	Разработка тех. процессов	Средства визуализации	СУБД
Функциональность	Проекти-рование	Хранение упрвление ЖЦИ	Техпроцессы, режимы резания	Быстрый просмотр	Хранение
Импортное ПО «Тяжелая САПР» Используемое ПО Разработчик РТС США	CREO	PDM Windchill Библиотеки Windchill	Старая DOS программа	Creo View	ORACLE
Импортонезависимое ПО «Легкая/Средняя САПР» Аналог ПО Разработчик АСКОН Россия	КОМПАС	ЛОЦМАН библиотеки МДМ Полином	ВЕРТИКАЛЬ	Компас – просмотр	Postgre SQL Postgre s Pro

На сегодняшний день продолжаем проектные работы с имеющимися (старыми) версиями зарубежного ПО и рассматриваем, тестируем функционал альтернативного ПО. Процесс проектирования и сопровождения серийной техники в НТЦК остановить нельзя.

Анализируя рынок ПО по состоянию на 2024 год, по направлениям интегрированного использования CAD/PLM/PDM, прорабатывая текущие

предложения на рынке ПО CAD/PLM/PDM, участвуя в семинарах по импортозамещению – установлено, что PDM системы аналогично функционалу Windchill, САПР Creo - пока не разработаны, но интенсивно ведутся доработки, обновление, финансовые вложения, адаптация российского ПО, работы по информационно-технологической трансформации в области CAD/PLM/PDM, ОС (операционных систем) и используемых СУБД.

В качестве основного альтернативного решения рассматриваются российские продукты АСКОН:

- для проектирования САПР (CAD) Компас;
- для PDM/PLM система Лоцман; для библиотек база «Полином».

Как наиболее распространённые и популярные решения на рынке Белоруссии и России. (2 ноября 2023 года компания АСКОН попала в санкционный SDN-список США).

Как заявляют разработчики АСКОН [4], полностью импортонезависимая система. В основе КОМПАС-3D лежит российское геометрическое ядро C3D (создано C3D Labs, дочерней компанией АСКОН) и собственные программные технологии. Ядро C3D может использоваться для создания систем проектирования (CAD) и их приложений, расчетных систем (CAE), систем подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (CAM), моделирования технологических процессов, систем PDM [5].

Сегодня российские разработчики, предлагающие на замену иностранного ПО свои решения, заявляют о наличии всех аналогичных функций и гарантируют безболезненный, легкий переход в каждом своем выступлении или статье, в Интернете.

Для углубленного изучения, тестирования функционала и технологий АСКОН на ОАО «Гомсельмаш» выполняется пилотный проект.

В качестве объекта тестирования, исследования выбрана машина передвижная дождевальная МПД-500. Проектирование в технологиях АСКОН в Компас выполнялось на базе машины поливочной машины МПД-500. Хранение данных в системе PDM/PLM Лоцман с применение библиотек МДМ «Полином».

3 Сложности при переходе на импортозамещающее ПО АСКОН

При тестировании технологий АСКОН, проработки технологий АСКОН Компас/Лоцман, выявлены**:**

- 3D-модели из системы Creo с командами (фичерами) «Дерева модели/Дерева построения» в полном объеме не переносятся в Компас/Лоцман. Отсутствует технология для массового (пакетного) производительного импортирования данных, а не по одной 3D-модели.

- отсутствует техническое решение (технология) по миграции данных наработанных за 15-20 лет в Creo/Windchill. Далее упоминаем как - **проблемы миграции;**

- значительное отставание по функциональности, быстродействию и удобству, функционалу использования по сравнению с зарубежными аналогичными системами, (например Creo/Windchill, использующиеяся в настоящее время на предприятии). Далее упоминаем как – **отставание функциональности.**

Основными противоречиями, выявленными в ходе выполнения тестирования, пилотного проекта требующими совершенствования и развития являются:

- производительность и функциональные возможности Компас/Лоцман при работе с большими сборками. В специфике НТЦК под большой сборкой понимаем сборку из 40-70 тысяч ДСЕ. Далее упоминаем как – **трудности, работы с большими сборками.**

Например, представители АСКОН не дают гарантий, про быстродействие больших сборок верхнего уровня (например, наукоемкие зерноуборочные комбайны КЗК-2124, КЗК1218, КЗК-8-9, КЗК-3219, КЗК 200-2 и кормоуборочные КВК 650-10 и др.).

Рассмотрим вышеназванные направления детально.

3.1 Проблемы миграции (экспорта /импорта данных)

Сложности миграции (экспорта) данных 3D-моделей, чертежей из Windchill и Creo в (импорт) Лоцман и Компас - миграция данных, которые наработаны годами в Windchill и Creo, в систему Лоцман и Компас, очень важная и трудоемкая процедура, то, что годами наработано коллективом НТЦК, которая вызывает множество трудностей.

НТЦК экспортировать из Creo, Windchill следует то, что было наработано НТЦК в течение последних 15-20 лет [6]:

- данные Creo/Windchill (3D-модели, чертежи, атрибутивную информацию);

- старые серийные чертежи Автокад.

Первоочередные объекты (инженерные данные) систем Creo, Windchill, которые подлежат экспорту в новую систему:

- ассоциативно связанные чертежи и 3D-модели;

- чертежи и атрибуты, 3D-модели и исполнения, атрибуты ДСЕ, версии, состояние ЖЦИ, где расположены «Локация», «Изделие»;

- вспомогательные модели, версии, состояние жизненного цикла изделия (ЖЦИ), где расположены «Локация», «Изделие»;

- составные части и атрибуты, версии; - механизм переноса справочников. Как справочники из Windchill (стандартные, покупные,

типовые, материалы, их версии) экспортировать в библиотеки МДМ ПОЛИНОМ;

- проекты (контексты) по изделиям, справочники, коллективы;
- классификационные схемы справочников, справочники /библиотеки; справочник «Наименований ДСЕ», инфо-объекты;
- листовые 3D-модели и чертежи, версии; таблицы гибки, которые увязаны с листовыми цифровыми моделями и др.

В частности, это касается больших сборок, таких как зерноуборочные и кормоуборочные комбайны. Перенос таких сложных и объемных проектов (3D-моделей и атрибутов) требует значительных усилий и времени, что может замедлить рабочие процессы и привести к потерям данных или необходимости их повторного создания.

Для будущего. Если АСКОН не отработают технологию миграции данных (так называемые процедуры экспорта/импорта данных), то придётся 3D-модели и чертежи перечерчивать.

В процессе переноса данных (наработанных годами) может происходить потеря данных, вследствие чего необходимо большой временной и человеческий ресурс для проверки и корректировки.

Миграция данных для НТЦК, для ОАО «Гомсельмаш» особенно важная часть при переходе на другую PDM и CAD систему. В АСКОН пока такая функциональность не отработана.

3.2 Отставание функциональности

Работа с большими сборками значительно хуже по сравнению с Creo:

- отсутствует функции «Переименовать» как в Windchill, «Переместить» как в Windchill, «Переименовать в сессии» как в Creo;
-ограничен функционал при проектировании. Особенно работа с привязками;
- медленно отрабатывает функционал Лоцман «Сохранить, как прототип»;
- в Компасе отсутствует понятие работа с версиями;
- в «Дереве модели» отсутствует возможность добавления атрибутов;
- раздел «Диагностика моделей» в процессе проектирования в Creo значительно продуман, «Ошибки регенерации», «Диспетчер регенерации» виден конструктору в процессе проектирования и направлен на качественное проектирование и устранение ошибок в 3D-моделях; в Компас/Лоцман – такой функционал требуется доработать;
- в Компас/Лоцман наблюдем отсутствие диагностического функционала для поиска циклических ссылок в сборках и других несоответствий в 3D-моделях. В процессе создания МПД-500 передвижной

дождевальной машины в системе Компас + Лоцман было выявлено, что ПО не предоставляет инструментов для автоматического поиска циклических ссылок, не корректно привязанных компонентов в сборках.

Это затрудняет выявление и устранение потенциальных несоответствий при проектировании конструкций, которые могут возникнуть в сложных проектах, где такие ссылки могут приводить к некорректной работе системы;

- некорректная функциональность - работа поиска по маске; функция поиска по маске в Компас + Лоцман не работает должным образом. Вместо того чтобы позволять заменять буквы или цифры символом (*), система выполняет обычный поиск. Это ограничивает возможности пользователей при работе с большими объемами данных, так как они не могут эффективно использовать маски для фильтрации и поиска нужной информации;

- неудобство редактирования размеров элементов; при создании элементов в Компас их размеры часто выходят за пределы экрана, что требует смещения экрана для редактирования. В Creo существует опция автоматического «вписания» в экран, что значительно упрощает процесс редактирования, что отсутствует в АСКОН и прочее.

Новая технология АСКОН – новые подходы. Новые технологии АСКОН (Компас, Лоцман, Полином) требуют переобучение персонала и дальнейшего функционального развития.

3.2 Трудности, вопросы больших сборок

Работа с большими сборками в Лоцман выполняется медленно:

- проседает производительность и быстродействие в сравнении с зарубежными системами; явно отставание функционала при работе с большими сбороками посравнению с Creo/Windchill;

- команды «Сохранить как по прототипу» выполняются медленно;

- при передаче больших сборок из Компаса в Лоцман значительные затраты времени;

- при открытии моделей, чертежей отсутствует версия;

- в сборке в «Дереве построения» не видно, в каком контексте (изделие) находятся входящие ДСЕ;

- не всегда понятно пользователю, где расположены ДСЕ;

- не просматриваются связи «Родитель-потомок в сборке» и прочее.

Основные несоответствия приведены в документах «Журнале тестирования » и в итоговом отчете «Тестирование ПО Консорциума РазвИТие для оценки его применимости в процессах конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) вместо решений PTC».

4. Заключения и выводы. Практическая значимость

Результаты исследований подчеркивают необходимость доработки фирмой АСКОН функционала ПО САПР Компас и Лоцман для обеспечения их соответствия требованиям современных инженерных задач и зарубежных аналогов.

По мнению специалистов конструкторских подразделений НТЦК ОАО «Гомсельмаш», функциональность Компас и Лоцман позволяет решать конструкторские задачи НТЦК для небольших сборок, аналогично ПО CREO и Windchill, несмотря на отличие в их интерфейсах и на разные технологии. Но, для ОАО «Гомсельмаш», актуальна работа с большими сборками.

При этом имеется ряд нерешенных на данный момент вопросов, которые являются важными применительно к специфике проектирования изделий ОАО «Гомсельмаш». Одним из основных вопросов к применению Компас-3D и Лоцман для проектирования крупных изделий НТЦК, является недостаточная развитость функций контроля привязок и ошибок в больших сборках.

Лоцман: PLM возможно использовать для управления процессами КПП и хранения документации НТЦК ОАО «Гомсельмаш», потребуется проведение миграции существующих данных. Потребуется конфигурирование системы по требованиям ОАО «Гомсельмаш» для внедрения, потребуется разработка плагинов для кастомизации (кастомизация - это технология, которая позволит ОАО «Гомсельмаш» получить ПО, которое соответствует нуждам и потребностям пользователей).

Технологии АСКОН явно уступают зарубежным аналогам Creo/Windchill. На рынке российского ПО по данной тематике CAD/PLM/PDM фактически нет большого выбора. Не для всех западных решений есть российские аналоги. Поэтому быстрого и бесшовного перехода с импортного ПО на российское не получится.

Перспективы дальнейших исследований:

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку и внедрение систем САПР, PLM для работы со слоями, улучшение интерфейса для перепривязки деталей в сборках и создание более гибких инструментов для анализа и сравнения моделей, аналогично функционалу и опыту «тяжелых САПР». Также важно продолжить работу над улучшением функционала для миграции данных и устранением выявленных проблем, работу с большими сборками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский ИТ-рынок проходит через санкционную облачность. Обобщение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.interfax.ru/russia/966517//. – Дата доступа: 19.08.2024

2. Санкции в отношении IT-услуг и программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https //konsugroup.com/news/it-sanctions-2024/. – Дата доступа: 19.08.2024

3. О мерах по обеспечению технологической независимости: Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 года № 166 "О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации"., 30 марта 2022 г., № // Нац. реестр правовых актов Российской Федерации. – 2022

4. Аскон. Сковозная 3Д-технология-конкурентное преимущество бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ascon.ru/solutions/ct3d//. – Дата доступа: 19.08.2024

5. C3D Modeler – основа геометрического ядра C3D обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/762206/- Дата доступа: 28.09.2024

6. Кольцова И. А. Реализация пилотного проекта по поиску альтернативного импортозамещающего решения для синергии конструкторского проектирования и технологической подготовки производства ОАО «Гомсельмаш» /И.А. Кольцова // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 7-ой международной научно-практической конференции: В 2ч. Ч.1 - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2023. - 264 с.

УДК 631.35

САНКЦИИ ВРЕМЯ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ. СИНЕРГИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ КОМПАС АСКОН

И. А. Кольцова, Д. А. Галецкий, М. В. Павлусевич
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Сегодня санкции против России затрудняют покупку обновлений и лицензий программного обеспечения (далее-ПО). Под санкциями оказались главные инструментарии проектировщиков САПР Creo, PDM Windchill, SAP, Автокад и др.

Импортозамещение в сфере ИТ-технологий является приоритетной задачей для предприятий Беларуси и ОАО «Гомсельмаш». Предприятия Республики Беларусь активно занимаются импортозамещением.

Используются старые версии зарубежного ПО и тестируются альтернативные решения отечественного ПО.

В качестве основного альтернативного решения рассматриваются российские продукты АСКОН:

- аналог Creo - для проектирования САПР (CAD) Компас;
- аналог Windchill для PDM/PLM система Лоцман; для библиотек база «Полином».

Продукты АСКОН наиболее распространённые и популярные решения на рынке Белоруссии и России.

Для работы конструкторских подразделений рассматривается альтернативный программный продукт САПР Компас для разработки 3D-моделей и чертежей. Функциональность Компаса определяется функциональностью геометрического ядра Компас и его приложениями.

Для выполнения проектирования D-моделей и чертежей необходимо наличие и взаимодействие Компаса-3D и приложений Компас при сохранение данных в Лоцман.

Список приложений Компас для проектирования и выполнения расчетов – приводится ниже [1].

Оборудование: Металлоконструкции
Оборудование: Трубопроводы
Оборудование: Развертки
Валы и механические передачи 3D
Механика: Пружины
Каталог: Сварные швы
Каталог: Муфты
Разъемные соединения
Стандартные Изделия: Крепеж для КОМПАС

Стандартные Изделия: Детали, узлы и конструктивные элементы для КОМПАС

Стандартные Изделия: Электрические аппараты и арматура 3D для КОМПАС

Механика: Анимация

APM FEM

APM FEM. Топологическая оптимизация

KompasFlow

Оптимизация IOSO-K

Универсальный механизм Express

Компас-ЭКСПЕРТ

Распознавание 3D-моделей

Электронный справочник конструктора

Подшипники качения. Электронный справочник

Каталог Редукторы

Размерные цепи

Классификатор ЕСКД

Остановимся кратко на функциональности наиболее часто применяемых приложений. Каждое из приложений требует лицензии.

Приложение Компас - Оборудование: Металлоконструкции

Оборудование: Металлоконструкции — приложение для КОМПАС-3D, предназначенное для автоматизации работ по проектированию конструкций из профильного металлопроката. Приложение позволяет быстро проектировать всевозможные рамы и каркасы, автоматически создавать комплект документации.

Создание металлоконструкции в приложении начинается с построения Трехмерного каркаса — геометрических осей, которые являются эскизом конструкции. После чего для каждой из осей назначается профиль, который выбирается из приложения «Материалы и Сортаменты для КОМПАС» (требует отдельно оплачиваемой лицензии). Для удобства построения и редактирования металлоконструкции в приложении реализован механизм Характерных точек, который позволяет задавать длину и угол поворота профиля непосредственно в окне построения (рис. 1). Приложение Оборудование: Металлоконструкции. Требует для работы: КОМПАС-3D, «Материалы и Сортаменты для КОМПАС». Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования».

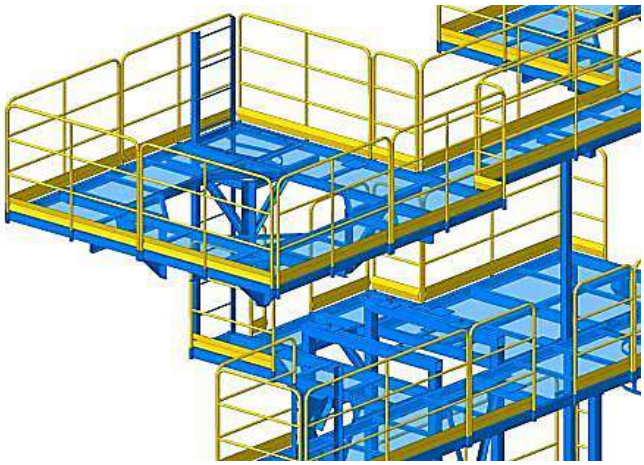


Рис. 1 – Приложение Компас - Оборудование: Металлоконструкции

Приложение Компас - Оборудование: Трубопроводы

Оборудование: Трубопроводы — специализированное приложение системы КОМПАС-3D, предназначенное для быстрого проектирования гидравлических и пневматических систем, различных инженерных коммуникаций, обвязок машин и оборудования, автоматического создания комплекта документации для изготовления трубопроводов (рис. 2). Пример. Компас – приложение Оборудование: Металлоконструкции. Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования».

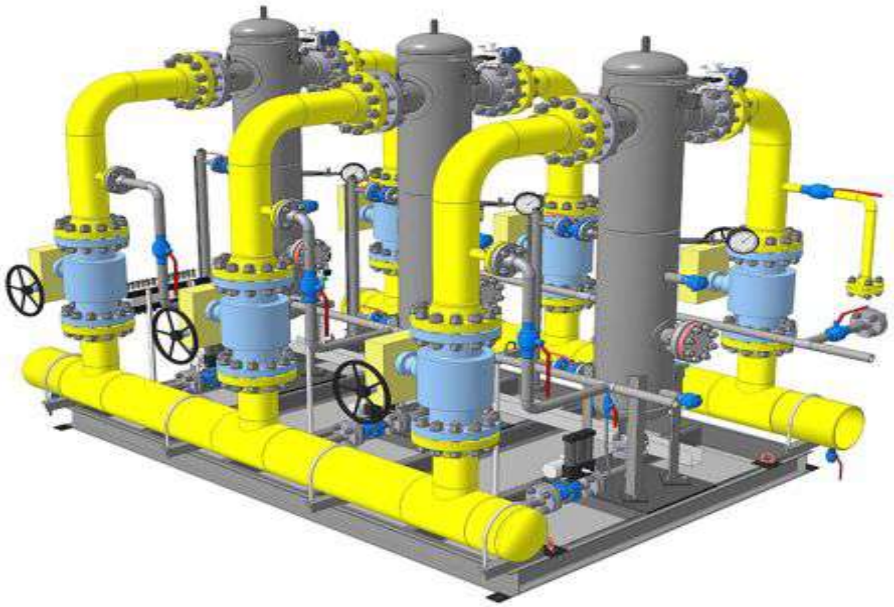


Рис. 2 – Пример. Приложение-Компас –Оборудование: металлоконструкции

Приложение Компас - Оборудование: Развертки

Приложение «Оборудование: Развертки» предназначено для быстрого проектирования элементов пыле-, газо- и воздухопроводов, трубопроводов и аналогичных деталей листовой конструкции.

Приложение позволяет по выбранному типу листовой конструкции и её размерам автоматически получить 3D-модель, чертеж, а также контур развертки в формате DXF. Требует для работы: КОМПАС-3D v22 Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования».

Приложение Компас - Валы и механические передачи 3D

Приложение предназначено для автоматизации проектирования и построения трехмерных моделей валов, втулок, элементов механических передач и различных конструктивных элементов в среде КОМПАС-3D.

Пример (рис. 3) Приложение Компас – Валы и механические передачи 3D. Средствами приложения Валы и механические передачи 3D могут быть спроектированы следующие элементы механических передач:

- шестерни цилиндрические с внешним и внутренним зацеплением;
- шестерни цилиндрические винтовых эвольвентных передач;
- зубчатые рейки; шестерни конические с прямым зубом;
- шкивы клиноременных передач;
- звездочки приводных роликовых цепей;
- червяки и червячные колёса (цилиндрическая червячная передача);
- зубчатые глухие муфты;
- шкивы плоскоременных передач.

Пользователям доступны геометрические и проектные расчеты, расчеты передач на прочность и долговечность, а также оптимизационные расчеты.

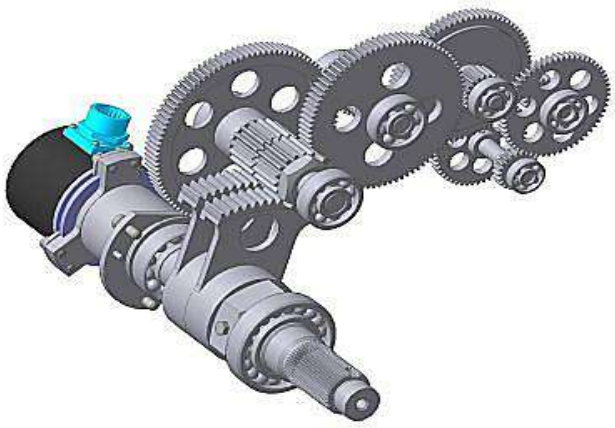


Рис. 3 – Приложение Компас – Валы и механические передачи 3D

Валы и механические передачи 3D.

Дополнительный модуль расширяет список проектируемых передач. К основному перечню элементов добавляются элементы следующих передач:

- конической передачи с круговыми зубьями; гипоидной передачи;
- конической передачи с тангенциальными зубьями;
- червячной глобоидной передачи;
- ортогональной передачи «Цилиндрический червяк-Цилиндрическое косозубое колесо»;
- планетарной передачи Джеймса с одновенцовыми сателлитами;
- цилиндрической передачи внешнего зацепления с арочными зубьями;
- цилиндрической передачи Новикова внешнего зацепления;
- плоскоцилиндрической (коронной) зубчатой передачи;
- зубчаторемённой передачи; зубчатой соединительной муфты;
- цевочной передачи;
- червячно-реечной передачи.

Особенности приложения:

Проектировать изделие можно начать как с его 3D-модели, так и с чертежа. Возможность оптимизационного проектирования: автоматизированный расчет коэффициентов смещения позволяет спроектировать цилиндрическую зубчатую передачу внешнего зацепления с эвольвентными зубьями, имеющую оптимальные свойства по нескольким критериям: контактной прочности, прочности по изгибу,

равнопрочности зубьев, износостойкости и сопротивления заеданию, плавности работы.

Проектные расчеты передач выполняются по созданным математическим моделям функционирования, что в совокупности с использованием оптимизационных методов позволяет подобрать ряд вариантов передач, удовлетворяющих заданным условиям эксплуатации.

Оптимизация, с использованием приложения «Оптимизация IOSO-K», для проектирования высокоэффективных цилиндрических эвольвентных зубчатых передач, обладающих наилучшими характеристиками прочности, долговечности, износостойкости и плавности.

Проектировать детали можно не только в соответствии с отечественной нормативной базой (ГОСТ, ОСТ), но и по стандартам других стран (AGMA, ASA, DIN, ISO, JIS, GBT). 2D-профили зубчатых венцов и генерируемые 3D-модели абсолютно правильны и геометрически корректны. Они безо всяких ограничений могут быть использованы при создании программ для станков с ЧПУ. Генерация 3D-моделей венцов зубчатых колес доступна с учетом допуска. Генерация зубчатых венцов выполняется на функционале ядра C3D КОМПАС-3D.

Требует для работы**:** КОМПАС-3D**.**

Приложение Компас - Механика: Пружины

Приложение позволяет выполнять проектные и проверочные расчеты пружин сжатия, растяжения, кручения, а также тарельчатых, конических и фасонных пружин. По результатам расчетов автоматически формируются чертежи и 3D-модели. В основу приложения положены следующие методики расчета: пружины сжатия и растяжения — ГОСТ 13764-86, ГОСТ 13765-86; тарельчатые пружины — ГОСТ 3057-90; пружины кручения — методика из книги В.И. Анурьев ”Справочник конструктора-машиностроителя” том 3; конические и фасонные пружины — методика из книги С. Д. Пономарёв, Л. Е. Андреева «Расчет упругих элементов машин и приборов».

При создании чертежа пружины возможны выбор типа зацепов, автоматическая постановка размеров, выносных видов, диаграмм деформаций или усилий. Требует для работы: КОМПАС-3D. Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования».

Приложение Компас - Неразъемные соединения. Каталог: Сварные швы

Набор приложений для быстрого оформления электронной модели изделия, содержащей сварные соединения. В CREO- модуль сварка

привязывался к зарубежным документам и не применялся при проектирование в НТЦК. Пример (рис. 4) Приложение Компас – Каталог сварные швы.

Если модель или чертеж сварной конструкции насыщены разными сварными швами, не ошибиться при оформлении или редактировании обозначений сварных швов достаточно трудно. Каталог: Сварные швы поможет упростить простановку обозначений в модели и избежать ошибок при указании номеров и количества швов на чертеже. Каталог состоит из следующих приложений:

Неразъемные соединения.

Обозначение шва и указание его условного обозначения непосредственно в модели. Созданное условное обозначение автоматически передается в чертеж сварной конструкции. Кроме того, в чертеж может быть передана и длина сварного шва.

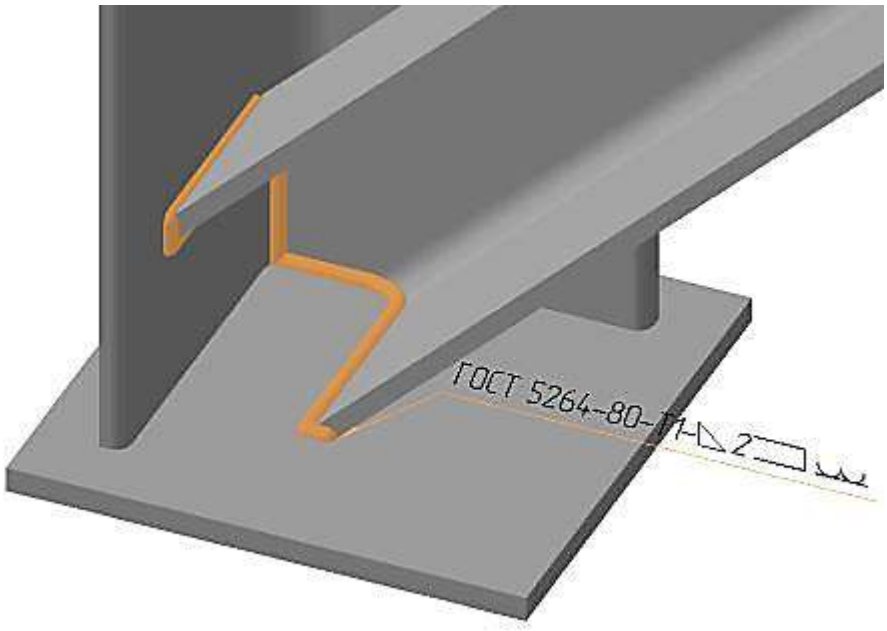


Рис. 4 - Приложение Компас – Каталог сварные швы

Быстрая простановка обозначений сварных швов по ГОСТ возможна за счет диалогового окна, в котором можно выбрать параметры сварки (стандарт, тип, способ и т.д.). При вводе в текущий документ нового обозначения шва автоматически ставится следующий порядковый номер. Возможна вставка обозначения из пользовательского шаблона (набора часто используемых швов).

Возможность создавать обозначения сварных швов на чертежах в соответствии со стандартами ГОСТ 2.312-72, ISO 2553:1992 (DIN 22553-1997), создавать таблицы сварных швов.

Проверка обозначений сварных швов текущего документа по ГОСТ перед автоматическим построением таблицы сварных швов в соответствии с выбранным стилем. Проверка позволяет избежать несогласованности в видах обозначений на чертеже, количестве швов и их номерах.

Вставка в чертеж или эскиз модели конструктивных элементов сварных швов. В диалоговом окне, выбрав параметры нужного соединения можно вставить изображение шва, либо разделки его кромок. Доступны изображения конструктивных элементов швов по ГОСТ 5264-80, ГОСТ8713-79, ГОСТ 14771-76, ГОСТ14806-80.

Условные обозначения сварных соединений

Указание на чертеже изображения катетов сварных швов и обозначение швов согласно ГОСТ 21.502-2007. Возможность настроить тип катета (равносторонний или неравносторонний) и направление скругления (внутрь или наружу). Доступна отрисовка катета и без скругления — в виде треугольника.

Выбор типа шва при вставке в документ его изображения по ГОСТ 21.502-2007: заводской или монтажный, сплошной или прерывистый — и указать, видимой или невидимой должна быть линия шва. Геометрические параметры изображений швов (длина штрихов, расстояние между штрихами и группами штрихов, тип линий и т. д.) настраиваются пользователем. Требует для работы: КОМПАС-3D.

Приложение Компас -Каталог Муфты

Приложение предназначено для создания трехмерных моделей и чертежей стандартных машиностроительных муфт различных типов.
Приложение позволяет создавать трехмерные модели и двухмерные изображения муфт. Требует для работы: КОМПАС-3D.

Приложение Компас - Механика: Анимация

Приложение «оживит» модели, спроектированные вами в КОМПАС-3D, поможет выявить возможные столкновения деталей и создать интерактивные руководства по сборке-разборке изделий. Пример (рис. 5) Приложение Компас – приложение Механика:

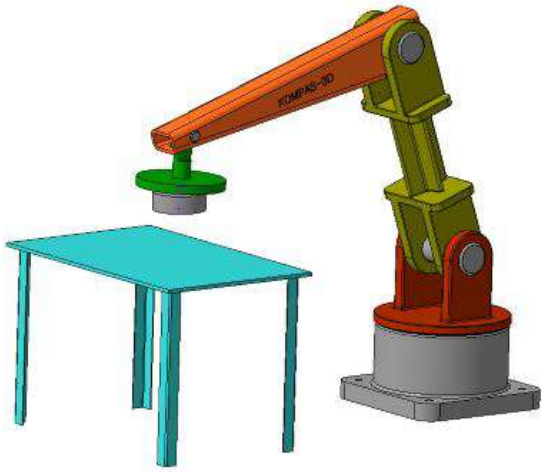


Рис. 5 – Приложение Компас – приложение Механика: Анимация

Анимация. Основные возможности приложения:

- Имитирование движений различных узлов и звеньев машин, устройств, механизмов и приборов.
- Проверка возможных соударений компонентов в процессе их перемещений для выявления ошибок в проектировании.
- Создание видеороликов, демонстрирующих работу устройств для презентаций или интерактивных технических руководств.
- Создание диаграмм последовательных положений механизма — «кинограмм» (набора последовательных кадров в формате *.frw — фрагментов КОМПАС-График). Запись видеороликов движения в формате avi.

Приложение Компас - APM FEM (расчетный модуль)

Приложение APM FEM предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, и визуализации результатов этих расчетов.

В состав APM FEM входят инструменты подготовки деталей и сборок к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор.

Для создания конечно-элементного представления объекта в APM FEM предусмотрена функция генерации КЭ-сетки, при вызове которой происходит соответствующее разбиение объекта с заданным шагом.

Прочностной анализ модуля APM FEM позволяет решать линейные задачи; напряженно-деформированного состояния (статический расчет); статической прочности сборок; устойчивости; термоупругости; стационарной теплопроводности. Требует для работы: КОМПАС-3D.

Приложение -АРМ FEM. Топологическая оптимизация

Приложение для оптимизации распределения материала в области проектирования с учетом нагрузок и закреплений. Включает в себя модуль «Процедура сглаживания поверхностей (Свободная форма)».

Топологическая оптимизация позволяет создать модель с заданными эксплуатационными характеристиками, уменьшая материалоемкость детали или целой конструкции. В качестве критерия оптимальности могут выступать следующие параметры модели:жесткость,прочность, масса.

Требует для работы: КОМПАС-3D**,** АРМ FEM.

Приложение Компас - KompasFlow (расчетный модуль)

Приложение предназначено для проведения в КОМПАС-3D экспресс-анализа аэрогидродинамики проектируемого изделия. KompasFlow обладает простым интерфейсом для экспресс-анализа устройства на ранних этапах его проектирования и позволяет сделать первичную оценку влияния вносимых изменений в геометрию устройства на его эффективность. KompasFlow позволяет моделировать течение однокомпонентного газа (сверхзвуковое и дозвуковое течение, сжимаемые и несжимаемые среды); течение жидкости; теплопроводность и естественную конвекцию с учетом радиационного теплообмена.

Приложение Компас - Оптимизация IOSO-K

Приложение для оптимизации геометрии деталей и сборок в КОМПАС-3D. Параметризация дает возможность рассмотреть несколько вариантов изделия в одной модели. Оптимизация — это направленный поиск наилучших решений. Приложение может работать как совместно с АРМ FEM и KompasFlow, так и самостоятельно.

Приложение Компас - Универсальный механизм Express

Приложение предназначено для экспресс-анализа динамических, кинематических и статических систем, спроектированных в КОМПАС-3D. Универсальный механизм Express ориентирован на инженеров-конструкторов, занимающихся проблемами анализа динамического поведения машин и механизмов, и является специализированным приложением для системы КОМПАС-3D. Требует для работы: КОМПАС-3D.

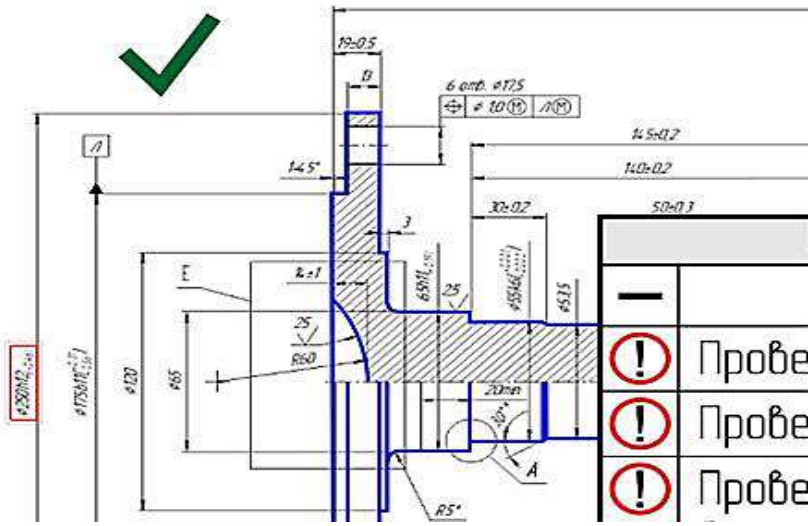


Рис. 6 – Приложение Компас - КОМПАС-ЭКСПЕРТ

Приложение Компас - Компас-ЭКСПЕРТ

Приложение для поиска и исправления ошибок в документах КОМПАС-3D. Пример Рис.6 Приложение Компас - Компас-ЭКСПЕРТ. КОМПАС-Эксперт проверяет модели, чертежи и спецификации, оформленные в КОМПАС-3D, давая конструктору возможность исправить их до того, как документация попадет в производство. Всего в приложении реализовано более 200 проверок. Приложение работает независимо от КОМПАС, но его наличие на рабочем месте необходимо. Запустив приложение, нужно выбрать документы для проверки. Результатом проверки является список ошибок, разделенных на группы и ранжированных по значимости. Пользователь может указать ошибку в списке, и приложение автоматически откроет проверенный документ в КОМПАС. Красной рамкой будет выделено то место или объект, где эта ошибка обнаружена. Согласившись с оценкой КОМПАС-Эксперта, можно тут же ее исправить.

Виды проверок три основные группы:

- стандарты оформления ЕСКД: расстояние между размерными линиями, размещение текста, наличие пересечений у размерной линии, стили линий и засечек и пр.;
- технологические ограничения предприятия: разрешенные значения шероховатости, квалитета, резьб, положение и форма отверстий;
- правила работы в КОМПАС-3D: ручной ввод размеров, привязка обозначения позиции к спецификации, использование объекта осевая, а не линии со стилем осевая и т. п.

Потратив несколько минут на проверку документа в приложении КОМПАС-Эксперт, пользователь сэкономит время на исправлении ошибок на стадии производства.

Приложение Компас - Распознавание 3D-моделей

Система распознавания 3D-моделей расширяет возможности обмена математическими моделями между организациями, использующими различные CAD-системы, позволяя распознавать образ модели КОМПАС-3D, импортированной через промежуточный формат (XT, ACIS, STEP, IGES).

Основное преимущество системы — в результате преобразования получается трехмерная модель с «Деревом построения», что обеспечивает быстрое и удобное внесение изменений в импортированную модель. Кроме того, применение этого приложения позволяет значительно сократить время на воссоздание в КОМПАС-3D моделей, полученных из других CAD-систем.

Приложение Компас - Размерные цепи

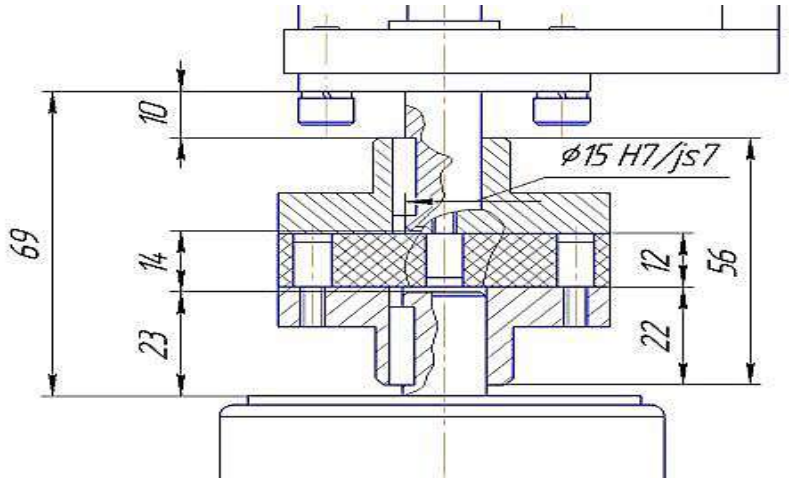


Рис. 7 – Приложение Компас - Размерные цепи

Приложение позволяет производить расчет размерных цепей для чертежей и фрагментов в соответствии с РД 50-635-87 «Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей». Пример (рис. 7) Приложение Компас - Размерные цепи. Элементами размерной цепи могут быть проставленные размеры или отрезки. Приложение позволяет выполнять расчеты для горизонтальных, вертикальных и наклонных размеров.

Расчеты могут быть выполнены методом максимума-минимума или теоретико-вероятностным методом. Отклонения вычисляются для номинальных размеров в диапазоне 0…10000 мм (ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82).

Для размерных цепей, в которых хотя бы один номинальный размер не вписывается в диапазон, может производиться расчет только номинальных значений размеров.

Поддерживаются вычисления отклонений «A» «B» «C» «CD» «D» «E» «EF» «F» «FG» «G» «H» «JS» «K» «M» «N» «P» «R» «S» «T» «U» «V» «X» «Y» «Z» «ZA» «ZB» «ZC» с квалитетами 0-18 для валов и отверстий.
Производитель: ООО «АСКОН-Системы проектирования».

По тестированию технологии АСКОН (САПР Компас-3D и приложений Компас, PLM Лоцман, MDM: Полином) выполняется пилотный проект на ОАО «Гомсельмаш».

Объект тестирования - МПД-500-машина поливальная дождевальная.

По приложениям Компас и Компас-3D, конструкторскими подразделениями составлены вопросы и необходимые доработки, требуется дополнительная проработка и тестирование по направлениям:

- создание зеркальных моделей сборочных единиц;
- приложение "Неразъёмные соединения";
- приложение "Валы и механические передачи".

Важный модуль. По данному приложению нужен четкий алгоритм, каким образом реализовать работу модуля «Валы и механические передачи» с системой Лоцман и Компас, как в части 3D-модели, так и в части оформления чертежей зубчатых колес.

- приложение "Трубопроводы";
- приложения CAE, КОМПАС-Электрик, "Кабели и жгуты";
- приложение Компас-ЭКСПЕРТ;
- работа с 3D-моделью свыше 100 компонентов (большими сборками);
- миграция данных из Creo, Автокад.

При проведении пилотного проекта (тестирования) выявлены вопросы по работе с Компас и его приложений:

- вопросы миграция данных из Creo/Windchill в Компас/Лоцман; старых чертежей формата Автокад; требуется разработка технологии миграции данных в АСКОН и импортом геометрии и атрибутов.
- приложение распознавание моделей – не распознает геометрию построения моделей (для моделей из CREO не распознается «Дерево построения»);
- проблемы с переносом 3D-моделей, чертежей из САПР Creo в САПР Компас/ PLM Лоцман. Отсутствие технологии для массового импортирования данных.
- отставание по функциональности и быстродействию, интерфейсу по сравнению с зарубежными аналогами, «тяжелыми САПР».

Отставание функциональности по работе с Компас-3D и приложениями:

Ограниченные возможности работы с большими сборками (длительная загрузка моделей из Компаса в Лоцман; в Лоцман длительное

время выполнение процедуры «Сохранить как по прототипу)». Отсутствует двунаправленная ассоциативность (3D-модель – чертеж; Чертеж – 3D-модель). Отсутствие ряда функций, таких как переименование, работа с версиями, диагностика моделей и т.д.

Вопросы работы с большими сборками:

- Медленная работа с большими сборками в Лоцман.
- Проблемы с производительностью и быстродействием в Лоцман.
- Отсутствие видимости версий и контекста деталей в сборках в Компас (в Компасе на 3D-моделях, чертежах отсутствует версия).
- Вопросы, которые возникли в ходе пилотного проекта и требующие доработки по теме «Трёхмерное моделирование деталей и сборочных единиц в системе КОМПАС-3D» и приложений:
- Приложение Компас - ЭКСПЕРТ.

Система Компас-ЭКСПЕРТ не встроена в систему КОМПАС. Аналогичное ПО разработчик «PTC» (ModelCheck) работает в режиме внутреннего модуля КРЕО. Для массового продвижения САПР в крупном КБ необходим вывод результатов автоматизированных проверок в базу данных. Также нужна система проверки (валидации атрибутивной информации).

Компас. Нет обратной ассоциативной связи чертежа с 3D-моделью. Модель с чертежом связана только графикой. При изменении модели – на чертеже меняется только графика, а размеры, как ни пытались их привязать, не следуют изменению графики, а остаются на тех же местах. И в этом кроется большая проблема. Получается, что пользователь может свободно редактировать и ставить размеры.

Компас. Необходимо объединить все настройки параметризации аналогично файлу конфигурации config.pro в CREO. Настройки в КОМПАС расположены в разных файлах, поэтому сложно сориентироваться при поиске конкретной настройки и где ее искать.

Компас. Выбор наименования из справочника «Наименования», выбор «Обозначения» из автоматического нумератора обозначения

Компас. В сборках доработать фильтрация и поиск по «Дереву моделей»

Компас. Необходима возможность сравнить геометрию деталей. В Creo есть возможность сравнения деталей и их атрибутов, разрезы

Компас. На чертежах добавить функциональность - переноса размеров между видами

Компас. Улучшить работу со слоями. Перенос на слои осуществляется вручную, нет возможности создания правил для автоматического переноса на слой.

Компас. Для отображения размеров из модели их необходимо сразу перенести на виды в модели, при этом если размер необходимо

показать на другом виде, то его необходимо сначала переопределить на модели

Компас. Добавить функциональность по улучшению интерфейса - при выделении в «Дереве модели» «ОБОЗНАЧЕНИЯ» – ДСЕ, подсвечивачивается выделенный объект на сборке. При выделении на сборке - подсвечивается выделенный объект на «Дереве модели».

Доработать сервис в сборке, ставя мышку на модель (не нажимая на модель) подсвечивается номер («ОБОЗНАЧЕНИЕ») модели. В КОМПАСЕ такой интерфейс – отсутствует.

Отсутствует интерфейс настройки пользовательского шрифта в приложении КОМПАС.

По работе с приложениями - Сварка «Неразъемные соединения. Каталог: Сварные швы».

Тестирование выполнял, один из авторов статьи, инженер-конструктор конструкторского отдела малосерийной техники НТЦК Максим Павлусевич.

Объект тестирования - Сборочная единица МПД-500-0101540Э.

Пример выполненного чертежа (рис. 8) Чертеж, выполненный с применением приложения Компас.

Вопросы по сварке при тестировании.

Приложение Компас «сварка» указывает в таблице сварных швов способ сварки. ГОСТ 2.312-72 «Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений» [2] говорит, что способ сварки допускается не указывать. Данные ГОСТ 2.312 -72 приведены на рис. 9. Структура условного обозначения стандартного шва или одиночной сварной точки приведена на схеме по ГОСТ 2.312-72.

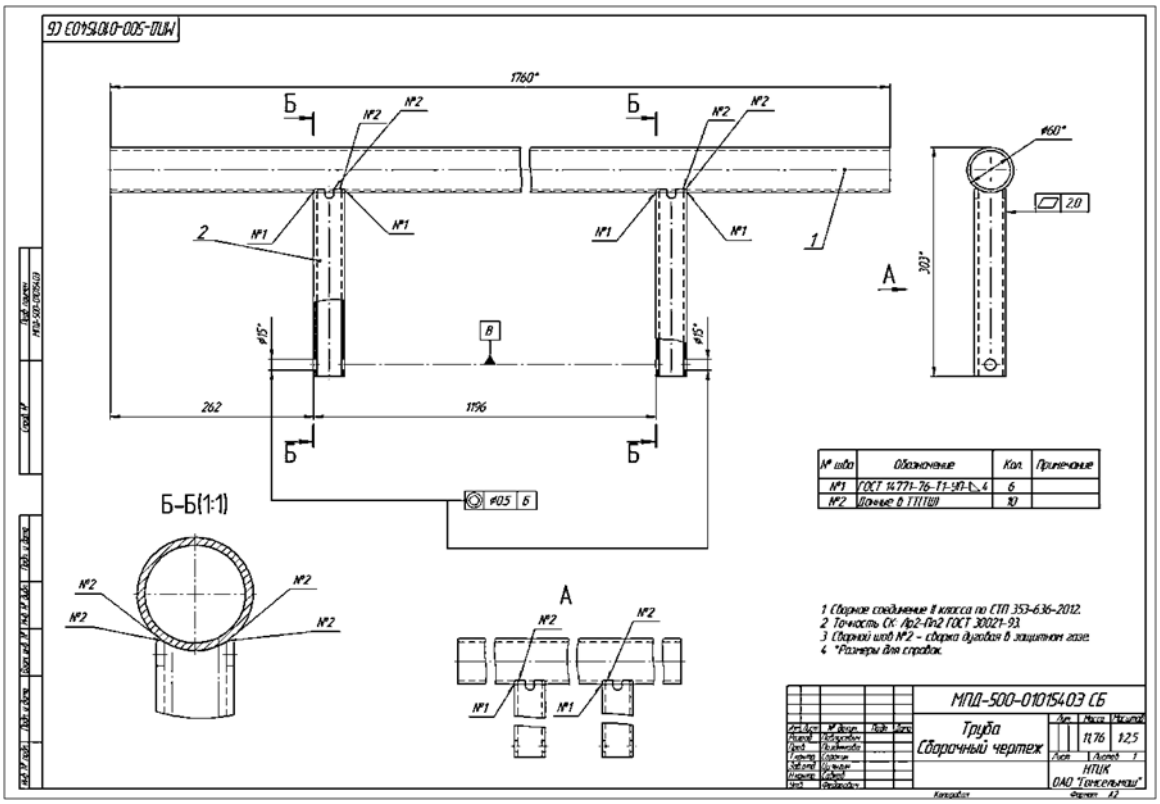


Рис. 8 – Чертеж, выполненный с применением приложения Компас

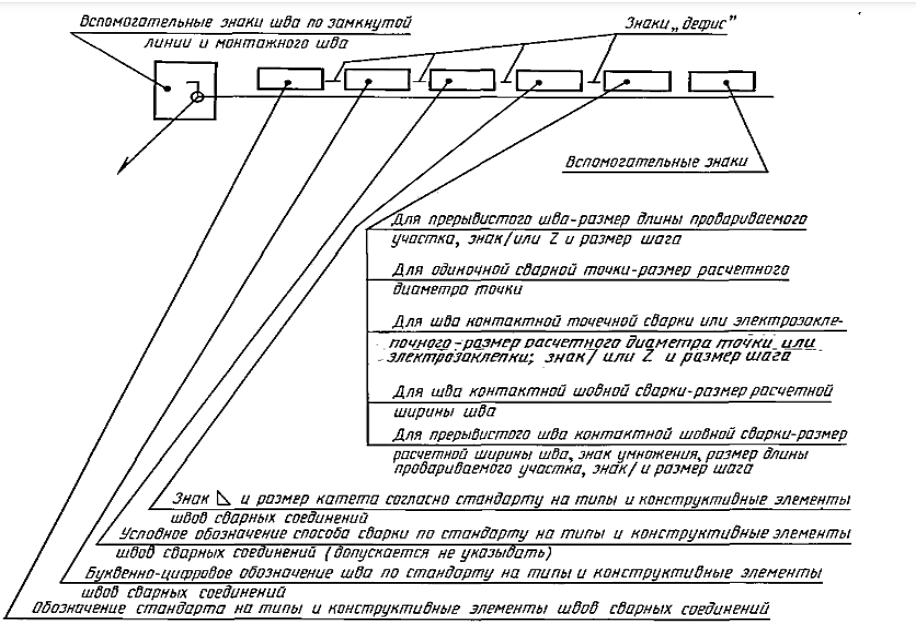


Рис. 9 – Структура условного обозначения стандартного шва или одиночной сварной точки приведена на схеме ГОСТ 2.312-72

При этом, указав данную настройку обозначения при создании сварного шва, способ сварки все равно отображается в таблице (рис. 10).

Пример обозначения сварочного шва-приложение Компас и пример таблицы швов (рис. 11).

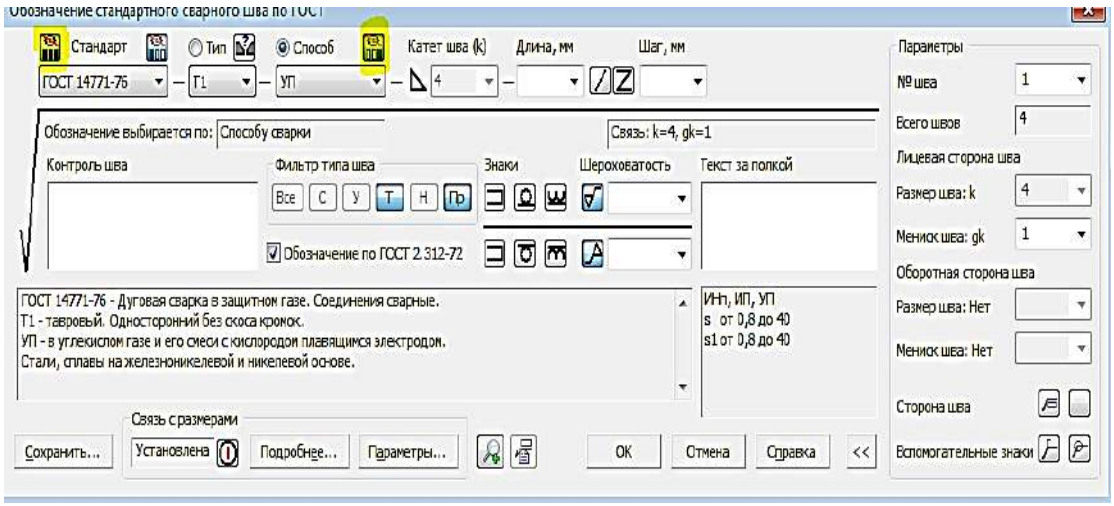


Рис. 10 – Пример обозначения сварочного шва - приложение Компас

№ шва	Обозначение	Кол.	Примечание
№1	ГОСТ 14771-76-Т1-УП-△4	4	

Рис. 11 – Пример обозначения сварного шва в таблице швов

Вопрос 1. Можно ли убрать обозначение способа сварки («УП») в таблице швов?

Вопрос 2. При создании нескольких одинаковых швов одной операцией приложение указывает их количество над линией выноской. (рис. 12).

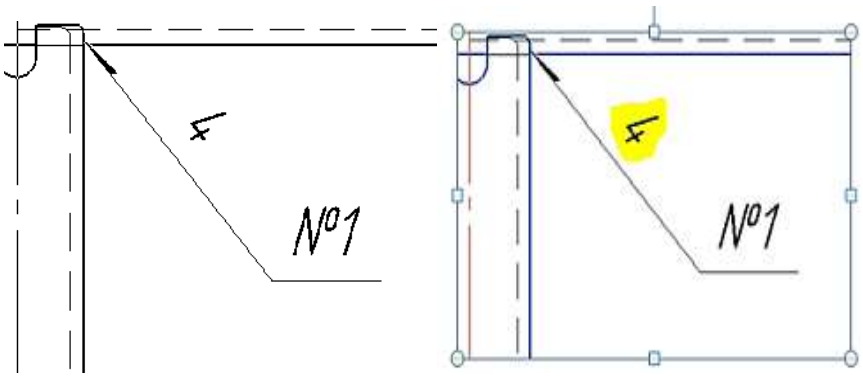


Рис. 12 – Обозначение сварочного шва на чертеже в Компас

При тех же настройках и если, дополнительно, создать несколько одинаковых швов того же номера другой операцией, то также пишет количество швов №1 относительно количества выполненных за одну операцию. В итоге имеем следующую ситуацию (рис. 13).

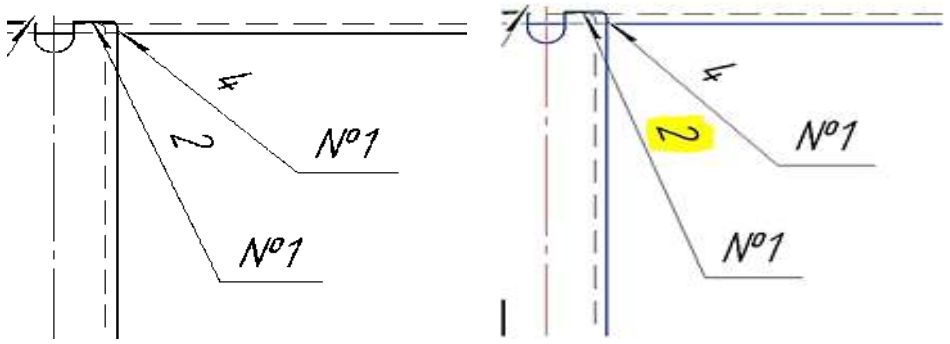


Рис. 13 – Обозначение одинаковых швов на чертеже

При этом в таблице швов указывается общее значение одинаковых швов. ГОСТ 2.312-72 говорит следующее «Количество одинаковых швов допускается указывать на линии выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением». Примечание. Швы считают одинаковыми, если: одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении: к ним предъявляют один те же технические требования (рис. 14).



Черт.10

Количество одинаковых швов допускается указывать на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением (см. черт.10*а*).

Рис. 14 – Обозначение швов ГОСТ 2.312-72

Вопрос 3. Можно ли базовым функционалом приложения привести их к указанию количества швов на одной линии выноски при выполнении их разными операциями, или необходимо делать все швы одинаковые в одной операции?

Вопрос 4. Настройка приложения неразъемные соединения – при применении параметров обозначений, новые параметры не применяются к уже созданным сварочным швам?

Вопрос 5. Нестандартный шов. При создании нестандартного шва в таблице швов создается запись. Пример таблицы швов на чертеже с нестандартными швами (рис. 15).

№ шва	Обозначение	Кол.	Примечание
№1	ГОСТ 14771-76-Т1-УП-△4	6	
№2	Данные в ТТ(ТШ)	6	

Рис. 15 – Пример обозначения нестандартного шва

ГОСТ не регламентирует запись нестандартных швов в таблице швов, однако, на предприятии принято писать «Нестандартный» вместо «Данные в ТТ (ТШ)». Есть возможность изменить эту запись?

Вопрос 6. При создании швов в модели существуют ситуации, при которых швы в проекции накладываются друг на друга (находятся друг за другом по одной оси, рис. 16).

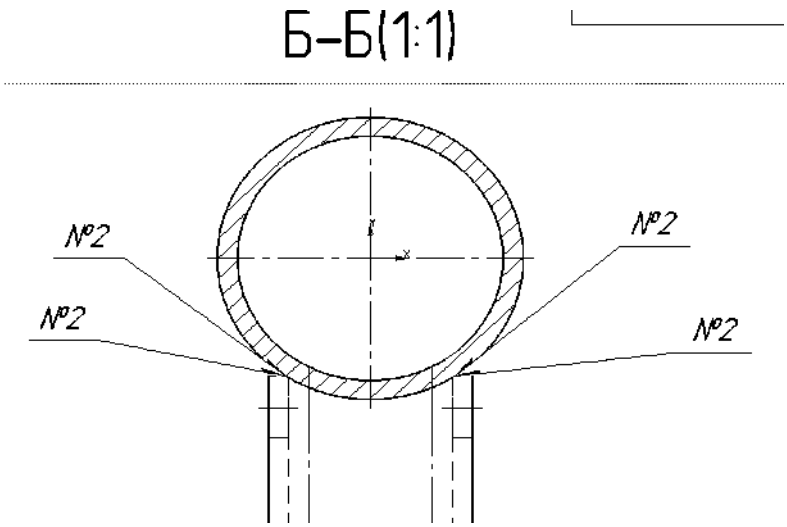


Рис. 16 – Расположение швов. Выделенный шов- невидимый. Выделенный шов является невидимым.

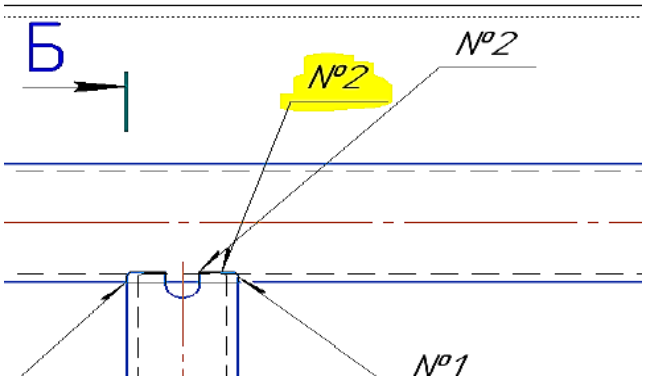


Рис. 17 – Возможность удаления швов на чертеже

При этом удалении в чертеже обозначения швов недоступно (рис. 17).

Вопрос 7. Можно ли передавать на вид обозначения швов выборочно?

Вопрос 8. Работа с нестандартными швами. Как выполнить такой нестандартный шов средствами приложения? Есть ли возможность (ассоциативно) выноса его с модели? (рис. 18).

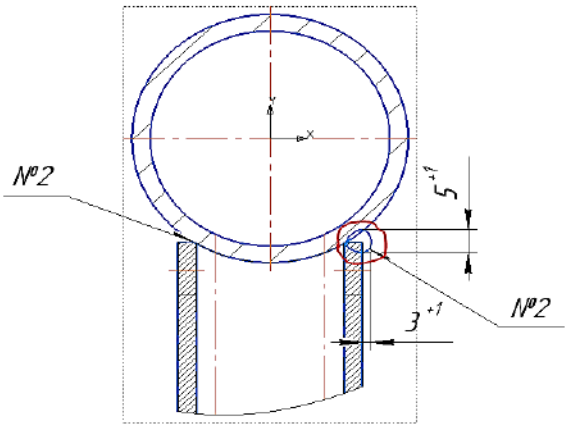


Рис. 18 – Пример сварочного нестандартного шва и возможность выполнения в Компас

Практическая значимость и выводы:

Необходимость доработки функционала ПО АСКОН для соответствия современным требованиям Компас и приложения Компас (взять за основу «Тяжелые САПР» CREO, Windchill). Улучшить производительность по работе с большими сборками.

Конкретные предложения по улучшению алгоритма работы:

- Расчет массовых характеристик модели.
- Доработка приложения Компас «сварка» под нужды ОАО «Гомсельмаш».
- Улучшение, быстродействие при работе с большими сборками.
- Возможность прерывания выполнения команд.
- Функция сравнения деталей.
- Удобства при работе со слоями.
- Фильтрация моделей без привязок.
- Расширение функционала «Диагностика проектирования» и выявления несоответствий при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. КОМПАС-3D-приложения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery//. – Дата доступа: 30.09.2024

2. ГОСТ 2.312-72 «Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gostrf.com/normadata/1/4294852/4294852115.pdf– Дата доступа: 25.09.2024

УДК 631.354.02

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ И САМОХОДНЫХ КОСИЛОК НА УБОРКЕ ТРАВ

Д. Ю. Барсуков
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В настоящее время самоходные кормоуборочные комбайны и самоходные косилки, выпускаемые холдингом «ГОМСЕЛЬМАШ», комплектуются жатками для трав захватом 5 метров с одноножевым сегментно-пальцевым режущим аппаратом и односторонним приводом ножа. Комбайн с такой жаткой обеспечивает устойчивый техпроцесс уборки травяных культур при поступательной скорости до 8 км/ч. Дальнейшее увеличение рабочей скорости для обеспечения хорошего качества среза растений, особенно при уборке мягких трав, требует повышения числа двойных ходов ножа режущего аппарата жатки. Это в свою очередь влечет за собой увеличение инерционных нагрузок на привод, приводящее к повышению вибрации рамных элементов не только жатки, но и самоходной части. Повышение производительности только за счет увеличения ширины захвата жатки без изменения ее конструкции приведет к повышению нагрузки на нож и привод, что негативно скажется на их надежности.

Цель данного исследования заключается в повышении производительности жаток для трав за счет увеличения ширины захвата с одновременным изменением конструкции механизма привода режущего аппарата.

Одним из путей повышения производительности самоходных кормоуборочных комбайнов и самоходных косилок является применение жаток для трав с ротационным режущим аппаратом. Частота вращения роторов такой жатки составляет порядка 3000 об/ мин. При этом поступательная скорости движения комбайна с жаткой по полю может достигать 12 км/ч, а на отдельных агрофонах – до 15 км/ч, обеспечивая при этом низкий срез растений. Такими жатками захватом 6 м оснащены серийно выпускаемые холдингом «ГОМСЕЛЬМАШ» комбайны КВК–8060 и FS650.

Однако существенным недостатком ротационных жаток является их повышенная энергоемкость. По данным, полученным в процессе испытаний, средняя мощность, расходуемая ротационным режущим аппаратом на 1 метр ширины захвата, составляет 12 … 18 л. с. [1], в то время как для сегментно-пальцевого режущего аппарата – 1 … 2 л. с. [2]. Высокая энергоемкость ротационной жатки влечет за собой повышенный

удельный расход топлива комбайном. Кроме этого, при работе ротационного режущего аппарата возникают дополнительные потери от повторного среза растений. Что касается комбайнов КВК–800, КСК–600, КВК–6025, косилок КС-100, КС-200, КС-140, мощность их гидропривода адаптеров способна обеспечить устойчивую работу ротационной жатки захватом не более 4 метров. При этом у двигателя комбайна или косилки остается неиспользуемый запас мощности.

Для более полного использования мощности двигателей кормоуборочной техники на уборке трав и повышения при этом ее производительности предлагается оснастить кормоуборочные комбайны и самоходные косилки жатками для трав захватом 7,5 м с двухножевым сегментно-пальцевым режущим аппаратом с двухсторонним синхронизированным приводом. Ширина 7,5 метра принята с целью унификации режущего аппарата с валковой транспортерной жаткой ЖВТ–7, разрабатываемой в настоящее время в рамках программы модернизации [3]. Для уменьшения сил инерции, возникающих при перемещении подвижного ножа, он разделен на две части, где каждый нож имеет длину немногим более половины ширины захвата жатки. Приводы ножей, унифицированные с жатками ЖВТ–7, ЖВТ–9, КС–200.12 установлены с обеих сторон жатки и имеют жесткую связь между собой.

Такая конструкция обеспечивает поступательное движение ножей строго навстречу друг другу. При этом инерционные нагрузки взаимно уравновешиваются, обеспечивая уровень виброускорений в элементах конструкции жатки, соответствующий спокойной работе или незаметным колебаниям согласно номограмме восприятия колебаний ВНИИМОЖ [4]. Это позволяет увеличить число двойных ходов ножей до 700…750 в минуту, обеспечив тем самым возможность увеличения рабочей скорости уборки до 10…12 км/ч, что при ширине захвата жатки 7,5 м обеспечивает производительность до 9 га/ч., и увеличение пропускной способности комбайна при уборке трав до 50%. Кроме этого, в результате повышения числа двойных ходов ножей улучшается качество среза стеблей.

Данная конструктивная схема кроме увеличения производительности агрегата обеспечивает повышение надежности жатки. За счет уменьшения длины ножей снижаются нагрузки на нож и привод. Также существенно снижается вибрационная нагрузка на комплекс в целом, обеспечивая уровни вибрации на рабочем месте механизатора в соответствии с санитарными нормами.

Общий вид жатки для трав захватом 7,5 м представлен на рис. 1.

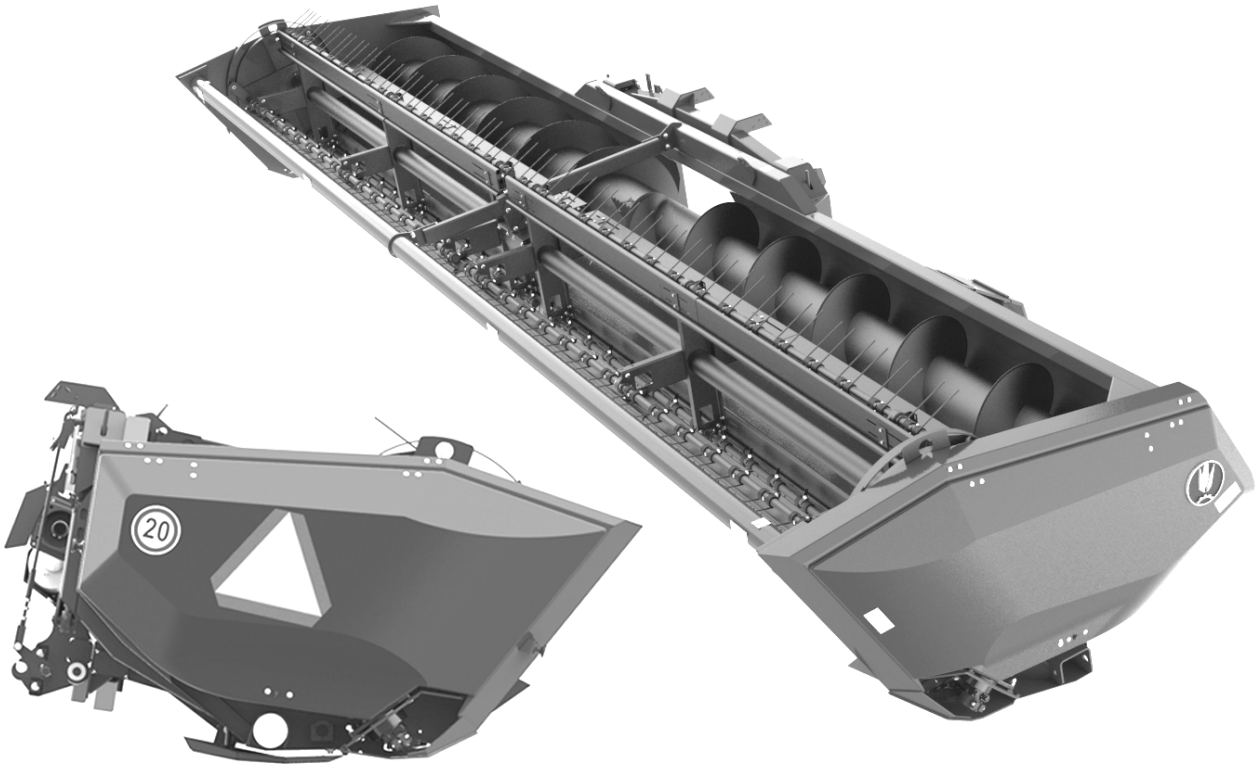


Рис. 1 – Жатки для трав захватом 7,5 м. Общий вид.

Предлагается создание жаток для трав захватом 7,5 м нескольких модификаций, обеспечивающих агрегатирование с различными комбайнами и самоходными косилками:

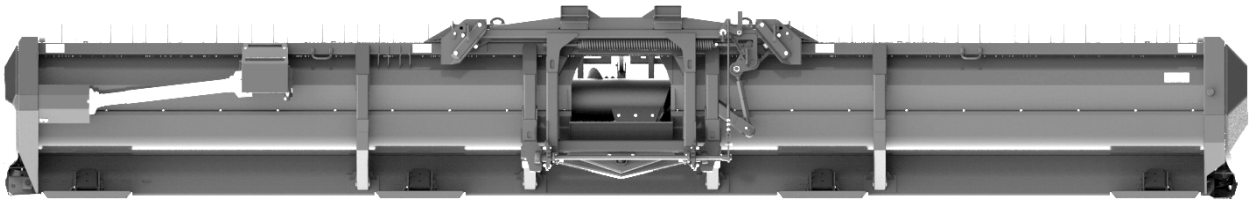
– к кормоуборочному комбайну FS80;

– к кормоуборочному комбайну FS450 (с быстроразъемным соединением привода);

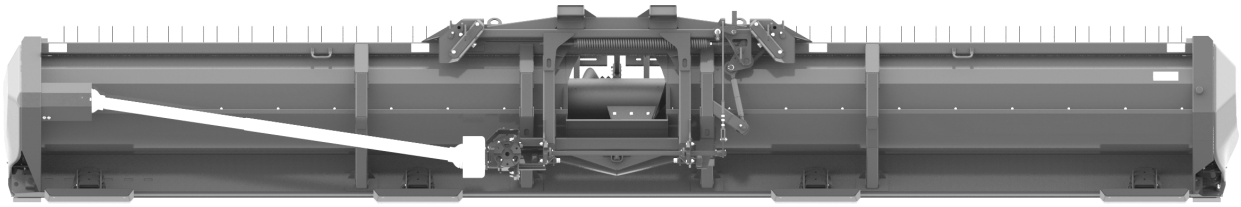
– к самоходной косилке CS140.

По конструкции жатки максимально унифицированы между собой и отличаются конструкцией привода и элементами навески. На модификации жатки к самоходной косилке CS140 дополнительно установлен плющильный аппарат с обрезиненными шевронными вальцами, максимально унифицированный с плющильными аппаратами жаток к самоходной косилке КС–100 и прицепной косилке КПП–4,2.

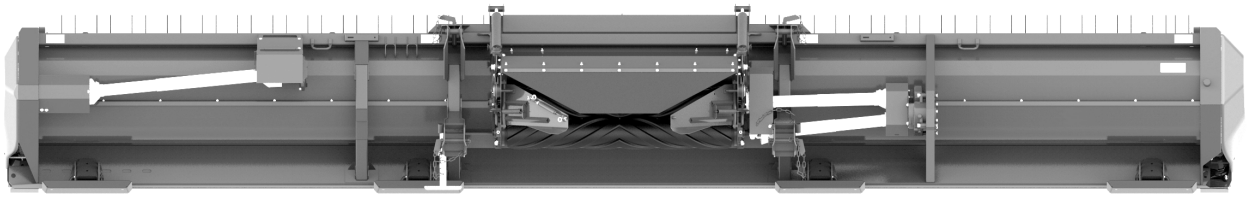
Модификации жаток представлены на рис. 2.



а



б



в

Рис. 2 – Модификации жаток для трав захватом 7,5 м: а – к кормоуборочному комбайну FS80; б – к кормоуборочному комбайну FS450; (с быстроразъемным соединением привода); в – к самоходной косилке CS140 (с плющильным аппаратом)

Мотовило и шнек жатки по своим технологическим параметрам аналогичны серийно выпускаемым жаткам для трав.

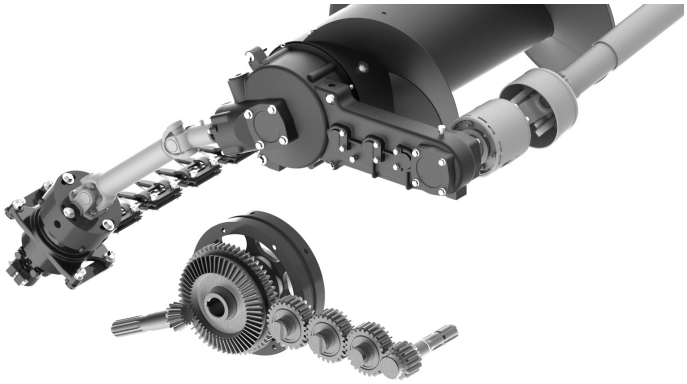
Шнек одновременно выполняет роль вала, обеспечивающего синхронность работы левого и правого ножей, что позволяет упростить конструкцию и снизить массу жатки ввиду отсутствия дополнительного синхронизирующего вала, проходящего через всю ширину жатки. Привод шнека осуществляется от коническо–цилиндрического редуктора, установленного на левой боковине жатки. Цилиндрическая ступень редуктора обеспечивает передачу мощности шнеку, коническая ступень через карданный вал передает мощность на привод левого ножа. Привод правого ножа осуществляется от конического редуктора, установленного на правой боковине жатки через карданный вал на привод правого ножа. Соединение шнека с редукторами производится с помощью шарнирных

муфт. На входном валу коническо–цилиндрического редуктора установлена предохранительная муфта.

Мотовило жатки с целью повышения надежности выполнено из двух частей с промежуточной подшипниковой опорой с возможностью регулировки соосности валов. Валы левой и правой частей мотовила в центре жатки соединяются между собой кулачковой муфтой. Для более равномерной развесовки привод мотовила осуществлен с правой стороны жатки от вала шнека при помощи клиноременной передачи. В ведомый шкив ременной передачи привода мотовила встроена обгонная муфта.

В режущем аппарате предлагается использовать короткие пальцы, что уменьшит установленную высоту среза, обеспечив увеличение полноты сбора скошенной растительной массы.

Четыре опорных башмака жатки для предотвращения износа оснащены сменными накладками из закаленной стали. При создании конструкции максимально использованы сборочные единицы и детали серийного производства холдинга «ГОМСЕЛЬМАШ». Форма боковых полимерных ограждений обеспечивает современный внешний вид жатки. Конструкция приводов жатки является оригинальной и представлена на рис. 3.



а



б

Рис. 3 – Привод жатки: а – левая сторона; б – правая сторона

Оснащение кормоуборочных комбайнов и самоходных косилок жатками для трав захватом 7,5 м с двухсторонним режущим аппаратом и синхронизированным приводом обеспечит высокую производительность комплекса на уборке трав при хорошем качестве среза и низком удельном расходе топлива. При этом затраты на создание конструкции и освоение производства таких жаток будут сравнительно невысокими ввиду большой степени их унификации между собой и с серийно выпускаемыми жатками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспресс-информация №155-ИЦ-19 от 09.08.2019 г. Проведение энергооценки жатки для трав КВК-1-0500000 кормоуборочного комбайна КВК-8060.

2. Экспресс-информация №116-ИЦ-14 от 30.06.2014 г. Измерение мощности на приводе режущего аппарата косилки самоходной КС-200.

3. Приказ от 11.01.2024 №46 «О программе модернизации серийной и разработки новой техники на 2024–2026 годы».

4. Всесоюзный научно-исследовательский институт по испытаниям машин и оборудования для животноводства и кормопроизводства ВНИИМОЖ. Типовая методика М29.020.86 испытания сельскохозяйственной техники на виброзащищенность.

УДК 669.79

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ И РЕМОНТА ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВТУЛОК СКОЛЬЖЕНИЯ

С. А. Мацинов, В. А. Калиниченко
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

При длительной эксплуатации машин изнашивание деталей сопровождается снижением эксплуатационных показателей, что в частности вызывает ухудшение качества изготовляемых изделий. Изнашивание рабочих поверхностей деталей нередко требует их полной замены. Это повышает себестоимость производства из-за больших амортизационных отчислений [1].

Для повышения эксплуатационных показателей и увеличения срока службы деталей машин используют различные способы поверхностного упрочнения, в частности плазменное напыление. Изготовление образца для напыления начинается с разреза заготовок. Материал может быть разрезан на секции (срезы). Срез должен иметь ровную, минимально деформированную поверхность, чтобы облегчить и ускорить дальнейшую подготовку [2].

Наиболее подходящий метод – абразивное мокрое отрезание, которое обеспечивает минимум повреждений, например, с помощью отрезного станка Streuers Labotom-3. При абразивном мокром отрезании используются отрезные круги, состоящие из абразива и связующей составляющей. Охлаждающая жидкость омывает круг во избежание повреждения образца из-за перегрева и смывает отходы с отрезаемой поверхности. Для отрезания черных металлов обычно используется оксид алюминия (Al_2O_3) в бакелитовой основе. Нитрид бора (BN) используется для более твердых черных металлов. Цветные металлы режутся карбидом кремния в бакелитовой основе [2].

После резки поверхность образцов нужно подготовить для напыления упрочняющего слоя. Первой операцией для подготовки поверхности выступает шлифование. Операция шлифовки – это процесс обработки поверхностей материалов с целью удаления неровностей, дефектов и придания им нужной гладкости и формы. Шлифование, как правило, осуществляется на тарельчатом шлифовальном станке марки OPTIgrind TS 305 представленном на рис. 1. Основными деталями станка являются - круг с установленным на нем абразивным диском, наклонный стол и угловой упор. Образец устанавливается на стол в пространство между абразивным кругом и угловым упором и запускается приводной

двигатель круга. Образец при помощи упора подается на диск и в процессе работы шлифовальный круг снимает пригар, возможные шлаковые включения, а также выравнивает поверхность в местах разрезов.



Рис. 1 – Тарельчатый шлифовальный станок OPTIgrind TS 305

Дробеструйная очистка - это процесс удаления окислов, ржавчины, краски и других загрязнений с поверхности материалов путем обработки их с помощью потока высокоскоростных твердых частиц (дроби) с помощью дробеструйной установки марки КСО-80-Н (рис. 2). Образец помещается в мобильную дробеструйную камеру. Далее по гибкому шлангу подается дробь в потоке сжатого воздуха. Обработка происходит за счет ударов дробью по поверхности.



Рис. 2 – Дробеструйная камера КСО-80-Н с фронтальной загрузкой

После дробеструйной обработки образцов (рис. 3), образуется очищенная и активированная поверхность, обладающая определенной степенью шероховатости, готовая к плазменному напылению.



Рис. 3 – Пример образца композиционного материала после обработки

Плазменное напыление — это технология, используемая для нанесения покрытий на поверхности различных материалов. Принцип напыления таков: порошковый наплавочный материал подается в сопло струей транспортирующего газа, нагревается плазмой и с ускорением переносится на поверхность основного материала для образования покрытия [3]. Процесс нанесения покрытия на подготовленные образцы представлен на рис. 4.



Рис. 4 – Процесс газопламенного напыления

Плазменное напыление осуществляется при помощи специальной плазменной горелки. Основными элементами плазменных горелок являются: электрод: (генерирует высокую температуру и ионизирует газ), плазменный газ (обычно используется аргон, гелий или смесь газов, которые подаются через горелку для создания плазменной дуги), система подачи порошка (порошковый материал подается в плазменный поток для его расплавления и нанесения на поверхность), система управления (позволяет регулировать параметры процесса, включая мощность, скорость подачи порошка и давление газа). Корпус с рукояткой, представленных на рис. 5.

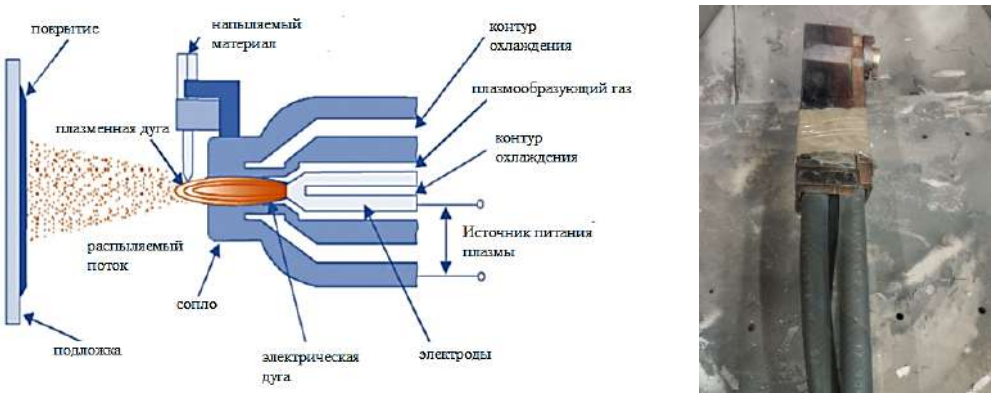


Рис. 5 – Устройство плазменной горелки

В работе в качестве напыляемых материалов использовались: самофлюсующийся порошок (СР 4) по ГОСТ 21448–75, [4] следующего химического состава в процентах (основа Ni; C – 0,6-1,0; Cr – 15-18; Si – 3,0-4,5; B – 2,8-3,8; Fe – <5,0), самофлюсующийся порошок (СР 4) с добавлением восьми процентов железа и керамика (Al_2O_3). Образцы с нанесенным покрытием представлены на рис. 6, при этом заметное увеличение шероховатости поверхности при использовании порошка СР4 с добавлением железа (рис. 6 б).



а б в

Рис. 6 – Образцы после напыления: а – самофлюсующийся порошок (СР 4); б – самофлюсующийся порошок (СР 4) с добавлением восьми процентов железа; в – керамика (Al_2O_3)

Заключительным этапом напыления являются полное оплавление образца с напыленным слоем с помощью ацетиленокислородной горелки (рис. 7) и медленное его охлаждение в слое песка.



Рис. 7 – Нагрев образца с напыленным слоем

В заключение необходимо отметить, что образцы напыленные немодифицированным металлическим порошком имеют более гладкую и равномерную поверхность, что в последствии, может снизить расходы на механическую обработку. Однако, наиболее равномерный слой получен с использованием керамического покрытия что отражено на рис. 6 в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хасуи А., Моргаки О. Наплавка и напыление/Пер. с яп. В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

2. «Методика подготовки образцов композиционных материалов для металлогра фического исследования»: С.А. Мацинов, науч. рук. В.А. Калиниченко // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра [Электронный ресурс]: сборник тезисов докладов 6 МНПК Инновационные технологии в АПК, 2 ноября 2022 / сост. И. Н. Ковалева – Гомель: 2022. – С. 104 – 105.

3. Studfile [Электронный ресурс]. – Электронный данные. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/17015021/page:5/.

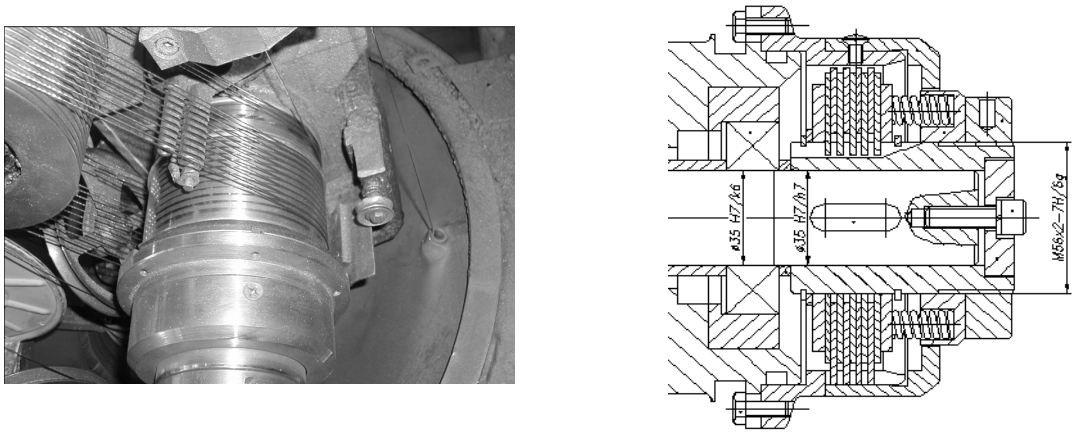
4. ГОСТ 21448–75. Порошки из сплавов для наплавки. – Москва: Изд-во стандартов, 1977. – 15 с.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И КОБАЛЬТА

А. Н. Швецов, С. В. Шишков, А. Д. Степаньков
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Процесс свивки металлокорда выполняется на канатных машинах импортного производства, имеющих узлы, работающие в условиях трения скольжения (рис. 1). При этом элементы узлов трения (подшипники скольжения, торцевые антифрикционные шайбы, подтормаживающие фрикционные детали) имеют свой определенный ресурс работы, установленный предприятием-производителем канатных машин. В настоящее время на ОАО «Белорусский металлургический завод-управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» в качестве фрикционных дисков для работы кабестанов используют бронзу марки БрО10Ф1, которая в неполной мере отвечает требованиям эксплуатации оборудования и имеет повышенный износ.



а б

Рис. 1 – Фото (а) и чертеж (б) кабестана канатной машины

В связи с этим актуальным является повышение производительности технологического процесса и качества свивки металлокорда в металлургическом производстве за счёт увеличения ресурса узлов трения канатных машинах путём применения новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Особое место занимают порошковые композиционные материалы и покрытия, позволяющие получать широкий диапазон эксплуатационных свойств. По сравнению с другими композиционными материалами, благодаря совокупности положительных свойств металла матрицы и функциональных свойств наполнителей различного назначения порошковые материалы обладают рядом преимуществ: более высокие прочностные свойства, износостойкость, возможность регулирования фрикционных свойств, высокая технологичность. Диапазон эксплуатационных характеристик порошковых покрытий определяется возможностью использования порошков максимально различных свойств.

Целью работы являлось проведение сравнительных триботехнических испытаний бронзы БрОФ10-1 и порошковых БрОФ10-1+WC-Co композиционных покрытий [1].

Для получения покрытий использовалась технология электроимпульсного спекания и припекания композиционного материала к металлической подложке, включающая следующие основные этапы [2]:

1. Подготовка поверхности заготовки путём механической обработки с последующим обезжириванием.

2. Подготовка порошковой шихты для композиционного слоя.

3. Нанесение композиционного материала на поверхность стальной основы двумя прокатными валками на прокатном стане.

4. Прокатка полосы с предварительно уплотнённым слоем из фрикционного порошкового материала в валках-электродах, через которые одновременно пропускаются электрические импульсы, создавая давление между валками-электродами.

5. Калибровка композиционного фрикционного материала прокаткой для обеспечения величины толщины материала в заданном допуске.

В качестве фрикционного композиционного материала были выбраны три вида порошкового материала со следующим содержанием компонентов в масс. %:

1: БрОФ10-1- 60%, W-Co - 40 %;

2: БрОФ10-1- 40%, W-Co - 60%;

3: БрОФ10-1- 20%, W-Co - 80%.

При исследовании микроструктуры (рис. 2), выявлено, что покрытие имеет равномерную структуру, а также рабочий слой из частиц W-Co.

Для определения эксплуатационных характеристик полученного материала были проведены испытания на трение и износ. Триботехнические испытания проводили на машине трения 2070 СМТ–1 по схеме «вал — частичный вкладыш».

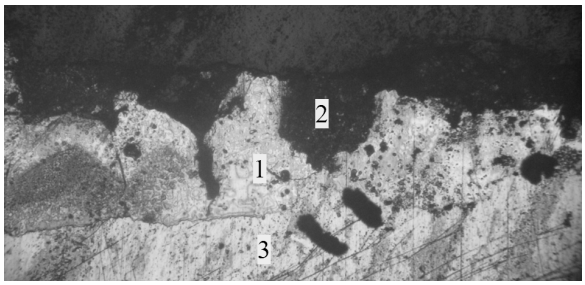


Рис. 2 – Фото микроструктуры материала 250^{x}: 1- БрОФ10-1; 2 – W-Co; 3- стальная основа.

Приработку проводили при нагрузке 0,3 МПа и скорости 1,5 м/с до образования контакта не менее 80% всей поверхности трения. Давление в узле трения варьировалось в диапазоне 0,2…1,0 МПа; линейная скорость скольжения составляла 1,5 м/с. Материал контртела — сталь 45 (ГОСТ 1050-88). Коэффициент взаимного перекрытия пары трения вкладыш - ролик составлял 0,125.

По результатам испытаний установлено, что линейная интенсивность изнашивания композиционных порошковых покрытий в сравнении с чистой бронзой, при трении без смазочного материала, ниже на 5…24%, причём с увеличением нагрузки разница в показателе износам увеличивается.

По полученным диаграммам момента трения сделаны следующие выводы: – по сравнению с диаграммой испытаний бронзового образца, материал, имеющий в своём составе 80 мас.% WC-Co, показал повышенный износ контртела и работает как абразив; – материал с содержанием БрОФ10-1 (60 мас.%), имеет эксплуатационные характеристики, близкие к чистой бронзе; – оптимальным по своему составу и эксплуатационным характеристикам является материал с содержанием БрОФ10-1 — 40 мас.%, WC-Co — 60 мас.%.

Материал с содержанием компонентов БрОФ10-1- 50%, W-Co - 60% имеет срок службы, превышающий аналог и может рекомендоваться в качестве фрикционного композиционного покрытия на стальной основе в узлах трения технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старченко В. Н. Повышение эффективности торможения использованием новых углерод-композиционных материалов / В. Н. Старченко, Н. В. Казачков. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — №21.

2. Способ получения покрытия из антифрикционного металлофторопластового порошкового материала: пат BY №18498/ Ю.Л. Бобарикин, А.Н. Швецов, С.В. Шишков – Опубл. 30.08.2014.

УДК 621.8

РАЗРАБОТКА ДВУХСКОРОСТНОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МОСТОВ ВЕДУЩИХ КОЛЕС САМОХОДНЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ И КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

К. А. Грабок, Ю. Ю. Наливайко
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты разработки двухскоростной коробки передач нового поколения для применения в составе мостов ведущих колес самоходных зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов. Рассмотрены этапы проектирования и намечены направления дальнейшего развития.

Введение. Современные тенденции развития сельскохозяйственной техники направлены на увеличение производства сельскохозяйственной продукции, повышение производительности труда с минимизацией затрат, увеличение энергонасыщенности и энергообеспечения, повышение технического уровня, качества и надежности техники. В частности, повышение производительности техники с меньшими затратами может быть осуществлено за счет внедрения интенсивных технологий, увеличения ширины захвата машин и орудий, повышения грузоподъемности, увеличения вместимости бункеров, роста рабочих и транспортных скоростей, роста мощностей двигателей и др. [1]

В конструкции техники, выпускаемой ОАО «Гомсельмаш», учитываются современные тенденции, что отражается на постоянном росте производительности и мощности двигателей, увеличении скорости самоходных зерноуборочных и кормоуборочных машин, увеличении ширин жаток и пр. При этом ходовые системы самоходных машин значительных изменений не претерпевают. Так в конструкции моста ведущих колес зерноуборочного комбайна GH800/GH810 используется 4-х ступенчатая коробка передач с тросовым управлением того же типа, что и на комбайне GS12A1, при этом мощность двигателя и производительность комбайнов GH800/GH810 – 450 л.с. и 21 т/ч, а у комбайна GS12A1 – 330 л.с. и 18 т/ч. Обеспечение расчетной износостойкости и долговечности шестеренных зацеплений имеющейся коробки передач достигается, в частности, путем коррекции профиля зубьев, но с учетом ограничения в виде габаритных размеров унифицированных корпусных элементов данный путь перспектив не имеет. Также сама по себе концепция ручного управления многоступенчатой коробки передач не имеет особых перспектив в дальнейшем конструктивном развитии. Наиболее перспективным и отвечающим современным тенденциям решением в

данном случае выступает разработка новой коробки передач с требуемыми прочностными характеристиками, автоматизированной системой управления и возможностью дальнейшего конструктивного развития.

Объект исследования. Коробка передач для самоходных зерноуборочных и кормоуборочных машин.

Цель исследования. Разработка конструкции коробки передач, отвечающей тенденциям развития самоходной сельскохозяйственной техники и возможностью ее адаптации для различных систем управления.

Методология исследования. Теоретический, расчетно-конструктивный метод, метод сравнительного анализа.

Результаты исследования. Ходовая система самоходных зерно- и кормоуборочных машин должна гарантировать стабильное её движение на требуемый угол подъема независимо от комплектации и условий эксплуатации. При этом важно иметь возможность регулировки скорости движения машины для обеспечения необходимых тяговых характеристик в зависимости от условий эксплуатации. Таким образом, с учетом тенденций развития сельскохозяйственной техники, а также отвечая на требования потребителя о необходимости увеличения транспортной скорости движения машин, при ограниченных возможностях модернизации имеющейся коробки передач, возникла необходимость в разработке новой коробки передач.

За основу разрабатываемой коробки передач была принята концепция двухступенчатой коробки с приводом регулируемой гидростатической передачей. Ниже представлена схема кинематическая указанной коробки передач.

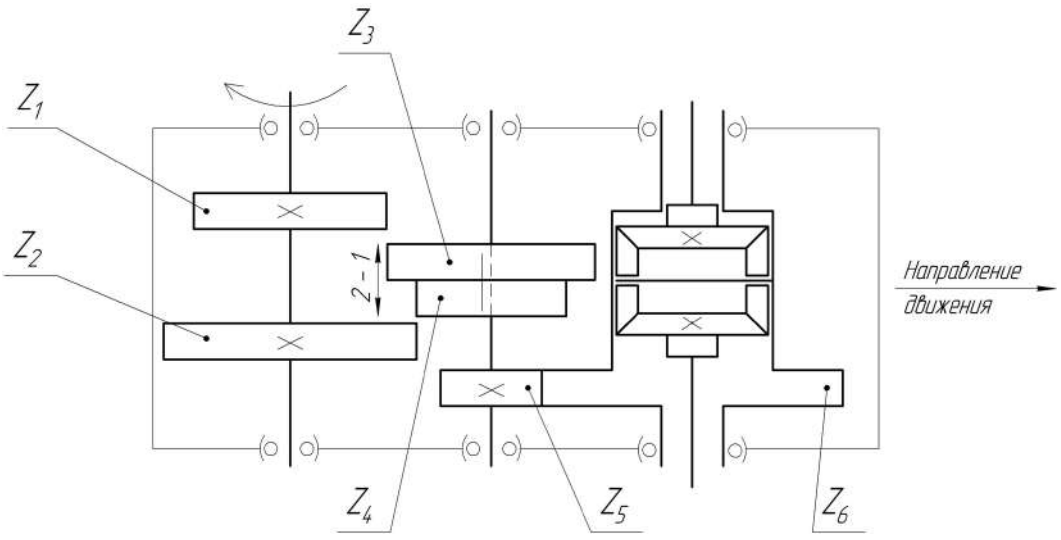


Рис. 1 – Схема кинематическая коробки передач

Был проведен тяговый расчет для комбайна кормоуборочного FS80 с данной коробкой передач. Согласно проведенному расчету, при

применении данной коробки передач с гидростатической трансмиссией привода ходовой части с насосом объемом 130 см^3 и гидромотором объемом (160 – 108) см^3, обеспечиваются удовлетворительные тяговые характеристики, преодолеваемый уклон, а также транспортная скорость 30 км/ч. Результаты тягового расчета для комбайна FS80 с новой коробкой передач представлены в таблице 1.

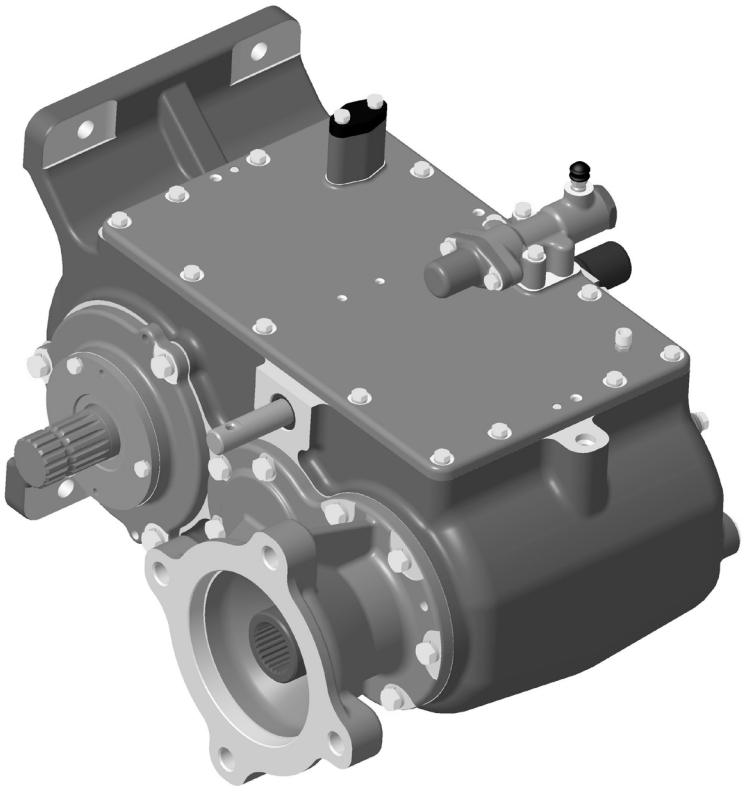
Таблица 1 – Тяговый расчет комбайна FS80 с новой коробкой передач

№ п/п	Вид работы, фон		I – передача – техпроцесс, стерня II – транспорт с тележкой, асфальт			
	Передача		I (160 см^3)	I (108 см^3)	II (160 см^3)	II (108 см^3)
1	Скорость расчетная	км/ч	8,3	12,4	20	30
2	Преодолеваемый уклон по Δp_{max} = 420 атм	град	–	11,5°	8,6°	5°
3	Преодолеваемый уклон по сцеплению	град	16,8°	–	–	–

Одной из важных составных частей коробки передач, обеспечивающей ввод подвижного блока шестерен в зацепление с соответствующей неподвижной шестерней, является механизм переключения передач. Механизм переключения передач должен обеспечивать установку блока шестерен в рабочее и нейтральное положение, обеспечивать фиксацию блока в данном положении от осевых перемещений, предотвращая самопроизвольное включение или выключение передачи, а также исключает возможность одновременного включения нескольких передач.

С учетом используемых на технике, выпускаемой ОАО «Гомсельмаш», механизмов управления переключением передач было принято решение предусмотреть в новой коробке передач возможность применения различных механизмов переключения: с тросовым и электрогидравлическим управлением. На рис. 2 представлен общий вид коробки передач с различными механизмами переключения.

а



б

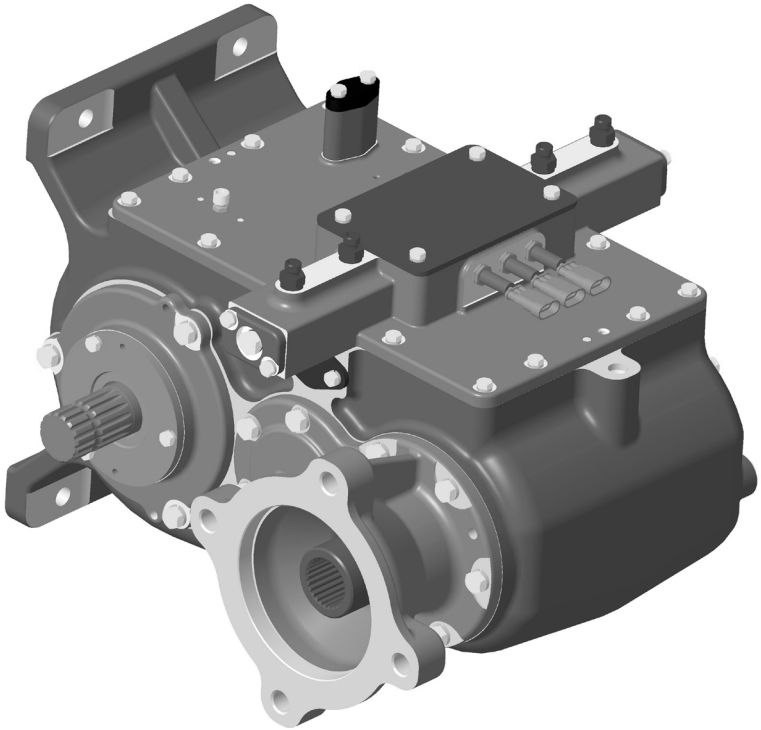


Рис. 2 – Общий вид коробки передач: а – с тросовым управлением; б – с электрогидравлическим управлением

Для предотвращения самопроизвольного включения либо выключения передач при использовании тросового механизма управления в коробке передач предусмотрена установка гидроцилиндра блокировки,

позволяющего заблокировать шток переключения передач в необходимом положении.

Механизм переключения передач с электрогидравлическим управлением выполнен в виде отдельного узла. Модульная конструкция механизма переключения передач позволяет без особых трудозатрат заменить механизм переключения с электрогидравлическим управлением на механизм с тросовым управлением. На рис. 3 представлен механизм переключения передач с электрогидравлическим управлением.

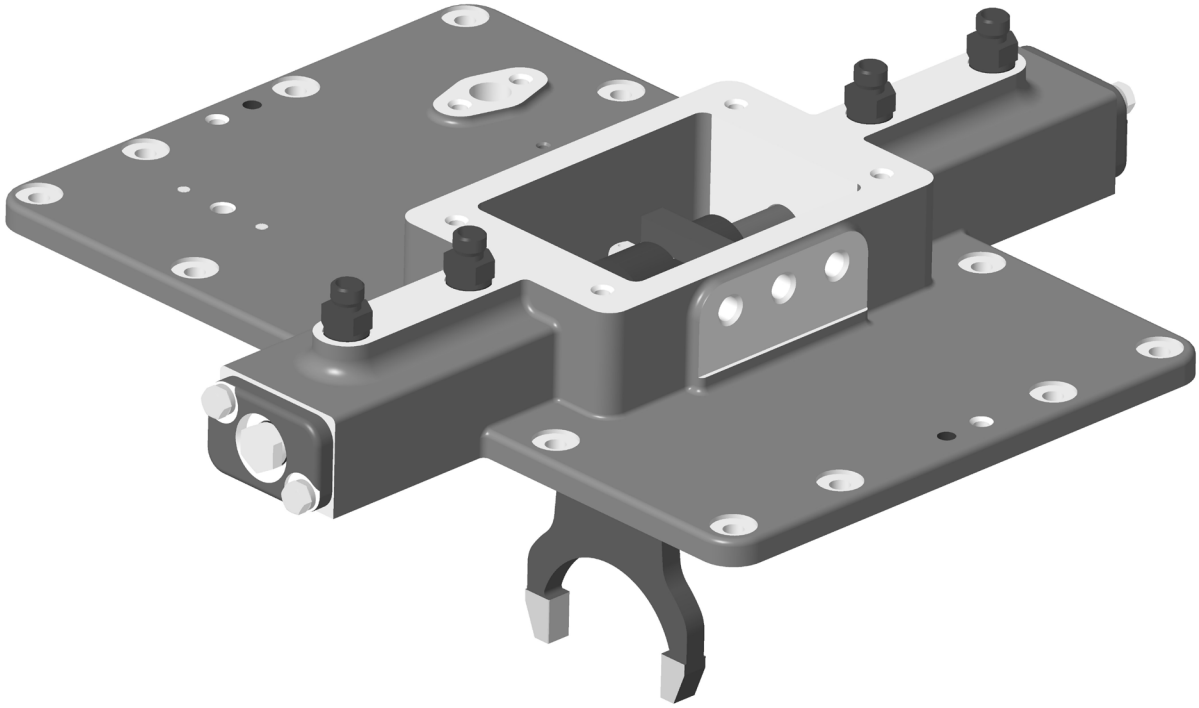


Рис. 3 – Механизм переключения передач с электрогидравлическим управлением

При эксплуатации коробки передач в составе сельскохозяйственных машин важной задачей является сбор информации об ее техническом состоянии. Целесообразнее всего осуществлять сбор данной информации при помощи системы дистанционного мониторинга технического состояния коробки передач, которая посредством измерения контролируемых параметров может дать заключение о нахождении параметров в допускаемых либо недопустимых пределах значений. В дальнейшем, на основе полученных данных, можно оценить оставшийся ресурс узла, а при выходе его из строя использовать указанные данные для поиска возможных причин отказа. Учитывая важность данного направления, в разрабатываемой коробке передач предусмотрены места для установки датчиков. В коробке передач предусмотрены места для установки следующих датчиков: датчиков включения передачи, при комплектации коробки механизмом переключения с

электрогидравлическим управлением, датчика оборотов, для определения скорости движения машины и датчиков контроля уровня засоренности и температуры масла коробки передач. На рис. 4 показаны места под установку указанных выше датчиков.

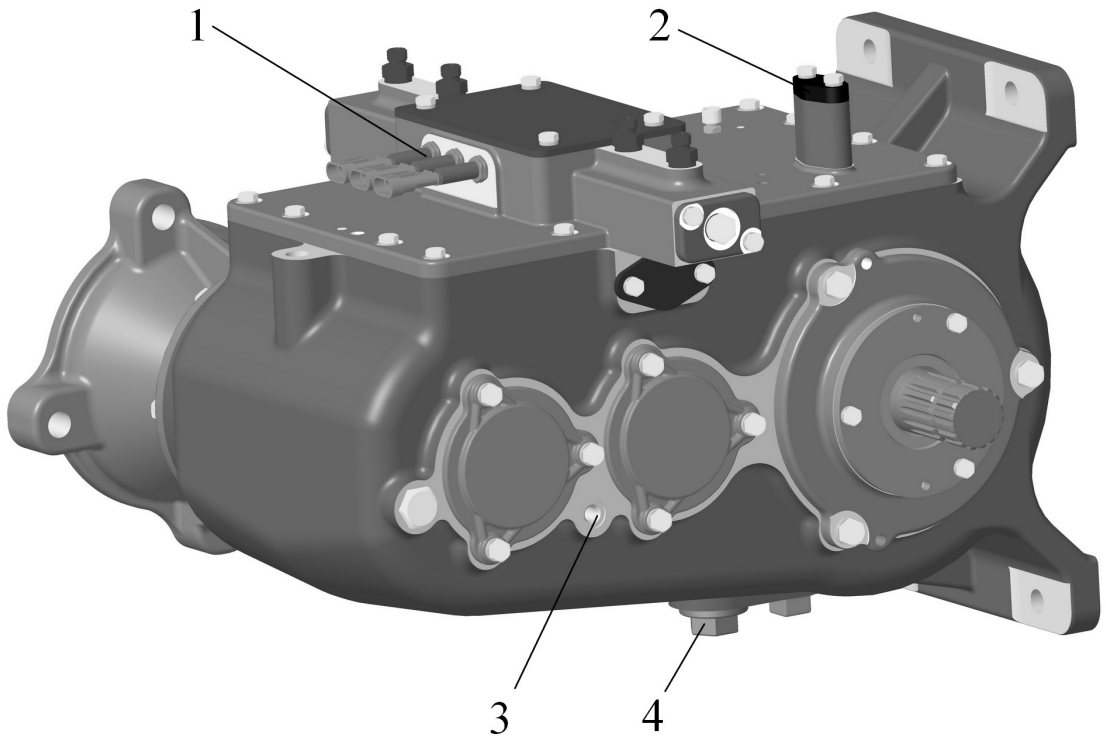


Рис. 4 – Места установки датчиков системы дистанционного мониторинга технического состояния коробки передач: 1 – включения передачи; 2 – частоты вращения колеса зубчатого; 3 – температуры масла; 4 – засоренности масла

В целом принятая кинематическая схема с зубчатой парой постоянного зацепления Z_6/Z_5 (рис.1) значительно расширяет возможности использования данной коробки передач. В частности, за счет использования данной компоновки имеется возможность разработать модификацию коробки передач с установкой одного стояночного тормоза на средний вал коробки вместо установки двух тормозных суппортов на бортовые редуктора, что позволит сократить число тормозных механизмов, используемых на машине в целом. Также стоит отметить небольшие габаритные размеры данной коробки передач, сопоставимые с серийно-изготавливаемой коробкой передач, что позволит встроить новую коробку в компоновку машины с меньшими затратами. На рис. 5 представлены вновь разработанная двухдиапазонная коробка передач и серийно-изготавливаемая четырехдиапазонная.

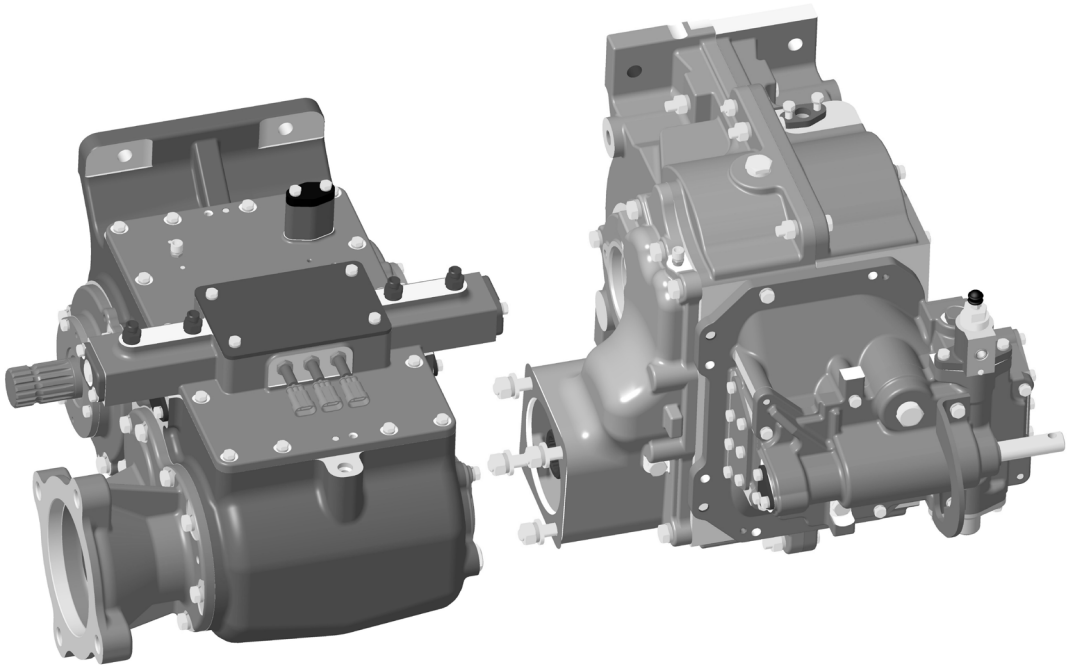


Рис. 5 – Сравнение новой коробки с серийно-изготавливаемой

Новая коробка передач в исполнении с тросовым управлением переключением передач успешно прошла испытания в составе опытного образца кормоуборочного комбайна FS450. В данный момент коробка передач в исполнении с электрогидравлическим переключением передач готовится к прохождению стендовых ресурсных испытаний, в результате которых можно будет оценить надежность изделия в целом и правильность принятых конструктивных решений.

Заключение. Применение разработанной двухскоростной коробки передач совместно с регулируемой гидростатической передачей решает актуальную проблему увеличения скорости движения и увеличения производительности самоходных машин, при этом обеспечиваются удовлетворительные тяговые характеристики, а также достаточная износостойкость и долговечность шестеренных зацеплений.

Данная коробка передач скомпонована по новому принципу, отличному от имеющихся в серийном производстве коробок передач. Образец разработанной коробки передач успешно прошел испытания в составе опытного образца кормоуборочного комбайна FS450 и в дальнейшем планируется к применению в составе вновь разрабатываемого комбайна FS550.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные направления развития сельскохозяйственной техники: учебно-методическое пособие / В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2021. 156 с.

УДК 631.316.022

ОТКЛЮЧАЕМЫЙ ПРИВОД ПИТАЮЩЕГО АППАРАТА И ПРИВОДА АДАПТЕРОВ В КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКЕ

Е. П. Панько, А. В. Вишняков
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация: В статье рассматривается конструкция раздаточной коробки кормоуборочного комбайна.

Введение

Сельскохозяйственные машины играют важную роль в современном сельском хозяйстве, обеспечивая эффективное выполнение множества задач, от посева до сборки урожая. Высокая производительность и надёжность являются одними из ключевых характеристик, которые определяют успешность работы сельскохозяйственной техники. Одним из важных узлов в работе сельскохозяйственной машины, в данном случае кормоуборочного комбайна, является раздаточная коробка, отвечающая за передачу вращательного движения через демпфирующую муфту от двигателя к гидронасосам привода питающего аппарата, адаптеров, ГСТ и рулевого управления.

Объект исследования

Раздаточная коробка

Цель исследования

Включение насосов привода питающего аппарата и адаптеров при выполнении технологического процесса и отключение при перегоне комбайна или при отсутствии надобности выполнять технологический процесс.

Методы исследования – теоретический, расчетно-конструктивный.

Результаты исследования

Существующая конструкция раздаточной коробки включает в себя зубчатые передачи – входная шестерня, установленная на входном валу, выходные вал-шестерни и промежуточные шестерни, установленные на осях. [1]

Принцип работы данной коробки состоит в том, что с выходных вал-шестерен производится съем мощности: с вала А - на привод гидронасосов ПА (питающего аппарата) и адаптеров, и с вала Б - на привод гидронасосов ГСТ и рулевого управления, причем выходные вал-шестерни соединены с валами гидронасосов шлицевыми полумуфтами (рис. 1). При этом работа ГСТ, рулевого управления осуществляется

постоянно, работа ПА и адаптеров - во время выполнения технологического процесса кошения с измельчением растительной массы.

Одним из недостатков в описанной конструкции является постоянный привод гидронасосов питающего аппарата и адаптеров после включения ДВС (как при транспортных переездах по дорогам общего пользования, так и при технологических переездах в полевых условиях без выполнения технологического процесса) что приводит к непроизводительному расходу мощности комбайна из-за постоянной передачи крутящего момента на гидронасосы привода ПА и адаптеров, и, как следствие, повышенный расход топлива, а также уменьшение ресурса вышеуказанных гидронасосов.

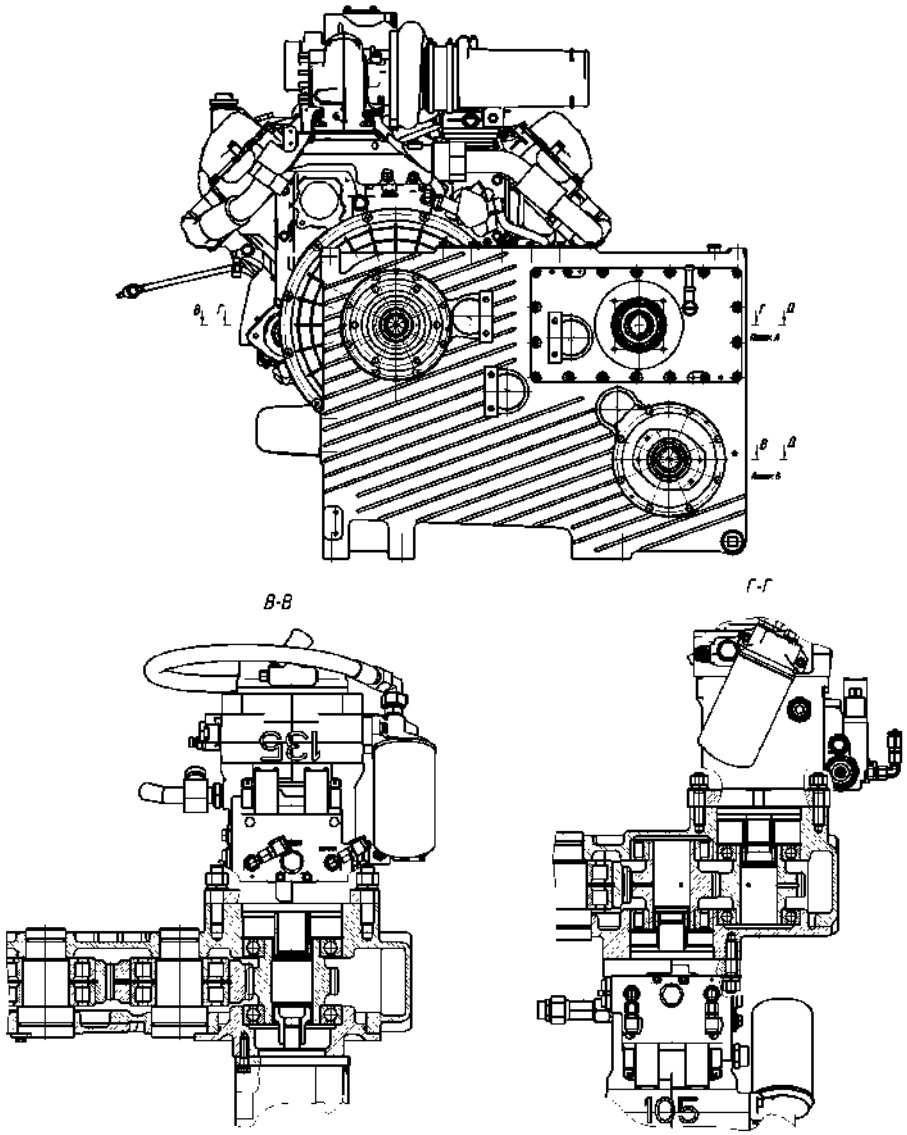


Рис. 1 – Схема раздаточной коробки кормоуборочного комбайна

С целью исключения перечисленных недостатков был разработан отключаемый привод гидронасосов ПА и адаптеров кормоуборочных комбайнов (рис. 2).

Для реализации функции отключения привода в раздаточной коробке предусмотрена встроенная управляемая фрикционная муфта 1 с гидравлической (как вариант, с механической, пневматической, электромагнитной и др.) системой управления. Она установлена на выходном валу 2 установленному на подшипниках 3, с которого осуществляется передача вращения на выходную вал-шестерню привода ПА и далее, через зубчатую передачу поз. 5 – 7, к гидронасосам привода адаптеров. Фрикционные элементы муфты соединяют её со свободновращающейся ступицей 6, установленной на подшипниках, на которой жёстко закреплена шестерня 4.

При включении муфты 1 соединяется ступица 6 с неподвижно установленной на ней шестерней 4, с валом 2, с которого непосредственно осуществляется привод гидронасоса привода ПА, и, через установленную на шлицах вала 2 шестерню 5, находящуюся в зацеплении с выходной вал-шестерней 7, одновременно включается гидронасос привода адаптеров.

Во время работы кормоуборочного комбайна в режиме холостого хода раздаточная коробка потребляет некоторую мощность и вследствии этого, можно рассчитать какой запас по мощности будет для предложенной конструкции.

Для изучаемой конструкции установлены следующие данные:
– объём одного насоса подпитки равно:

$$q = 22.5 \text{ см}^3$$

– давление одного насоса подпитки равно:

$$p = 24 \text{ бар}$$

– частота вращения равна:

$$n = 2300 \text{ об/мин}$$

Исходя, из начальных данных можем рассчитать крутящий момент на гидронасосе.

$$\text{М} = \frac{q \cdot p}{20 \cdot \pi} = \frac{22.5 \cdot 24}{20 \cdot \pi} = 8.594 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность на гидронасосе будет равна:

$$N = n \cdot \ M \cdot \frac{\pi \cdot 1.36}{30 \cdot 1000} = 2300 \cdot 8.594 \cdot \frac{\pi \cdot 1.36}{30 \cdot 1000} = 2.815 \text{ л.с.}$$

Следовательно, мощность на гидронасосах питающего аппарата и адаптеров будет равна*:*

$$2 \cdot N = 2 \cdot 2.815 = 5.63 \text{ л.с.}$$

Таким образом, улучшение конструкции раздаточной коробки приведёт к снижению мощности используемой насосами питающего аппарата и адаптеров на 5.63 л.с.

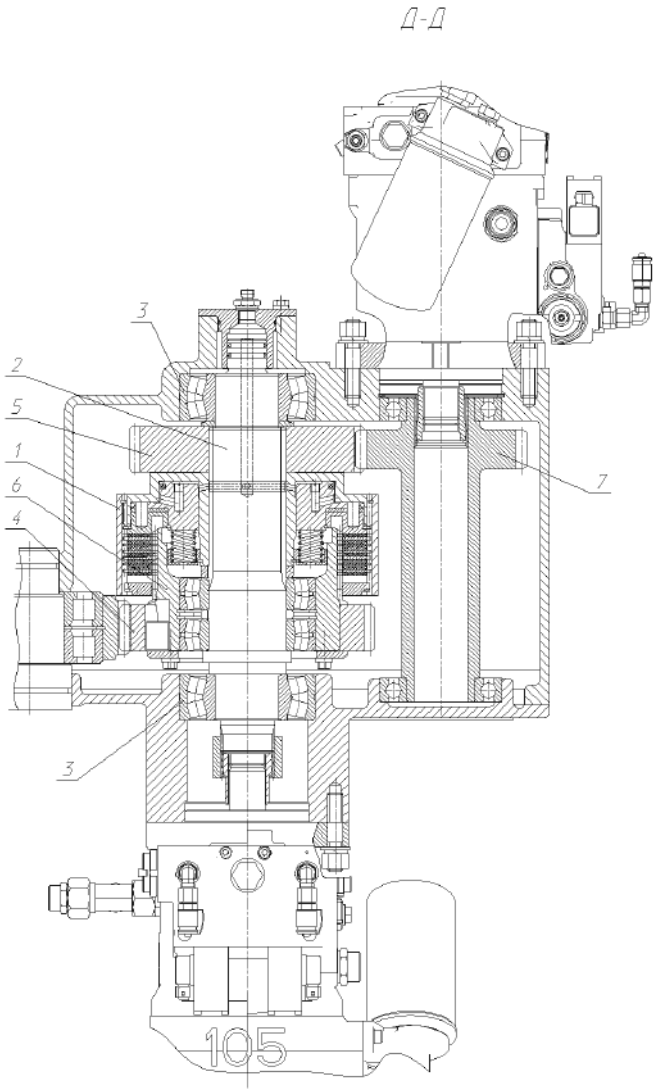


Рис. 2 – Схема раздаточной коробки с использованием фрикционной муфты

Заключение

Предложенное техническое решение позволяет включать насосы привода ПА и адаптеров при выполнении технологического процесса и отключать при перегоне комбайна или при отсутствии надобности выполнять технологический процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по эксплуатации комплекс кормоуборочный высок опроизводительный КВК-800 «ПАЛЕССЕ FS80-8» КВС-8-0000000 ИЭ.

УДК 668.046

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ АЛЮМИНИЕМ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Б. М. Неменёнок, Л. В. Трибушевский, Г. А. Румянцева
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Увеличение мощности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники и рост нагрузок на ее узлы и механизмы требует использования стальных отливок с более высокими показателями прочности. Последние во многом зависят от чистоты получаемого расплава и загрязненности отливок неметаллическими включениями, большую часть которых составляют соединения металлов с серой и кислородом. На ряде предприятий для отливок ответственного назначения оговариваются допустимые нормы загрязненности сульфидными, оксидными и силикатными включениями по среднему и максимальному баллам. Это накладывает более жесткие требования к процессам десульфурации и раскисления стали.

В последние годы в металлургии для обработки стали широко используются гранулы из чистого алюминия, получаемые при сливе расплава через сито-дозатор в воду [1]. Алюминиевые гранулы применяют для раскисления стали по ASIS – технологии, разработанной фирмой «Techcom Gmb H», предусматривающей вдувание алюминиевых гранул диаметром 1,6–6,0 мм в струю стали при сливе ее из плавильного агрегата в ковш. Их используют также при циркуляционном вакуумировании для подогрева стали [2]. Подача алюминия в вакуум-камеру с последующим окислением его вдуваемым кислородом приводит к выделению большого количества тепла.

Варьируя расходом алюминия, аргона и кислорода можно управлять процессами окисления углерода, кремния, марганца, хрома и поддерживать температуру расплава в нужном диапазоне. Такая технология дает возможность получать сталь, содержащую не более (%): 0,002 S; 0,015 P; 0,002 [O]; 0,00015 [H], а также составы с очень низким содержанием углерода [2].

Применение литой алюминиевой дроби позволяет существенного повысить реакционную поверхность раскислителя, «... так как данный показатель для алюминиевых гранул в 80–90 раз выше, чем у чушкового алюминия и составляет 1,6–1,8 $м^2$/кг против 0,02 $м^2$/кг» [1]. Однако такая технология получения алюминиевой дроби требует ее обязательной сушки и существует опасность насыщения расплава водородом. Кроме того, при температуре сушки гранул более 200 ºС происходит их интенсивное

окисление. Развитая поверхность гранул, из-за их малого размера, способствует также загрязнению расплава оксидными пленами. На ряде предприятий для раскисления стали используют вторичный гранулированный алюминий, являющийся продуктом механической переработки алюминиевого лома – отходов штамповочного производства, упаковочных и укупорочных материалов для жидких и сухих продуктов питания. В процессе переработки такого лома на специализированном оборудовании проводится измельчение и накатывание материала, в результате чего получают гранулы сферической формы диаметром 0,2–5 мм. За счет наличия пустот, полученных при укатывании, а также малого диаметра частиц, удельная поверхность гранулы значительно выше, чем у чушкового алюминия. Существенным недостатком таких гранул является их меньшая плотность, повышенная окисленность, по сравнению с литыми, и необходимость использования специального оборудования.

Для реализации «сухой» технологии производства алюминиевых гранул использовали расплав из отходов деформируемых алюминиевых сплавов и стружки, полученный в короткопламенной роторной печи (КПРП). Исследования проводили на установке «CENTAUR», состоящей из вращающегося круглого водоохлаждаемого стола, чугунного металлоприемника для жидкого алюминиевого сплава, ударного механизма для образования капель металла и системы удаления полученных гранул со стола.

Полученный в короткопламенной роторной печи расплав сливали в ковш и переливали с печь-дозатор «KROWNMATIC», где он выдерживался при температуре 740–760 ˚С в течение 3 часов.

Из дозатора по подогретому лотку металл поступал в металло-приемник установки «CENTAUR», в нижней части которого размещались специальные отверстия для вытекания расплава. Образование капель, то есть обрыв струи расплава, происходил за счет ударного механизма. В зависимости от интенсивности его работы изменяли размеры получаемых гранул в диапазоне 5–10 мм. Гранулы из капель расплава формировались на поверхности вращающегося водоохлаждаемого стола, а удаление готовых гранул производили потоком сжатого воздуха [3].

Разработанный технологический процесс выплавки алюминиевого сплава из окисленных отходов и слива его в печь-дозатор «KROWNMATIC» с последующим получением гранул по «сухой» технологии на установке «CENTAUR» реализован на ООО «НПФ "Металлон"».

Алюминиевые гранулы, отлитые по «сухой» технологии из отходов производства, соответствовали по составу АВ-87 и АВ-97, имели несколько большие размеры по сравнению с алюминиевой дробью, полученной охлаждением капель расплава в воде, но вполне были

пригодны для раскисления стали, что в дальнейшем и было подтверждено в производственных условиях.

Разнообразие отходов алюминиевых сплавов, подлежащих переработке, требует их тщательной предварительной подготовки и сортировки с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Наиболее часто встречающиеся высокозасоренные отходы алюминия и его сплавов, кроме стружки и шлаков, содержат в своем составе промасленную бумагу, теплоизолирующую пену, пластик, керамику и стекло.

С введением обязательной сортировки бытовых отходов возросла доля лома и отходов алюминия 4 сорта класса Г, содержащего бутылочные пробки, водочные дозаторы, металлические банки из-под напитков, для производства которых используются пищевые алюминиевые сплавы высокой степени чистоты.

Для переработки таких отходов была предложена схема их подготовки и плавки с получением алюминиевых гранул по «сухой» технологии. На первой стадии подготовки таких отходов алюминия их подвергали обработке в молотковой дробилке для отбивки стекла. В дальнейшем полимерно-металлический концентрат проходил магнитную сепарацию на установке с постоянными магнитами и отсортированную магнитную составляющую использовали в составе шихты при производстве чушкового раскислителя. Немагнитная часть отходов поступала в шредерную установку для измельчения до фракции 10–15 мм, которую в дальнейшем подвергали магнитной и вихревой сепарациям. При помощи последней извлекали металлическую немагнитную фракцию, используемую в дальнейшем в качестве компонента шихты при плавке в КПРП.

Неметаллическая фракция, состоящая преимущественно из пластика, подлежала переработке с получением гранул вторичного пластика, реализуемого потребителям [3].

С использованием таких схем подготовки отходов алюминия была изготовлена опытная партия алюминиевых гранул АВ87 по «сухой» технологии массой 5 т для поставки на Молдавский металлургический завод, где были проведены производственные испытания данных гранул.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка существующих способов раскисления металла алюминием на выпуске из сталеплавильного агрегата / Э.Э. Шумахер [и др.] // Сталь. – 2012. – № 7. – С. 23-26.

2. Кудрин В.А. Технологические процессы производства стали / В.А. Кудрин, В.А. Шишимиров. – Ростов н/Д: Феникс, 2017. – 302 с.

3. Инновационные технологии переработки окисленных отходов алюминия / Л.В. Трибушевский [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – 139 с.

УДК 621.78:535.211

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

В. С. Голубев[1], И. И. Вегера[1], В. Е. Ходюш[1], О. В. Дьяченко[2], К. В. Протасевич[2]
[1]Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Многими исследователями отмечается перспективность развития и применения в различных сферах промышленного производства результатов лазерного поверхностного легирования. Однако сегодня, несмотря на несомненную научную и практическую важность технологии лазерного поверхностного легирования не получили еще должного развития и внедрения. Главной причиной этого является недостаточная теоретическая и экспериментальная изученность основных закономерностей изменения как отдельных, так и комплекса свойств обрабатываемых сталей и сплавов в зависимости от получаемого структурно-фазового состояния в условиях весьма высоких скоростей нагрева и охлаждения. Что существенно тормозит разработку рекомендаций прикладного характера, а также конкретных промышленных технологий. Исследования, осуществляемые в области лазерного легирования поверхностей металлических изделий, зачастую направлены на решение частной задачи повышения эксплуатационных свойств конкретно взятого металла или отдельно изготовленных из него деталей. В связи с этим, из-за существенных различий в условиях и схемах проведения исследований полученные многими авторами результаты не поддаются полной систематизации. Это связано во многом с отсутствием полного понимания принципов управления структурой при формировании поверхностных слоев, благодаря чему обеспечивается нужный уровень характеристик конструкционной прочности, что составляет основу разработки таких технологий.

С учетом этого, нами проведены работы по изучению особенностей лазерного легирования поверхностей ряда сталей различными легирующими компонентами в равнозначных условиях эксперимента с использованием излучения 2-х кВт волоконного лазера. В данной работе приводятся некоторые результаты по лазерному легированию современной износостойкой стали Hardox 600. Эта задача обусловлена тем, что вследствие различных условий эксплуатации зачастую на отдельных

участках поверхностей деталей, изготовленных из этой весьма качественной стали, необходимо дополнительно повысить какие-то свойства, придать другие, или создать комплекс новых.

Стали семейства Hardox – это легированные горячекатаные стали конструкционного класса с твердостью от 350 до 650 НВ. Изготавливаются такие мелкозернистые стали шведской компанией SSAB Oxelösund AB. В процессе производства сталь проходит специфические закалку и отпуск. Производители этих сталей при разработке сделали упор именно на устойчивости материала ко многим видам износа. Срок эксплуатации изделий и конструкций из марки Hardox благодаря этому в несколько раз выше, чем у такого же металлопроката из других марок.

В качестве легирующих материалов в настоящих экспериментах использовались порошки карбидов B_4C, WC и никеля с добавкой ~15% хрома – Ni(~15%Cr). Перед лазерной обработкой на поверхности предварительно формировался слой нанесением на нее обмазки из вышеуказанных порошков. Это позволяет обеспечить экономию в расходе легирующих компонентов и дает возможность создания в зоне упрочнения нужной концентрации легирующих элементов. Отметим, что таким способом удается наносить самые различные легирующие материалы, что не всегда возможно осуществить другими способами. Толщина слоя при этом составляла ~100 - 150 мкм.

Обработка образцов проводилась на основе модуля поверхностной термообработки МЛ35–ПО, в котором используется иттербиевый волоконный лазер ЛС–2 с максимальной выходной мощностью 2 кВт. В качестве защитного газа в экспериментах использовался аргон. Режимы обработки подбирались в зависимости от мощности лазерного излучения установки, линейных скоростей перемещения лазерного луча и диаметра пятна его фокусировки.

Результаты исследований и их обсуждение. Лазерное поверхностное легирование в данном случае заключается в получении легированных слоев с предварительным размещением присадочных компонентов непосредственно в зоне воздействия лазерного луча. Образец со слоем легирующей обмазки при воздействии сканирующего лазерного луча оплавляется, легирующие элементы попадают в ванну расплава, который затем быстро кристаллизуется. При скоростной кристаллизации расплавленного металла в зоне легирования создается мелкозернистая структура с специфическими эксплуатационными характеристиками.

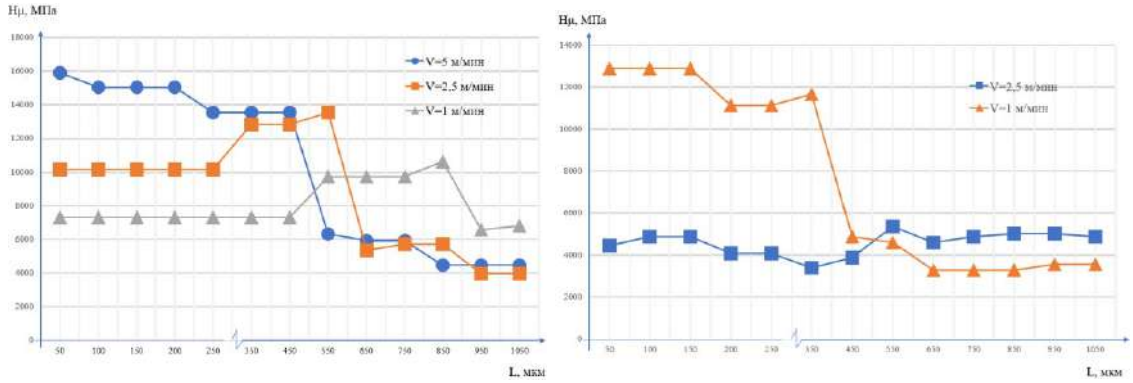
Лазерное поверхностное упрочнение в режимах с оплавлением поверхности отличается от обычной лазерной закалки в твердой фазе, как большими размерами зон лазерного воздействия, так и более выраженной структурной неоднородностью поверхностных слоев, которая состоит обычно из нескольких слоев. Наружный слой, как правило, имеет дендритное, ячеистое или дендритно-ячеистое строение, которые

характерны для закалки металлов из жидкого состояния. Ниже располагаются зона термического влияния и переходный слой, где все превращения происходят в твердой фазе и далее следует материал основы. В зоне термического влияния в большинстве случаев может происходить подзакалка стали, а в переходной зоне наблюдаться ее частичный отпуск.

Такие режимы лазерного легирования с созданием своеобразной гетерофазной структуры могут, тем не менее, быть весьма перспективны при условиях работы деталей, например, с абразивным износом.

Максимальная глубина получаемых в данных экспериментах легированных слоев при уровне мощности 1 кВт составляет ~ 350 мкм, при уровне мощности 2 кВт – ~ 600 мкм, зона нижележащих мартенситно-аустенитных превращений в твердой фазе в этих случаях соответственно может достигать ~ 200-250 и ~ 300-350 мкм. В целом, при возрастании плотности потока лазерного излучения увеличивался объем расплавленного металла, то есть увеличивалась не только глубина, но и ширина расплавленной дорожки, которая достигала, например, при диаметре пятна фокусировки лазерного луча ~ 1,5 мм и мощности излучения ~2 кВт максимальных значений ~ 2,5-3 мм. Было обращено внимание также на наличие достаточно ровной поверхности закристаллизовавшегося металла при использовании для легирования WC и B_4C, то есть наблюдалась небольшая конечная шероховатость поверхности, что может потребовать при необходимости совсем небольшую механическую шлифовку, и таким образом будет обеспечиваться при эксплуатации достаточная глубина легированного слоя.

Отметим, что в зоне расплава в условиях без нанесения легирующей обмазки в целом дополнительного упрочнения не происходило, значения микротвердости во всем диапазоне режимов изменялись в пределах 4200 – 6200 МПа, небольшое упрочнение (6200 – 7000 МПа) при этом наблюдалось в зоне закалки из твердой фазы. В зоне отпуска значения микротвердости снижались до 3750 – 4200 МПа. Как отмечалось выше, состав данной стали и режимы термообработки позволяют создавать для нее универсальный комплекс свойств, тогда как дополнительный нагрев приводит в целом к его ухудшению. Как видим, это наблюдается и при лазерной обработке без легирования ее поверхности. В частности, при режимах расплавления происходит снижение твердости материала, что, по-видимому, связано с дополнительной фиксацией остаточного аустенита. В то же время, в зоне отпуска имеют место стандартные процессы превращения мартенсита с образованием промежуточных структур. Проведением непосредственно самого процесса лазерного легирования удается уже варьировать в той или иной степени свойствами поверхностных слоев (рис. 1).

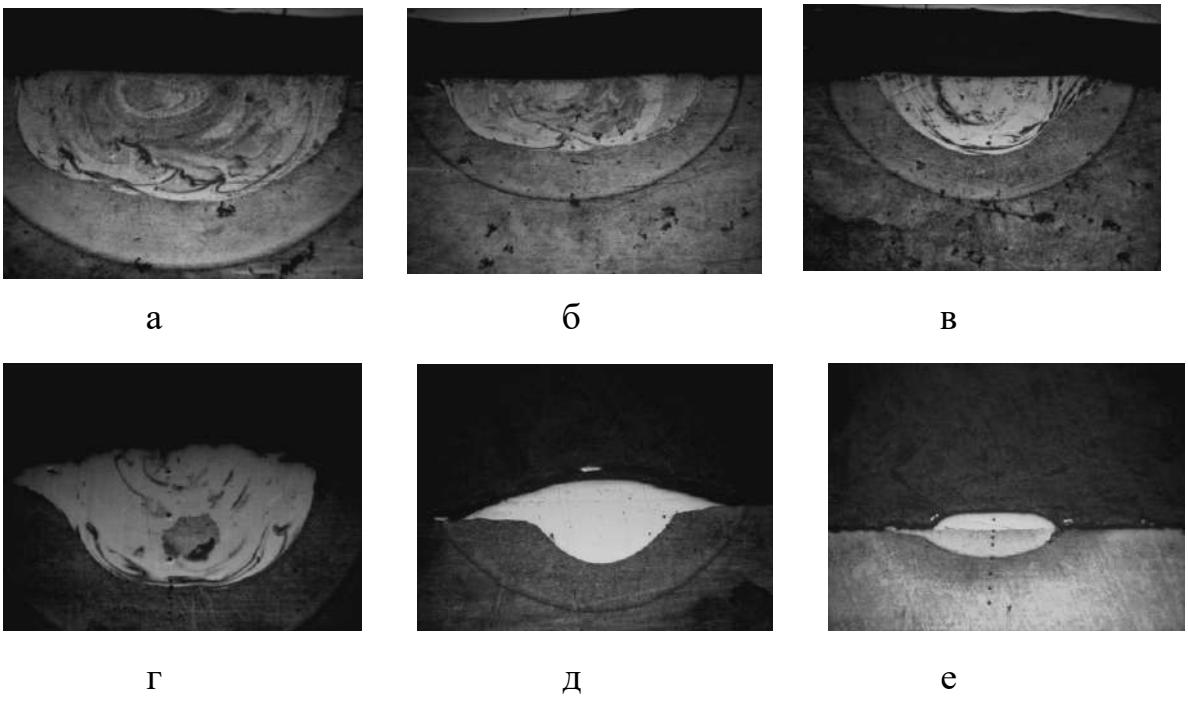


а б

Рис. 1 – Зависимости микротвердости по глубине легированных слоев при лазерной поверхностной обработке стали Hardox 600 с использованием порошка B_4C: а - Р = 2кВт; б - Р = 1 кВт

Из рис. 1 следует, что процесс поверхностного легирования критичен к режимам лазерного воздействия. Так, например, при мощности 1 кВт (Рис. 1б) возрастание твердости поверхностного слоя фиксируется только при минимальной скорости 1 м/мин. Тогда как при более высокой мощности Р = 2кВт (Рис. 1а) области легирования с повышенной твердостью наблюдаются устойчиво во всем диапазоне скоростей перемещения лазерного луча. При этом с ростом глубины зоны легирования значения микротвердости снижаются, что, вероятно, может быть связано с концентрационным снижением вводимых легирующих элементов. Значения микротвердости слоя уже могут изменяться в диапазоне 7300 – 16000 МПа. При этом следует обратить внимание на факт более пологого поведения зависимости значений микротвердости по глубине легированного слоя в зоне отпуска при использовании порошка B_4C (Рис. 1б) по сравнению с режимом обработки с оплавлением поверхности, но без нанесения легирующего компонента.

Довольно своеобразная картина наблюдается при использовании в качестве легирующего материала порошков WC и Ni(~15%Cr) (рис. 2). Также, как и при легировании стали 5ХНМ с использованием CO_2 – лазера значительного упрочнения при применении порошка WC нами не наблюдалось, хотя не наблюдалось и порообразованиея. В случае с Ni(~15%Cr) наблюдалось, наоборот, разупрочнение легированного слоя. При этом можно наблюдать, как со снижением плотности мощности лазерного излучения процесс легирования постепенно переходит в процесс лазерной наплавки.



а б в

г д е

Рис. 2 – Микроструктуры поверхностных слоев при использовании для легирования порошков WC (а,б,в,) и Ni(~15%Cr): а - P=2 кВт; v=1 м/мин; б - P=2 кВт; v=2,5 м/мин; в - P=1 кВт; v=1 м/мин; г - P=2 кВт; v=1 м/мин; д - P=1 кВт; v=1 м/мин; е - P=1 кВт; v=5 м/мин.

Также отмечено, что создаваемые слои с повышением концентрации Ni(~15%Cr) в ванне расплава начинают постепенно проявлять все более высокую коррозионную стойкость (рис. 2 д, е). При этом элементный состав слоя практически повторяет состав исходного порошка: C~5.8, Si~3.9, Cr~15.0, Ni~70.7. А при использовании WC в слое могут наблюдаться включения исходного материала.

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МЕТОДЕ ЭМН

С. В. Рогов
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Электромагнитная наплавка (ЭМН) представляет собой метод наплавления порошковых материалов, основанный на использовании энергии магнитного поля и электрического тока, посредством которых порошок расплавляется и наносится на поверхность обрабатываемой детали с образованием упрочненного поверхностного слоя [1, 2].

На современном этапе развития машиностроения передовым вопросом является экономия и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и используемых материалов. Условием реализации процесса электромагнитной наплавки является равномерная подача материала (порошка) в зону поверхностного упрочнения, что обусловлено получением сплошного поверхностного слоя. Исследование технологии подачи обеспечит получение качественного поверхностного слоя и сбережение дорогостоящих наплавляемых материалов [2].

Исследования осуществлялись на порошке ферробор ФБ-17 ГОСТ 14848-69 (размер частиц 200-315 мкм), порошке бористого чугуна БЧ-1 (размер частиц 250-315) и порошке ПЖРВ2 ТУ 14-1-3882-85 (размер частиц 160-300 мкм). Химический состав исследуемых порошковых материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемых порошков

Порошок	Содержание химических элементов, мас. %						
	B	Si	Al	C	S	P	Mn
Ферробор ФБ-17	17	3	5	0,2	0,02	0,03	-
БЧ-1	10-12	0,8-1,2	2-4	2,6-2,8	0,05	0,05	1-3
ПЖРВ2	-	0,08	-	0,03	0,02	0,02	0,15

Масса подаваемого порошка (величина подачи) определялась взвешиванием на аналитических весах ВЛК-500 с точностью до 0,001 г. Частота определения величины подачи принята за замер в 10 секунд работы дозатора. Время подачи определялось секундомером с точностью 0,05.

В работе была использована схема электромагнитного бункерного устройства, приведенная на рис. 1 [3].

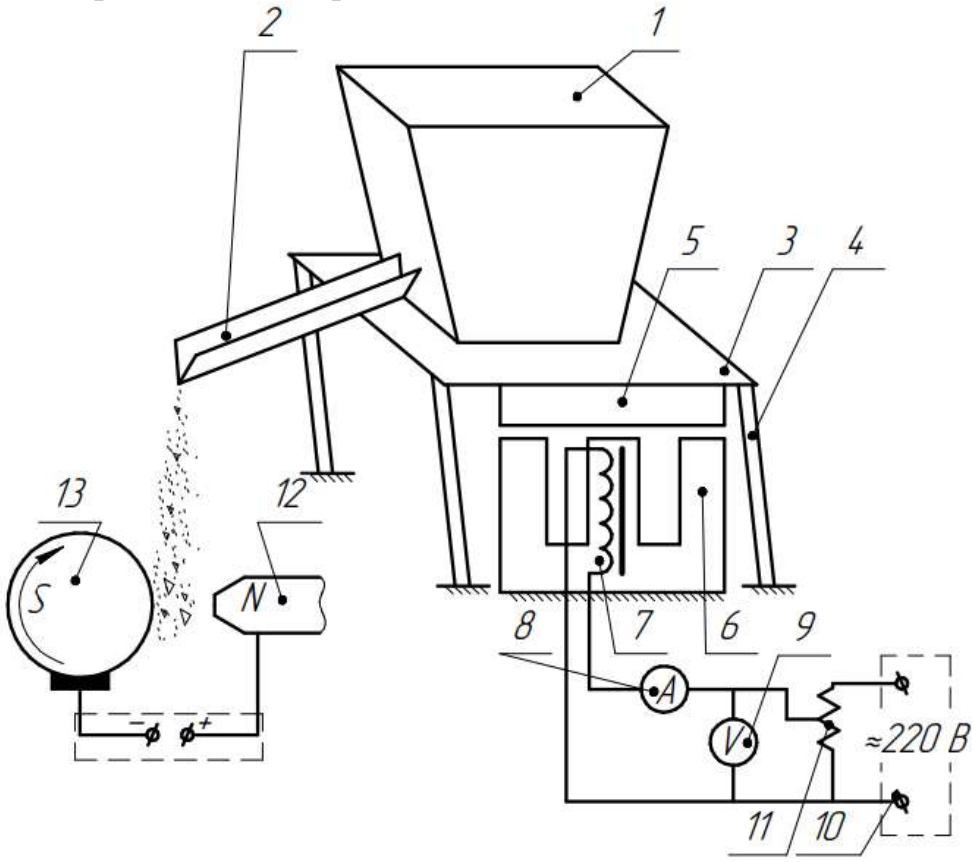


Рис. 1 – Схема электромагнитного вибрационного загрузочного бункерного устройства с электромагнитным приводом: 1 - накопитель; 2 - лоток; 3 – днище накопителя; 4 - пластины; 5 - якорь; 6 - статор; 7 - электромагнитная катушка; 8 - амперметр; 9 - вольтметр; 10 - потенциометр; 11 - автотрансформатор; 12 - полюсный наконечник; 13 – заготовка

Достоинством электромагнитного привода является быстрое протекание переходных процессов. При изменении силы тока в обмотке вибратора значение амплитуда устанавливается через 0,04-0,05 секунды [4].

В ходе работы установки на лоток 2 вибрационного загрузочного бункерного устройства воздействуют вибрации, вызываемые автотрансформатором 11. Подвижность системы осуществляется за счет того, что пластины 4 воспринимают эти вибрации, благодаря которым они совершают колебательные движения. Вибрирование воздействует на накопитель 1, что обуславливает ссыпание порошка в зону наплавки с последующим его оплавлением на деталь 13. На порошок при этом действуют силы инерции и трения, стремящиеся перемещать его частицы, а также сила тяжести. Регулируя амплитуду вибрации дозирующего устройства, возникает возможность получения необходимой величины

подачи порошковых материалов в зону наплавки. Помимо изменения амплитуды, также можно изменять угол наклона лотка бункерного устройства. Зависимости величины подачи М от времени работы дозатора и угла наклона лотка устройства представлены на рис. 2, 3, 4.

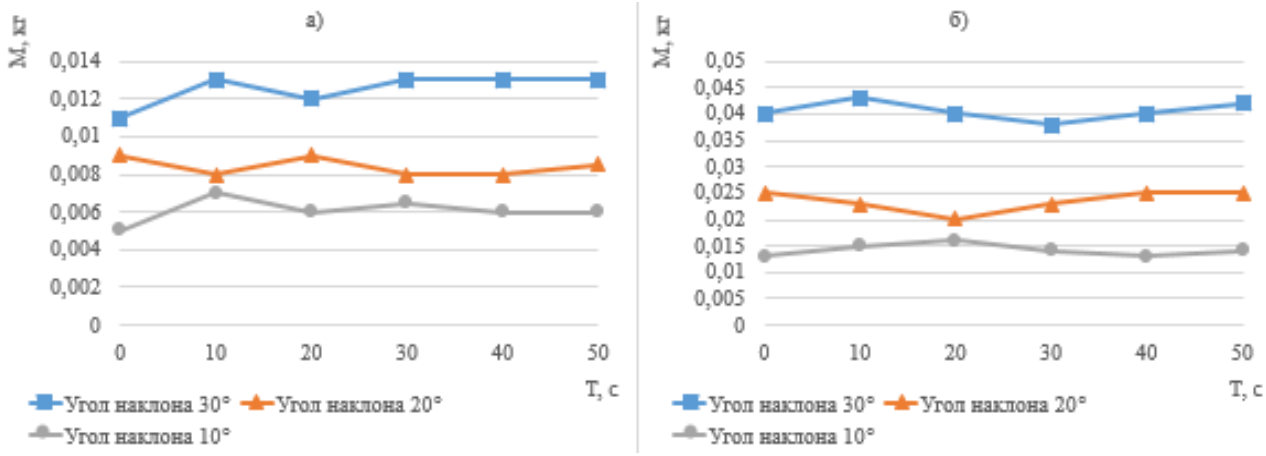


Рис. 2 – Зависимости величины подачи М от времени работы Т и угла наклона лотка устройства α для порошка ФБ-17 с размером частиц: а - 200 мкм; б - 315 мкм

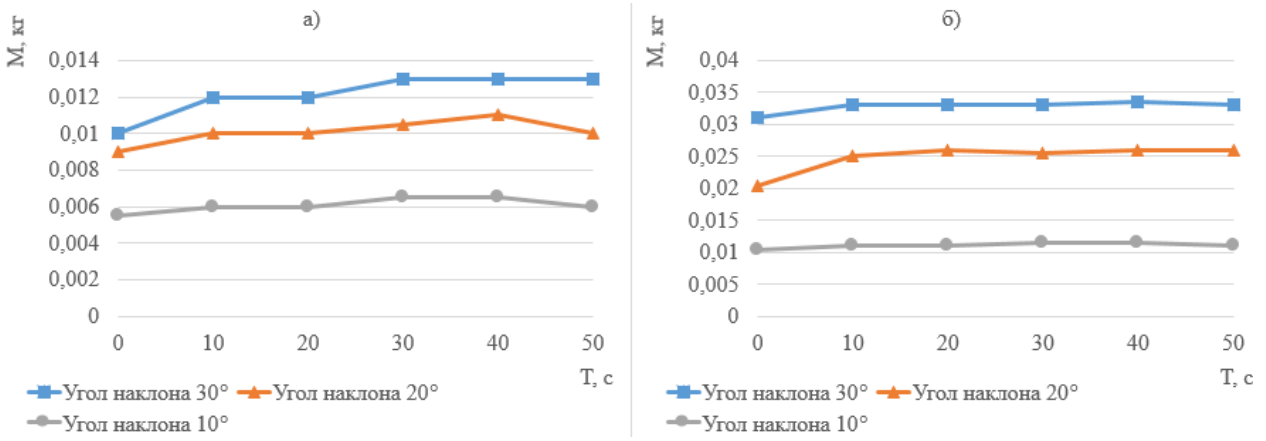


Рис. 3 – Зависимости величины подачи М от времени работы Т и угла наклона лотка устройства α для порошка БЧ-1 с размером частиц: а - 250 мкм; б - 315 мкм

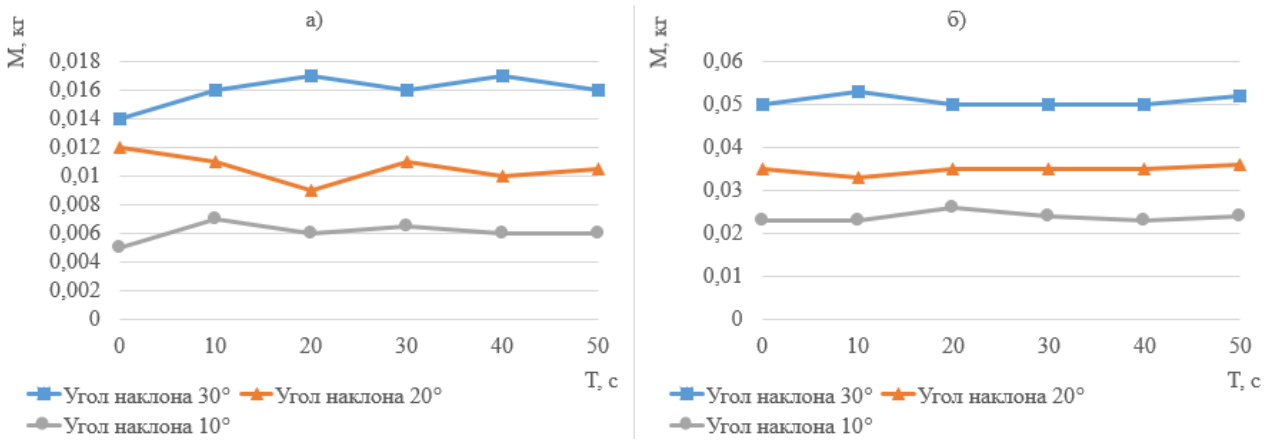


Рис. 4 – Зависимости величины подачи М от времени работы Т и угла наклона лотка устройства α для порошка ПЖРВ2 с размером частиц: а - 160 мкм; б - 300 мкм

Рассмотрим результаты исследования процесса вибротранспортирования порошков различного гранулометрического состава (рис. 5-7).

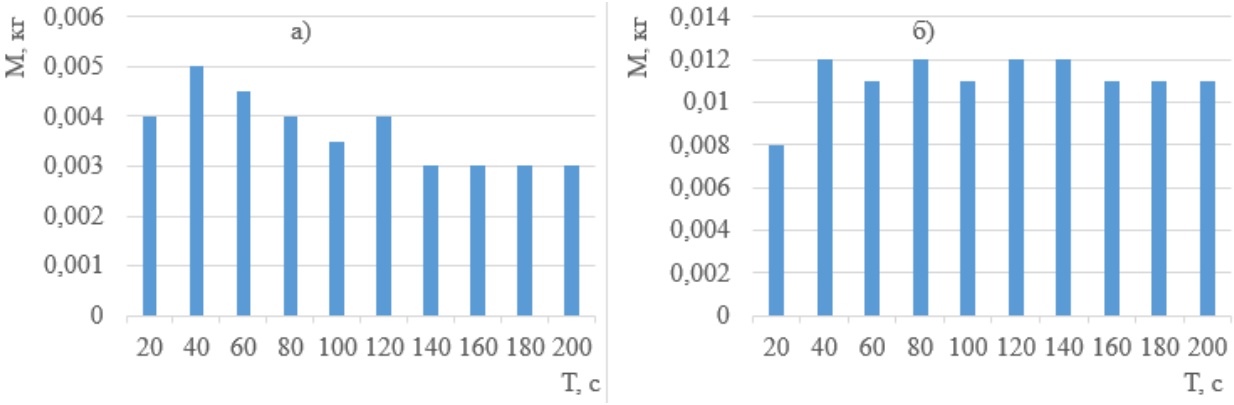


Рис. 5 – Диаграммы стабильности величины подачи М от времени работы дозатора Т для порошка ФБ-17 с размером частиц: а - 200 мкм; б - 315 мкм

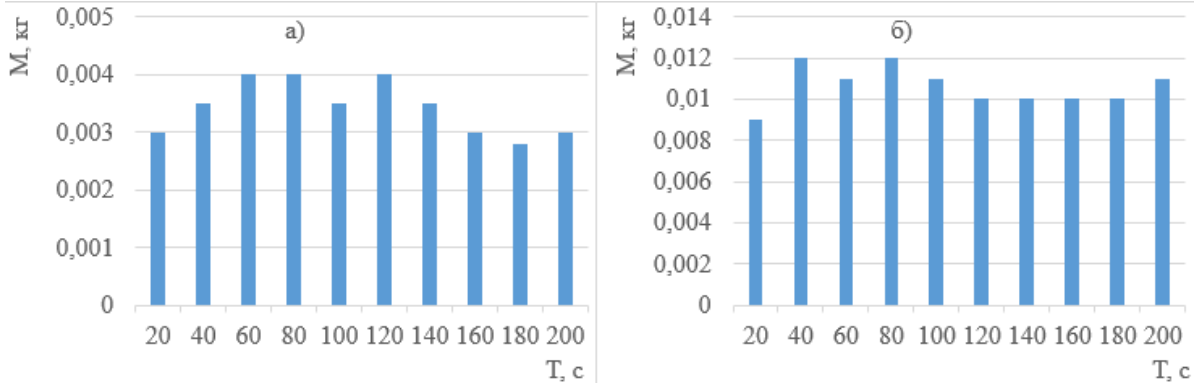


Рис. 6 – Диаграммы стабильности величины подачи М от времени работы дозатора Т для порошка БЧ-1 с размером частиц: а - 250 мкм; б - 315 мкм

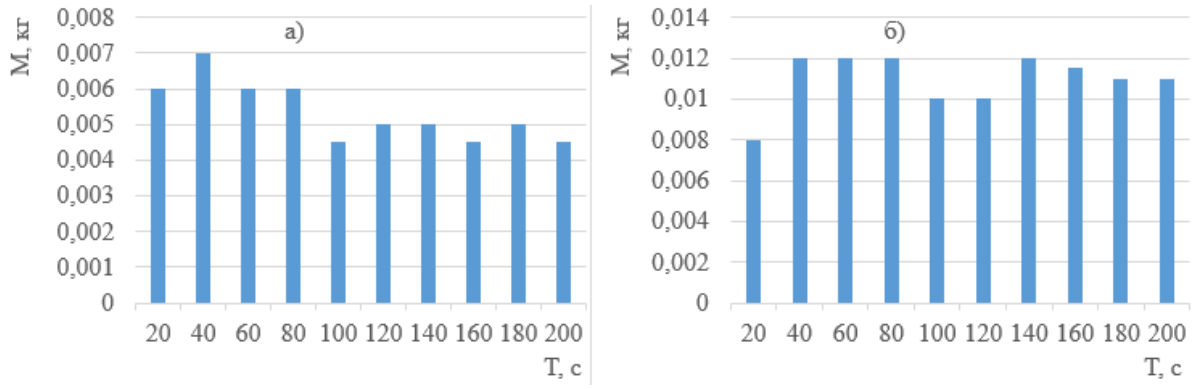


Рис. 7 – Диаграммы стабильности величины подачи М от времени работы дозатора Т для порошка ПЖРВ2 с размером частиц: а - 160 мкм; б - 300 мкм

Влияние вибрации способствует перемещению частиц порошка в зону наплавки. При достижении определенных значений амплитуды порошок приобретает состояние, называемое «псевдоожижением», при котором рассыпчатая среда становится подвижнее и достигается компактное трамбование частиц с уменьшением количества пор, что приводит к более стабильной подаче порошка и, следовательно, равномерному упрочняемому поверхностному слою [1, 5].

Рассматривая результаты исследования процесса вибротранспортирования порошков различного гранулометрического состава, видно, что для осуществления устойчивого процесса электромагнитной наплавки и получения равномерного упрочненного поверхностного слоя частицы порошка перед непосредственной подачей в зону наплавки необходимо утрамбовать вибрированием с целью получения однородной структуры.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод о том, что величина подачи порошка зависит от угла наклона лотка и структуры частиц порошка: чем больше частицы порошка, тем меньше усилий необходимо приложить для их транспортировки в зону ЭМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П. И. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын, М.Т. Забавский, Л.М. Кожуро, Л.М. Акулович. – Минск.: Наука и техника. – 1988. – 272 с.

2. Мрочек Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин: [учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов] / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск.: Технопринт, 2000. – 267 с.

3. Гринкевич И. В. Устройство для электромагнитной наплавки наружных цилиндрических поверхностей / И. В. Гринкевич, М. П.

Кульгейко, С. В. Рогов // Материалы, технологии, инструменты, 2000. - № 2, с. 100-102.

4. Бобров В. П., Чеканов Л. И. Транспортные и загрузочные устройства автоматических линий: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.

5. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). — М.: Машиностроение, 1981.— Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с., ил.

УДК 631.355

КОМБАЙН ПОЧАТКОУБОРОЧНЫЙ СО СМЕННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Е. И. Прохоренко, Э. М. Черноокий, Д. В. Божок
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В работе представлен комбайн початкоуборочный со сменным рабочим органом. Разработанная конструкция направлена на совершенствование початкоуборочного комбайна, позволяющая снизить повреждения кукурузных початков и зерна при уборке кукурузы в стадии молочной и молочно-восковой спелости для консервирования и еды в початках, сформировать комплектацию машины по желанию заказчика в зависимости от выполняемого технологического процесса, а также с целью увеличения годовой загрузки комбайна, уменьшения энергозатрат при уборке.

Модернизация початкоуборочного комбайна ES 6 выполнена по принципу исключения из технологического процесса цикла очистки початков, демонтажа узлов аппарата очистительного и замена его на транспортер подачи неочищенных початков к погрузочному транспортеру, с целью исключения повреждения зерна при уборке кукурузы в стадии молочной и молочно-восковой спелости.

Введение: Ведущая роль кукурузы в земледелии определяется высокой урожайностью зерна, зеленой массы и многогранностью её использования в пищевой промышленности, животноводстве, медицине и других отраслях экономики.

Кукуруза – культура разностороннего использования. Однако особую ценность она представляет, как высокоурожайное кормовое растение. В 1 кг зерна содержится 1,34 кормовых единиц и 78 г переваримого протеина. По пищевой ценности она не уступает зеленому горошку и овощной фасоли, пользуется высоким спросом среди населения.

Около 20 % зерна кукурузы используется на продовольственные цели. Из него изготавливают муку, крупу, хлопья, палочки, масло, консервы и многие другие продукты. В промышленности получают крахмал, этиловый спирт, глюкозу. Пестичные столбики и кукурузное масло используются в лечебных целях. Из надземной не зерновой части урожая в химической и строительной промышленности вырабатывают разнообразную продукцию – клей, краски, лак, картон, линолеум, целлюлозу, фурфурол и др.

Сахарную кукурузу собирают в фазе молочной спелости. Молочная спелость наступает на 18-23-е сутки после начала цветения.

Средняя урожайность початков составляет 60 ц/га.

Объект исследования: Комбайн початкоуборочный со сменным рабочим органом.

Предмет исследования: Универсальность конструкции комбайна при уборке кукурузы на разных стадиях спелости по разным технологическим схемам, в разные агротехнические сроки.

Цель исследования: Оптимизация конструкции початкоуборочного комбайна, снижение энергозатрат при применении различных технологических схем уборки, увеличения годовой загрузки комбайна.

Результаты исследования: При использовании предложенной технологической схемы уборки появляется возможность заменить аппарат очистительный на сменный транспортер подачи неочищенных початков к погрузочному транспортеру, что позволяет достичь снижения повреждения зерна при уборке кукурузы в стадии молочной и молочно-восковой спелости, уменьшения энергозатрат за счет исключения цикла очистительной функции комбайна, если в ней нет необходимости, использовать один комбайн при уборке кукурузы на разных стадиях спелости по разным технологическим схемам, в разные агротехнические сроки.

Применение початкоуборочного комбайна со сменным транспортером позволяет увеличить годовую загрузку машины за счет более длинного уборочного сезона, так как транспортер позволяет убирать кукурузу молочной и молочно-восковой степени спелости.

Следует отметить, что предлагаемая технологическая схема уборки кукурузы в стадии молочной спелости без очистки початков с заменой в конструкции комбайна аппарата очистительного на сменный транспортер подачи початков на погрузной транспортер не имеет аналогов.

Об этом можно утверждать, изучив технологические схемы уборки кукурузы в початках в стадиях молочной, восковой и биологической спелости ведущих зарубежных производителей OXBO, BERKO, BOURGOIN.

Для уборки кукурузы в початках в стадиях молочной, восковой и биологической спелости используются отдельные специализированные комбайны с разным конструктивным набором рабочих органов.

Незначительные изменения конструкции машины, относительно нетрудоемкая и недолгая переналадка рабочих органов початкоуборочного комбайна, вот основная концепция применения разработанного транспортера.

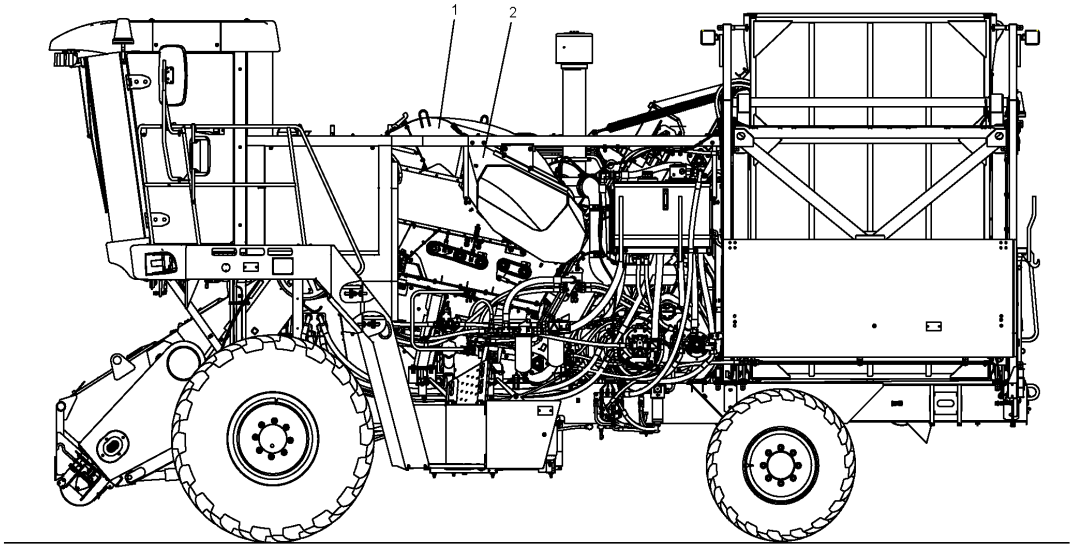


Рис. 1 – Общий вид початкоуборочного комбайна ES 6 1 – отвод; 2 – раструб: - Демонтировать цепь 3, фартуки 4 и 5, рукава 6, 7 и 8, гидромотор 9, цепь 10, распределитель 11, шатун 12, привод распределителя 13, трубку 14, скаты 15 и 16, стенки 17 и 18, кронштейн 19, датчик 20 (рис. 2).

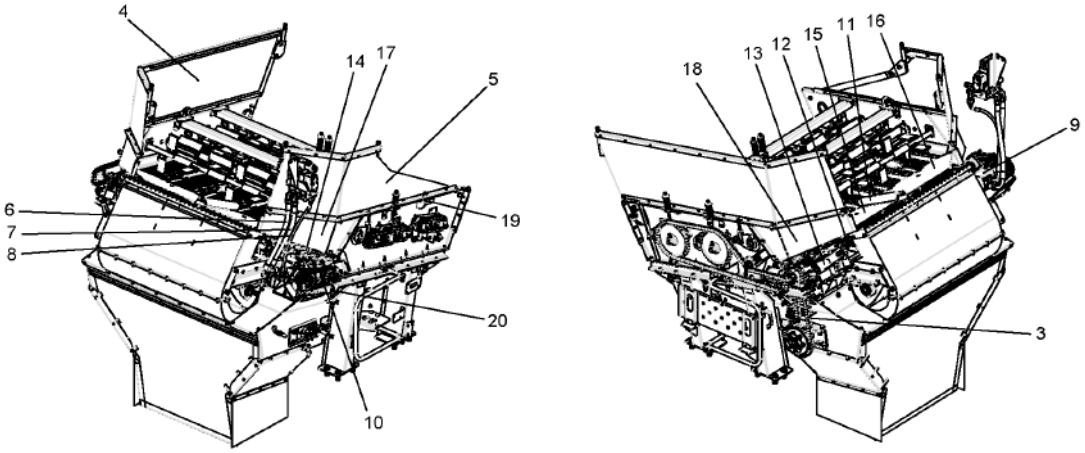


Рис. 2 – Порядок разборки устройства початкоочистительного: 3 и 10 – цепи; 4 и 5 – фартуки; 6, 7 и 8 – гидравлические рукава; 9 – гидромотор; 11 – распределитель; 12 – шатун; 13 – привод распределителя; 14 – трубка; 15 и 16 – скаты; 17 и 18 – стенки; 19 – кронштейн; 20 – датчик

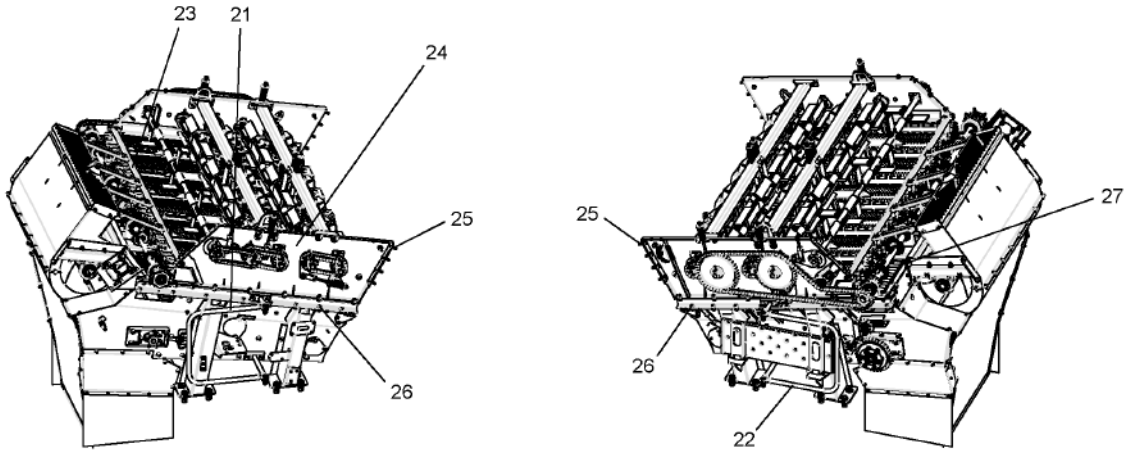


Рис. 3 – Демонтаж аппарата очистительного 21 и 22 – поручни; 23 – каркас; 24 – аппарат очистительный; 25, 26 и 27 – болты

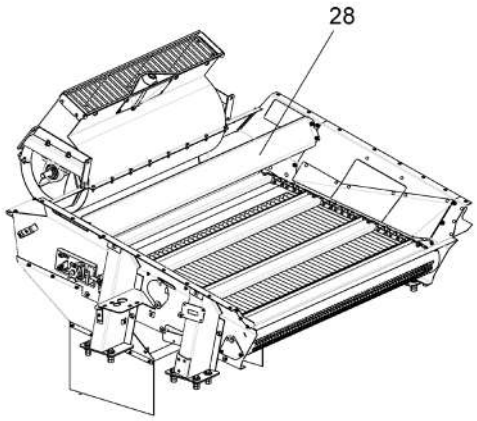


Рис. 4 – Демонтаж ската

Переоборудование початкоуборочного комбайна происходит следующим образом:

- Откинуть в верхнее положение отвод 1, демонтировать раструб 2 (рис. 1).

- Демонтировать поручни 21 и 22, каркас 23, аппарат очистительный 24, предварительно выкрутив болты 25, 26, 27 (рис. 3).

- Демонтировать скат 28 (рис. 4).

- Установить устройство транспортирующее 29, используя демонтированные детали крепления аппарата очистительного (рис. 5).

- Установить скат 30, стенки 32 и 33 при помощи прилагаемых деталей крепления 41 (болт М6-6еХ14.88.019 ГОСТ 7802-81, гайка М6-6G.8.016 ГОСТ 5915-70, шайба 6Т 65Г 06 ГОСТ 6402-70, шайба С 6.01.019 ГОСТ 6958-78) и 42 (болт М8-6еХ20.88.019 ГОСТ 7802-81, шайба С 8.01.019 ГОСТ 6958-78, гайка DIN 6923 М8-8-А-А3G). Скат 30 закрепить

на корпусе вентилятора при помощи болтов DIN 6921-M8X20-8.8-A-A3G (рис. 5).

- Установить демонтированный датчик 20 (рис. 5).
- Установить демонтированные поручни 21 и 22, используя демонтированные детали крепления (рис. 5).
- Установить демонтированный гидромотор 9, используя демонтированные детали крепления (рис. 5).
- Установить новые гидравлические рукава из комплекта сменного транспортера 34, 35 и 36 (рис. 5).
- Установить звездочку 37, закрепив ее при помощи шайбы 38 и болта 39 (рис. 5).
- Установить цепь 40 (рис. 5).
- Установить демонтированный кронштейн 19, раструб 2 (рис. 2 и рис. 1).
- Установить демонтированные фартуки 4 и 5, используя демонтированные детали крепления (рис. 2).
- Установить отвод 1 в рабочее положение (рис. 1).

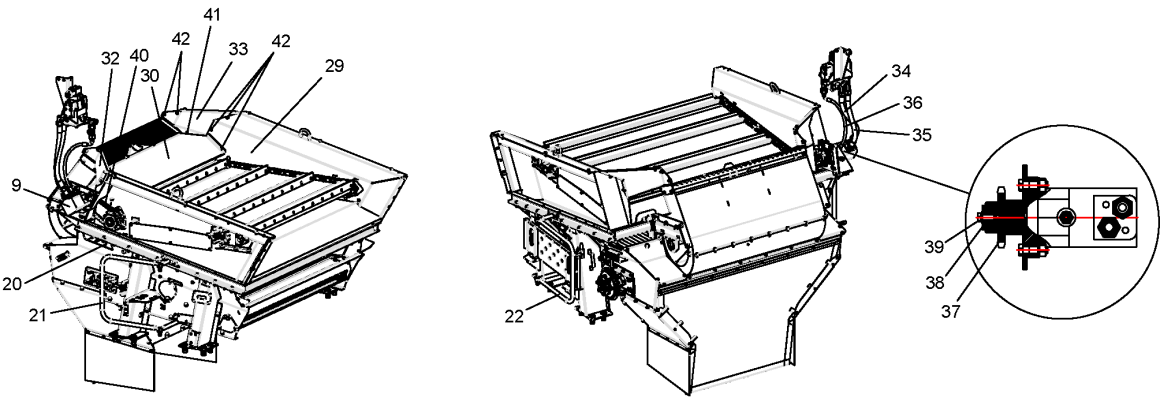


Рис. 5 – Установка устройства транспортирующего: 9 – гидромотор; 20 – датчик; 21 и 22 – поручни; 29 – устройство транспортирующее; 30 – скат; 32 и 33 – стенки; 34, 35 и 36 – гидравлические рукава; 37 – звездочка; 38 – шайба; 39 – болт; 40 – цепь; 41 – прилагаемые детали крепления (болт М6-6еХ14.88.019 ГОСТ 7802-81, гайка М6-6G.8.016 ГОСТ 5915-70, шайба 6Т 65Г 06 ГОСТ 6402-70, шайба С 6.01.019 ГОСТ 6958-78); 42 – детали крепления (болт М8-6еХ20.88.019 ГОСТ 7802-81, шайба С 8.01.019 ГОСТ 6958-78, гайка DIN 6923 М8-8-А-А3G)

Заключение: Использование предложенной техники, спроектированной по принципу применения сменных технологических блоков, способствует снижению конечной цены, увеличению годовой загрузки комбайна, уменьшения энергозатрат при уборке початков без очистки, снижению себестоимости сельскохозяйственной продукции за счет применения одного комбайна с возможностью изменения

конфигурации технологических блоков при уборке кукурузы на разных стадиях спелости.

Потребитель сможет самостоятельно докупить сменный модуль и оптимизировать работу комбайна в зависимости от необходимого ему технологического процесса. Вследствие этого нет необходимости покупать специализированную технику для разных технологических процессов, а появляется возможность объединить все в одном комбайне.

УДК 631.352

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ ОАО «БЕЛШИНА» - ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА «УЛЬТРАМЯГКИХ» ШИН – ULTRAFLEX

С. Н. Каюшников
ОАО «Белшина», г. Бобруйск, Республика Беларусь

ОАО «Белшина» — один из крупнейших производителей в шинной отрасли. Общество включает в себя: завод крупногабаритных шин, завод массовых шин, завод сверхкрупногабаритных шин, механический завод и другие подразделения, необходимые для организации производства и сбыта продукции.

В своей деятельности предприятие ориентировано на массовый выпуск качественной продукции, отвечающей всем требованиям безопасности, комфорта и экономичности, соответствующей международным стандартам DIN EN ISO 9001.2008 и ISO 16949:2009.

Современный технический уровень оснащения предприятия, квалифицированный персонал, внедрение передовых достижений науки и техники, высокая культура и организация производства гарантируют высокое качество выпускаемой продукции. Специалисты технологических и конструкторских служб предприятия постоянно работают над повышением качества продукции, обновлением и расширением ассортимента.

Ассортимент выпускаемой предприятием продукции составляет более 500 типоразмеров шин - шины для сельскохозяйственных машин и тракторов, а также для легковых, грузовых и большегрузных автомобилей, строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин, автобусов и электротранспорта.

Основными потребителями продукции являются крупнейшие предприятия республики: ОАО «Гомсельмаш», «БелАЗ», «МАЗ», «МТЗ», «МЗКТ», «Амкодор» и СЗАО «БелДжи», а так же российская компания ООО «УК Группа ГАЗ», ООО «КЗ «Ростсельмаш», АО «ПТЗ.

ОАО «Белшина» всегда открыто для взаимовыгодного сотрудничества. По заявке ОАО «Гомсельмаш» разработана сельскохозяйственная диагональная бескамерная шина 18х8,50-8 модели BEL-8 нс 8 , с индексом несущей способности 89 и категорией скорости А3, с универсальным рисунком протектора, которая предназначена для комплектации подборщика трав КВС-4-39 (КВК-1,09) производства ОАО «Гомсельмаш» и сельскохозяйственных машин аналогичного класса - как опорный элемент при копировании рельефа почвы. В 2024 году шина передана и проходит эксплуатационные испытания в реальных условиях.

Совместный контроль за работой шин осуществляют специалисты ОАО «Гомсельмаш» и ОАО «Белшина».

Разработана и проходит приемочные испытания радиальная сельскохозяйственная камерная шина 28.1R26 модели ФД-12 с увеличенными нагрузочными характеристиками для комплектации зерноуборочного комбайна КЗС-10К с тяжёлыми адаптерами. Новая шина 28.1R26 модели ФД-12 при скорости 10 км/ч выдерживает нагрузку до 10 000 кг.

В августе 2024 года передана для проведения приемочных испытаний в реальных условиях эксплуатации сельскохозяйственная радиальная камерная шина 460/85R34 (18.4R34) модели BEL-29, с индексом нагрузки 157 и категорией скорости А8, рисунком протектора повышенной проходимости. Шина предназначена для применения в составе ведущих колес комбайна зерноуборочного GS200 комплектации сельскохозяйственных машин производства ОАО «Гомсельмаш».

Ведутся работы по освоению новой шины 600/55-26,5 BEL-252, с индексом несущей способности 170 и категорией скорости А6, которая предназначена для эксплуатации на картофелеуборочных комбайнах.

Специалисты инженерно-технического центра ОАО «Белшина» работают над производством «ультрамягких» шин сельскохозяйственного назначения:

для комбайнов

VF 600/65R28 159D BEL-603
VF 800/65R32 184D BEL-643
VF 900/60R32 191A8 BEL-663
VF 1050/50R32 198D BEL-673

и для тракторов

VF 600/65R34 163D BEL-613
VF 710/70R38 178D BEL-623
VF 710/70R42 179D BEL-633
VF 800/70R38 184D BEL-653.

Шины могут работать при пониженном давлении, что положительно сказывается на состоянии обрабатываемой почвы и позволяет снизить потребление топлива. Технология производства «ультрамягких» шин используется пока не многими производителями шин.

Линейка шины с технологией VF - это сельскохозяйственные шины высокого эксплуатационного качества для сельскохозяйственной техники большой мощности. Технология VF объединяет технические инновации, обеспечивающие максимальную гибкость боковин, с увеличенным пятном контакта в режиме эксплуатации на пониженном давлении. Все это обеспечивает шине высокую несущую способность, а также равномерное распределение нагрузки, способствующее снижению давления на почву и

минимизации уплотнения почвы. Увеличенное пятно контакты сельскохозяйственных шин с технологией VF обеспечивают более эффективное сцепление благодаря большему количеству грунтозацепов, находящихся в контакте с почвой. Постоянство большого пятна контакта и равномерное распределение давления на почву являются основой великолепных флотационных свойств шин с технологией VF.

Учитывая, что шины серии VF работают на сниженном давлении с увеличением динамических деформаций, произведена оптимизация рецептур протектора, боковины и подбрекерной детали.

Для протектора применена рецептура на основе комбинации каучуков, НК+БСК+N220, которая обеспечивает высокую износостойкость и сопротивление раздиру, стойкость резины к порезам, проколам, хорошие прочностные свойства и низкие гистерезисные потери для снижения нагрева.

Из-за увеличения зоны прогиба в шинах VF применены боковина и подбрекерная деталь с повышенной усталостной выносливостью и стойкостью к разрастанию трещин при изгибе.

Конструкция каркаса обеспечивает шине отличную устойчивость к нагрузкам, гарантирующую долгий срок службы даже в условиях работы на пониженном давлении. Кроме того, технология VF устраняет эффект проседания шины, который возникает при простое техники под нагрузкой в течение длительного времени. Усиленные сельскохозяйственные шины рекомендованы к установке на мощные и сверхмощные трактора и комбайны.

Для прицепной, полуприцепной, навесной и полунавесной сельскохозяйственной технике использование шин с технологией VF в настоящее время не рассматривается.

Специалисты ОАО «Белшина» всегда готовы приступить к разработке новой шины после согласования технических характеристик шины и подтверждения экономической эффективности разработки и освоения шины. Прибыль в нынешних условиях считает каждый разумный хозяин.

УДК 620.178

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТЕРМОДИФФУЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16CRMNS5

Е. П. Поздняков[1], И. Н. Степанкин[2], А. Д. Левкина[1], Д. В. Куис[3], С. Н. Лежнев[4]

[1]Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь;

[2]ООО «ЭлитПартнер», г. Минск, Республика Беларусь;

[3] Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь;

[4] Некоммерческое акционерное общество «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный, Республика Казахстан

При решении производственных задач инженер-конструктор руководствуется справочной литературой, в которой сведены свойства материалов и способы их повышения. Износ деталей, таких как зубчатые колеса, шестерни, вал-шестерни, пальцы и др., происходит в процессе их эксплуатации под действием циклических напряжений. Определяющим свойством, влияющим на долговечность данного рода изделий, является твердость сплава [1], а также определенное соотношение структурно-фазовых составляющих [2, 3]. Максимальную твёрдость материала можно получить посредством проведения диффузионного упрочнения поверхности деталей. Наиболее распространенными материалами для изготовления данного рода деталей являются цементуемые стали 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХГР и др. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК» отлажена технология плавки новой марки стали 16CrMnS5 в соответствии с DIN EN 10084, экспортируемой в страны Европейского Союза. Однако на территории Республики Беларусь и стран ближнего зарубежья она не получила широкого распространения вследствие недостаточной информативности о ее свойствах.

Целью работы являлось сравнение влияния длительности цементации и нитроцементации на микроструктуру и свойства конструкционных низкоуглеродистых сталей 18ХГТ и 16rMnS5, химический состав которых приведен в таблице 1. Объектом исследований являлись цементованные и нитроцементованые слои. Упрочнение поверхностного слоя сталей осуществлялось путем проведения цементации или нитроцементации. Цементация поводилась в древесноугольном карбюризаторе с добавкой карбоната бария при температуре 920ºС с длительностью активного насыщения 8 и 12 часов. Нитроцементация проводилась в древесноугольном карбюризаторе с добавкой карбамида при температуре 860ºС с длительностью активного

насыщения 6 и 8 часов. Окончательные свойства формировались закалкой в масле с температуры 860 ºС и последующим низким отпуском при температуре 200 ºС в течение 1 часа. Исследование микроструктуры осуществлялось на оптическом микроскопе Метам РВ-22 по стандартной методике. Величину микротвердости диффузионных слоев определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 1,962Н. Определение объемной доли включений определяли методом случайных секущих в слое толщиной 0,2 мм от поверхности образцов. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [4] при напряжениях 1100±55 МПа.

Таблица 1 - Химический состав сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ti	P	S
18ХГТ	0,22	0,21	1,15	1,29	0,070	0,015	0,028
16CrMnS5	0,20	0,25	1,20	1,22	0,003	0,014	0,031

Металлическая матрица всех исследованных слоев после полного цикла упрочнения состоит из мартенсита и остаточного аустенита (рис. 1). В структуре цементованных слоев обеих сталей сформировалась избыточная фаза в виде карбидов (рис. 1 а-г). Анализ микроструктуры показал, что науглероженные слои стали 18ХГТ имеют более развитое строение карбидной фазы, чем аналогичные слои стали 16CrMnS5. Содержание объемной доли включений у слоев стали 16CrMnS5 в 2 раза меньше, чем у слоев стали 18ХГТ (таблица 2). При этом максимальный размер карбидов увеличен в 1,7…2 раза, а значения эффективной толщины слоя, отмеченные на уровне 5,5 ГПа (550HV), близки. Следует отметить, что микротвердость поверхности слоев стали 18ХГТ на 0,9ГПа выше, чем у стали 16CrMnS5, а сердцевины – на 0,3…0,7 ГПа.

При исследовании нитроцементованных слоев установлено, что в поверхностных слоях обеих сталей так же присутствуют включения, которые по своим размерам не превышают 10 мкм (рис. 1 д-и). Как и в случае с цементацией, в нитроцементованных слоях стали 18ХГТ формируется более развитая фаза избыточных включений, которые по размерам значительно меньше (таблице 2). Их меньшее содержание отразилось на снижении твердости поверхности. После проведения нитроцементации формируется эффективная толщина диффузионно-упрочненного слоя, которая в 2 раза меньше у слоев стали 18ХГТ и в 2,3 раза у слоев стали 16CrMnS5.

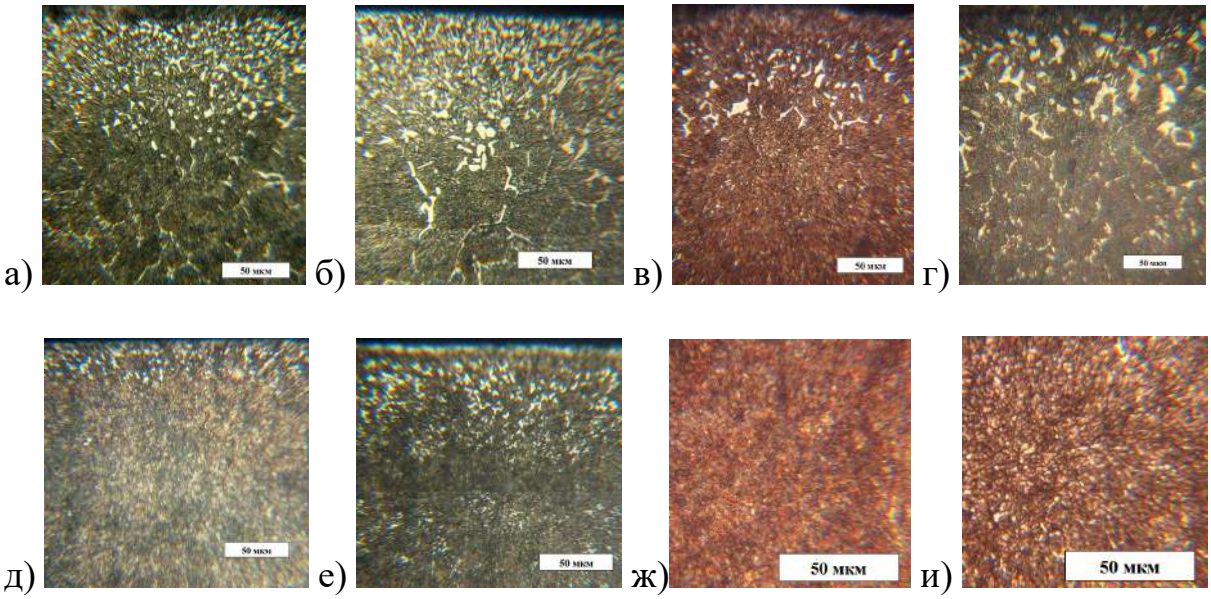


Рис. 1 – Микроструктура поверхностных слоев стали 18ХГТ (а, б, д, е) и 16CrMnS5 (в, г, ж, и): а, в – 8-часовая цементация; б, г – 12-часовая цементация; д, ж – 6-часовая нитроцементация; е, и – 12-часовая нитроцементация

Таблица 2 - Показатели термодиффузионно-упрочненных слоев сталей

Марка стали	Вид диффузионного насыщения	Длительность активного насыщения	Показатель			
			Микротвердость поверхности / сердцевины, ГПа	Эффективная толщина слоя, мм	Объемная доля включений, об.%	Максимальный размер включений, мкм
18ХГТ	Цементация	8	8,0 / 4,5	1,4	35	20
		12	8,4 / 4,5	1,6	50	30
	Нитроцементация	6	7,3 / 4,5	0,75	10	10
		8	7,3 / 4,5	0,75	17	10
16CrMnS5	Цементация	8	7,1 / 3,8	1,3	18	40
		12	7,5 / 4,2	1,5	26	50
	Нитроцементация	6	6,9 / 3,3	0,55	1	3
		8	7,5 / 3,5	0,65	3	5

После проведения испытаний на контактную усталость установлено, что износ слоев стали 18ХГТ и 16CrMnS5 происходит по различным зависимостям (рис. 2).

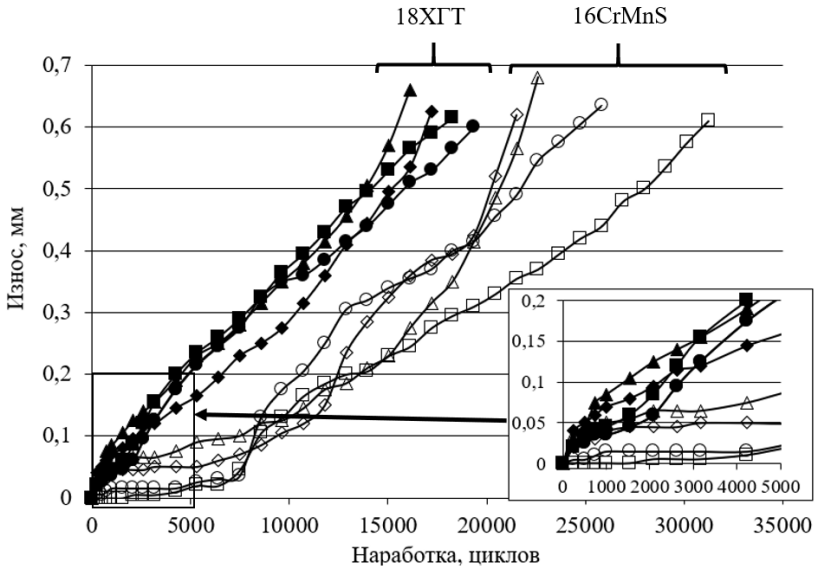


Рис. 2 – Зависимости износа от числа циклов нагружения термодиффузионно-упрочненных слоёв стали 18ХГТ (темные маркеры) и 16CrMnS5 (светлые маркеры) при амплитуде напряжений 1100 МПа: ●, ○ – 8-часовая цементация; ■, □ – 12-часовая цементация; ♦, ◊- 6-часовая нитроцементация; ▲, Δ – 12-часовая нитроцементация

Изнашивание всех слоёв стали 18ХГТ характеризуются линейной зависимостью. При первых воздействиях контртела (около 1000 циклов) на поверхность упрочненных образцов в упрочненном сплаве образуются трещины контактной усталости, которые по мере их накопления и роста приводят к формированию крупных питтингов (рис. 3 а). Их формирование способствует уменьшению контактной площади образцов, увеличению действующих напряжений и интенсивному изнашиванию сплава. Максимальная стойкость (19300 циклов) при достижении глубины лунки износа 0,6 мм. отмечена у цементованного слоя, подвергнутого 8-часовому насыщению.

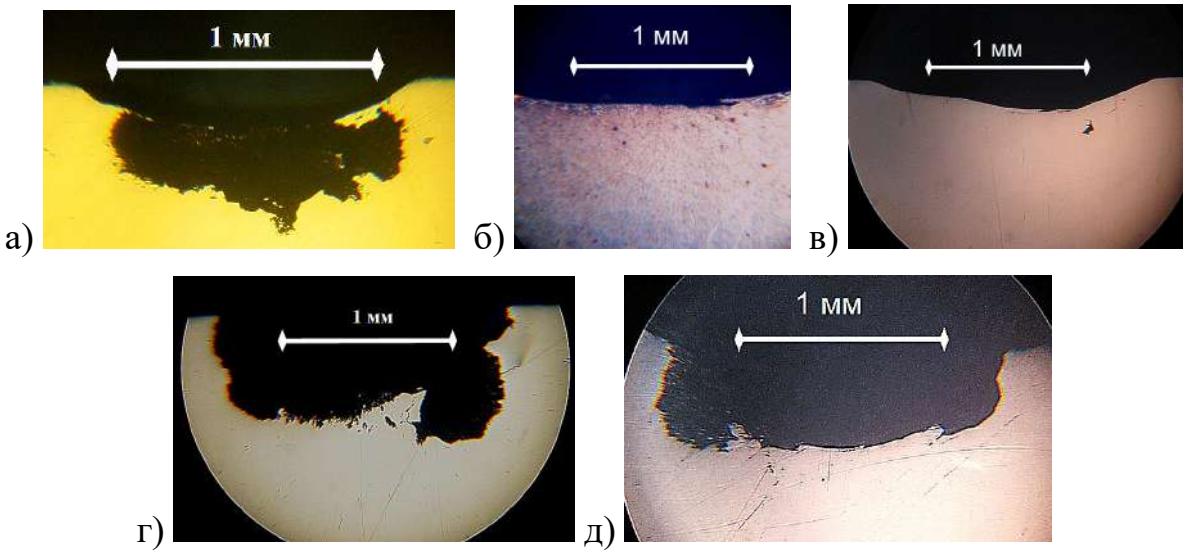


Рис. 3 – Особенности разрушения сталей: а, г – 18ХГТ; б, в, д – 16CrMnS5

У всех слоев стали 16CrMnS5 на кривых износа имеется этап, характеризующийся минимальным (установившимся) износом. Для цементованных слоев этот этап длится 7500 циклов нагружения при достижении глубины лунки износа 0,05 мм. Изнашивание происходит за счет удаления мелких элементов деформированного сплава с контактной поверхности образцов (рис. 3 б). У нитроцементованных образцов стали 16CrMnS5 в начале отмечена высокая скорость изнашивания – этап приработки. Это явление свидетельствует о том, что на поверхности образцов может сформироваться дефектная структура с низкой твердостью [5]. После этого наступает этап минимального износа, длительность которого составила 7500 циклов нагружения при достижением глубины износа 0,10 мм. для образцов после 6-часовой нитроцементации и 0,07 мм после 8-часовой. По мере увеличения числа циклов нагружения в подповерхностных слоях сталей формируются питтинги (рис. 3 в). На данном этапе в материале накапливаются трещины контактной усталости и скорость изнашивания возрастает. Малая толщина эффективного слоя и низкая твердость сердцевины нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5 (таблица 2) формируют условия, приводящие к возникновению катастрофического этапа изнашивания.

При достижении глубины лунки износа 0,6 мм в упрочненном материале всех исследованных слоев обнаружено большое количество повреждений материала (рис. 3 г, д). Максимальную износостойкость показал слой стали 16CrMnS5 после 12-часовой цементации при наработке 31200 циклов нагружения.

Полученные результаты исследований позволяет сделать следующие выводы:

- Проведение диффузионного упрочнения формирует в слоях сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 мартенситно-аустенитную матрицу с включениями. В слоях стали 18ХГТ формируются более мелкие включения с большим содержанием объемной доли, чем в аналогичных слоях стали 16CrMnS5.
- Микротвердость поверхности и сердцевины у стали 18ХГТ выше, чем у стали 16CrMnS5. У нитроцементованных слоев обеих сталей наблюдается снижение микротвердости поверхности по отношению к цементованным слоям.
- Не смотря на меньшую твердость поверхностного слоя и сердцевины и содержание более крупных включений диффузионные слои стали 16CrMnS5 показали повышенную износостойкость по отношению к аналогичным слоям стали 18ХГТ.
- Зависимости изнашивания слоев стали 16CrMnS5 имеют этап установившегося износа, длительность которого составила порядка 7500 циклов нагружения при амплитуде контактных напряжений 1100 МПа. Максимальная износостойкость при достижении глубины лунки износа 0,6

мм. зарегистрирована у цементованного слоя 16CrMnS5 после 12-часого насыщения. Его наработка достигла 31200 циклов нагружения. Повышение стойкости по отношению к слою стали 18ХГТ после 8-часовой цементации, показавшего максимальную износостойкость, произошло в 1,6 раза.

- Полученные результаты исследований термодиффузионно-упрочненных слоев сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 носят рекомендательный характер для предприятий машиностроительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали: справочник / Ю.А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.

2. Поздняков Е. П. Влияние длительности цементации на структуру и свойства конструкционных среднеуглеродистых сталей 40Х, 35ХГСА и 42CrMoS4 / Е.П. Поздняков, И.Н. Степанкин // Литье и металлургия. – 2024. - №1, - С. 69-77

3. Степанкин И. Н. Контактное изнашивание инструментальных сталей Х12М, 9ХС и У8А / И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2015. – № 3. – С. 19-24.

4. Устройство для испытания на контактную усталость и износ: полез. модель BY 8260 / И.Н. Степанкин, И.А. Панкратов, В.М. Кенько, Е.П. Поздняков, Степанкина Л.В. – Опубл. 30.06.2012

5. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.

УДК 658.512

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ И ПРОБЛЕМЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

А. В. Хаданович
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

Рынок сельскохозяйственной техники разнообразен и включает широкий спектр машин, используемых для различных сельскохозяйственных операций. Эти машины являются наукоёмкими и технологически сложными изделиями, состоящими из множества деталей, каждая из которых играет важную роль в обеспечении функциональности, эффективности и надежности.

На предприятии, специализирующемся на производстве сельскохозяйственной техники, наблюдается высокий уровень разнообразия выпускаемой продукции. Постоянное совершенствование продукции сопровождается разработкой и внедрением различных вариантов узлов и деталей, что является важной частью процесса инноваций. Эти изменения направлены на улучшение функциональных характеристик, повышение надежности и эффективности сельскохозяйственной техники.

Однако увеличение числа вариантов узлов и деталей создает ряд проблем, из которых можно выделить несколько основных аспектов:

1 Взаимозаменяемость.

При разработке новых узлов и деталей важно учитывать их совместимость с существующими. Недостаточное внимание к этому аспекту может привести к проблемам со взаимозаменяемостью деталей и, как следствие, к увеличению времени простоя машин и затрат на ремонт.

2 Квалификация персонала.

Постоянное совершенствование техники требует регулярного обучения и повышения квалификации сотрудников по продажам и сервисному обслуживанию, чтобы они могли эффективно применять новые узлы и детали.

3 Номенклатура ДСЕ.

Постоянное совершенствование техники сопровождается постоянным увеличением количества ДСЕ находящихся в производстве, что приводит к необходимости поддерживать производство устаревших ДСЕ для запчастей.

4 Разработка КД.

При совершенствование техники необходимо выпускать новую КД, что требует применения новых обозначений. Новые обозначения не всегда можно присвоить в соответствии с имеющимися правилами входимости и выбрать однотипным. Автоматическое формирование спецификаций CAD системой приводит к изменению позиций на сборочном чертеже, сложностям перевыпуска чертежей, дефициту обозначений, сложностям в ориентировании при поиске КД.

Перечисленные проблемы требуют внедрения комплексного подхода к организации производственных процессов.

Стандартизация и учет взаимозаменяемости.

Существующие стандарты и рекомендации по присвоению обозначений КД часто размыты и не связаны напрямую со взаимозаменяемостью деталей. Это приводит к ряду проблем в процессе производства и эксплуатации сельскохозяйственной техники.

На практике взаимозаменяемость деталей отслеживается только на этапе извещения об изменении. На этом этапе проводится анализ совместимости новых или модифицированных деталей с существующими моделями техники, чтобы предотвратить возникновение проблем в эксплуатации. Однако после этого этапа взаимозаменяемость не упоминается в последующих документах, что приводит к следующим трудностям:

1 Отсутствие единой системы учета. В документации не указано, какие детали могут быть взаимозаменяемыми. Это затрудняет процесс ремонта и обслуживания техники.

2 Увеличение риска и ошибок. Отсутствие информации о взаимозаменяемости повышает риск использования несовместимых деталей, что может привести к увеличению времени простоя машин и необходимости проведения дополнительных ремонтных работ.

3 Сложности в логистике и управлении запасами. Неясная информация о взаимозаменяемости деталей усложняет управление складскими запасами и логистику, что может привести к избыточному хранению или нехватке необходимых деталей.

4 Недостаточная подготовка персонала. Не имея информации о взаимозаменяемости, специалисты по продажам и специалисты сервисных служб без прямой консультации с ведущим конструктором не способны эффективно работать.

Классификация изменений

Изменения, вносимые в КД, можно разделить на основные категории: взаимозаменяемые и невзаимозаменяемые, а также конструктивные и неконструктивные. Изменения могут быть реализованы с заменой чертежа или без замены чертежа.

1 Взаимозаменяемые изменения не влияют на совместимость деталей с существующими узлами и агрегатами. Такие изменения позволяют использовать новые детали без необходимости модификации других компонентов.

Примеры: Улучшение материала, из которого изготовлена деталь, изменение метода обработки поверхности без изменения геометрии детали.

2 Невзаимозаменяемые изменения влияют на совместимость деталей и требуют модификации других компонентов или узлов для их использования. Такие изменения могут существенно влиять на конструкцию и функциональность техники.

Примеры: Изменение размеров, формы или расположения крепежных отверстий, требующее переработки сопрягаемых деталей.

3 Конструктивные изменения необходимы для изменения функциональных характеристик и повышения надежности. Это могут быть как взаимозаменяемые, так и невзаимозаменяемые изменения.

Примеры: Изменение геометрии детали, добавление новых элементов конструкции, изменение схемы.

Конструктивные изменения должны реализовываться заменой чертежа и изменением обозначения иначе изменение будет не отслеживаемым и фактически может быть не учтено.

4 Неконструктивные изменения обычно касаются технологических процессов или материалов, используемых при производстве, но не затрагивают основные конструктивные характеристики детали, так же касаются устранения помарок и недочетов.

Примеры: Изменение технологии покрытия поверхности, использование альтернативных узлов и материалов при сохранении геометрии и функциональности.

Неконструктивные изменения не требуют замены чертежей и обозначений.

Каталоги, устаревшие детали и узлы

Комбайны комплектуются каталогом деталей и сборочных единиц, который актуален на дату реализации. Однако последующие усовершенствования техники не отражаются в этих каталогах, что создает проблемы для потребителей.

Основные проблемы:

Заказывая запчасти по имеющемуся каталогу, потребитель получит устаревшие детали.

Заказ устаревших деталей приводит к увеличению времени простоя техники, так как может потребоваться дополнительное время на их изготовление

Заказ устаревших деталей негативно сказывается на производительности и надежности техники.

Повторные ошибочные заказы и замены деталей увеличивают затраты как для потребителей, так и для производителей, которые вынуждены управлять возвратами и обеспечивать наличие актуальных запасных частей.

Рекомендации по улучшению системы обозначений и учета взаимозаменяемости

1 Необходимо запретить практику деления изменений на значительные более 20% и незначительные до 20%.

2 При внесении изменений в КД и присвоении обозначений необходимо пользоваться предлагаемым правилом взаимозаменяемости, которое должно отражаться в обозначении КД.

Правило: обозначение КД должно содержать два индекса, первый буквенный определяет взаимозаменяемость, второй цифровой определяет счет взаимозаменяемых изменений.

Пример:

1 Обозначения взаимозаменяемых ДСЕ ХХХ1234567 Б4, ХХХ1234567 Б5, ХХХ1234567 Б6. Предыдущие версии КД и соответствующая технологическая документация обязательно аннулируются. При реализации запчастей доступен будет только один вариант.

2 Обозначения невзаимозаменяемых ДСЕ ХХХ1234567 А1, ХХХ1234567 Б1, ХХХ1234567 В1. Предыдущие версии КД и соответствующая технологическая документация не аннулируются и остаются для изготовления запасных частей. При реализации запчастей доступен будет только один вариант.

Вывод

Предложенное правило может применяться в том числе и неквалифицированными сотрудниками, обеспечивая следующие преимущества:

- Устранение путаницы и вопросов, связанных с запасными частями.
- Упрощение поиска ДСЕ в архивах и альбомах.
- Сокращение времени на корректировку КД сборочных единиц.
- Исключение дефицита обозначений КД.
- Упорядочивание обозначений согласно входимости.
- Исключение использования устаревших ДСЕ в качестве запасных частей.

Исключение в основном производстве КД, ТД, оснастки и материалов.

Таблица 1 - Реализации предложенного правила.

Изменения	Без замены чертежа	С заменой чертежа
Взаимозаменяемые	Изменение - не конструктивное. Обозначение - не меняется. Модель - создается новая ревизия. Использовать: 1 при замене сборочного чертежа и спецификации верхнего уровня; 2 при замене одного из листов; 3 при добавлении исполнений; 4 при устранения помарок и недочетов	Изменение - конструктивное. Обозначение - изменяется цифрой индекс. Модель - создается новая. Чертеж с предыдущим индексом аннулируется.
Невзаимозаменяемые	Так делать нельзя	Изменение - конструктивное. Обозначение - изменяется буквенный индекс. Модель - создается новая. Чертеж с предыдущим индексом не аннулируется и остается для изготовления запчастей.

УДК 621.43

ПОДБОР ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ДИЗЕЛЯ MMZ-2.5 DTI

А. В. Предко[1], С. Г. Беть[2]
[1]ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Эффективные показатели работы современного дизельного двигателя на номинальном режиме, вид внешней скоростной (ВСХ) и параметры нагрузочных характеристик во многом зависят от согласованной работы поршневой части двигателя и турбокомпрессора (ТКР). ВСХ формируется под требования потребителей двигателей, при работе по нагрузочным характеристикам необходимо стремится к снижению удельного расхода топлива при всех режимах работы дизеля.

В качестве исходных данных используем ВСХ и расчетные нагрузочные характеристики для частот вращения коленчатого вала n=1000, 1250…3000 мин$^{-1}$ (см. рис. 1а). При построении нагрузочных характеристик точек приняты следующие допущения:

- потери давления на впуске, воздухоочистителе $\Delta p_{вп}$ и охладителе наддувочного воздуха $\Delta p_{онв}$, и выпуске $\Delta p_{вып}$ зависят от $G_в$

$$\Delta p_x = \Delta p_{\text{ном}} \left(\frac{G_{\text{в}\,x}}{G_{\text{в ном}}} \right)^2 ,$$

где Δp_x, $G_{в\ x}$ – параметры в расчетной точке, $\Delta p_{ном}$, $G_{в\ ном}$ – параметры на номинальном режиме работы двигателя (в нашем случае n=3000 мин$^{-1}$, N_e=100 кВт);

- по нагрузочным характеристикам N_e снижается с шагом 20% (100%, 80%...20%) от значения ВСХ, коэффициент избытка воздуха α равномерно возрастал как (1, 1/0.85, … ,1/0.40) к значению по ВСХ;

- удельный эффективных расход топлива g_e изменяется только по ВСХ, по нагрузочной характеристике остается постоянным;

- коэффициент наполнения η_v по частоте вращения и по нагрузке изменяется по параболическим зависимостям, основанным на экспериментальных данных.

Для сопоставления расходных характеристик поршневого двигателя и турбокомпрессора построим поле значений степени повышения давления воздуха $\pi_к$ от расхода воздуха $G_в$ двигателем на всех режимах работы используя следующие зависимости.

Расход воздуха

$$G_{\text{в}} = g_e \cdot N_e \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot \varphi ,$$

где g_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч); N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; α – коэффициент избытка воздуха; L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, L_0=14,4 кг/кг; φ – коэффициент продувки, принимаем φ=1,05.

Степень повышения давления в компрессоре

$$\pi_к = \frac{p_к}{p_0 - \Delta p_{вп}},$$

где $p_к$ – давление воздуха на выходе из компрессора; p_0 – давление окружающей среды, p_0=101325 Па.

Давление воздуха на выходе из компрессора

$$p_к = p_{онв} + \Delta p_{онв},$$

где $p_{онв}$ – давление воздуха после охладителя (на входе в двигатель), определяемое как функция плотности $\rho_{онв}$ и температуры $T_{онв}$ воздуха после охладителя.

$$p_{онв} = \rho_{онв} \cdot T_{онв} \cdot R,$$

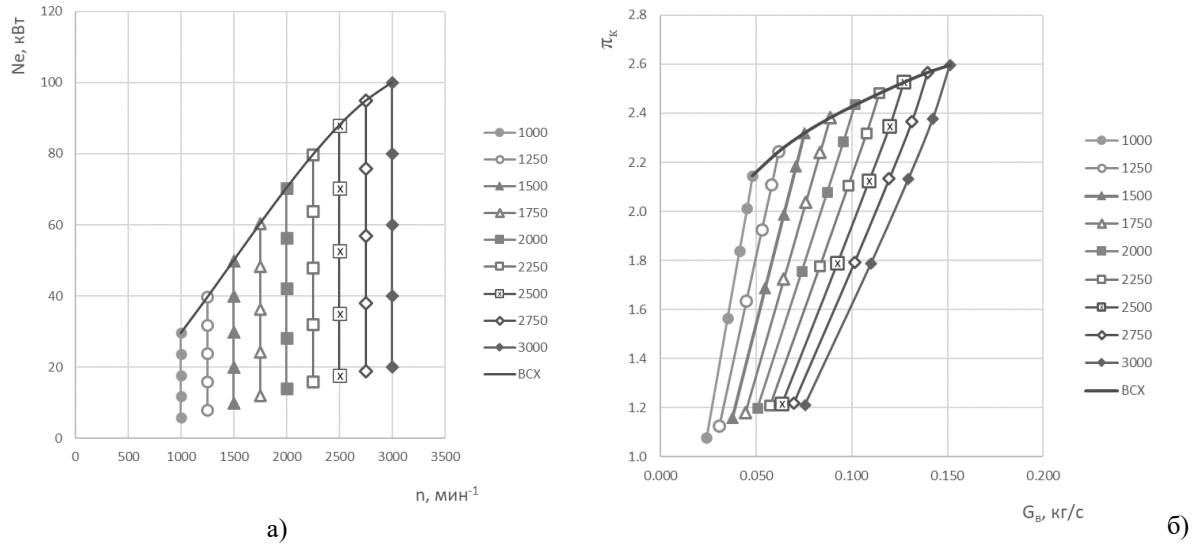
R – газовая постоянная, для воздуха R=287 Дж/(кг·К).

Плотность воздуха после охладителя на входе в двигатель

$$\rho_{онв} = \frac{120 \cdot 10^3 \cdot G_в}{V_л \cdot n \cdot \eta_v},$$

где $V_л$ – рабочий объем двигателя, $V_л$=2,5 л.

Результаты расчета поля $\pi_к = f(G_в)$ представлены на рис. 1 б.



а) б)

Рис. 1 – Поля рабочих точек дизеля MMZ-2.5DTI: а - мощности N_e от частоты вращения n; б - степени повышения давления $\pi_к$ от расхода воздуха $G_в$

Расходная характеристика компрессора представляет собой зависимости степени повышения давления заторможенного потока $\pi_к^*$ и адиабатного КПД $\eta_к^{ад*}$ от приведенного расхода воздуха $G_{к.пр}$ при нескольких приведенных частотах вращения ротора $n_{р.пр}$.

Приведенные расход воздуха и частота вращения рассчитываются по формулам

$$G_{пр} = G_в \frac{p_0}{p_1^*}\sqrt{\frac{T_1^*}{T_0}} \text{ и } n_{пр} = n\sqrt{\frac{T_0}{T_1^*}},$$

где p_0=101325 Па и T_0=288 К – стандартные условия испытаний.

Слева характеристика ограничена линией помпажа – компрессор не может обеспечить такой малый расход воздуха при относительно большой степени повышения давления, на лопатках компрессора происходит цикличное разделение потока с обратным течением и закольцовыванием потоков [1, 2].

Справа характеристика ограничивается газодинамическим запиранием проточной части компрессора – потери на прокачивание воздуха настолько велики, что при существенном росте давления увеличение расхода практически не наблюдается, работа турбокомпрессора на этих режимах характеризуется низкими значениями КПД.

Сверху характеристика ограничивается кривой предельной скорости колеса, обусловленной прочность материала. На больших частотах вращения двигателя запас по помпажу увеличивается, но точки совместной работы попадают в зоны низких значений адиабатного КПД компрессора. Поэтому при подборе ТКР к двигателю необходимо добиться того, чтобы точки совместной работы по ВСХ находились в зоне достаточно высоких КПД, но при этом на всех режимах обеспечивался достаточный коэффициент устойчивости (запас по помпажу) [1]:

$$К_{уст} = \left[\frac{(\pi_к/G_в)_{помп}}{(\pi_к/G_в)} - 1\right]\cdot 100\%,$$

где $(\pi_к/G_в)_{помп}$ – отношение степени повышения давления к расходу воздуха в точке пересечения линии постоянной частоты вращения компрессора с линией помпажа; $(\pi_к/G_в)$ – то же в рабочей точке компрессора.

Коэффициент устойчивости должен быть не менее 15% на номинальном режиме и не менее 8% на всех остальных режимах. Данный коэффициент определяем для двух режимов работы дизеля, номинального (n=3000 мин$^{-1}$, N_e=100 кВт) и генераторного (n=1500 мин$^{-1}$, N_e=50 кВт).

Рассмотрим совместные расходные характеристики дизеля MMZ-2.5DTI и турбокомпрессоров АО «Турбокомплект», характеристики которых взяты из каталога предприятия [3]. Результаты представлены на рис. 2 и в таблице 1.

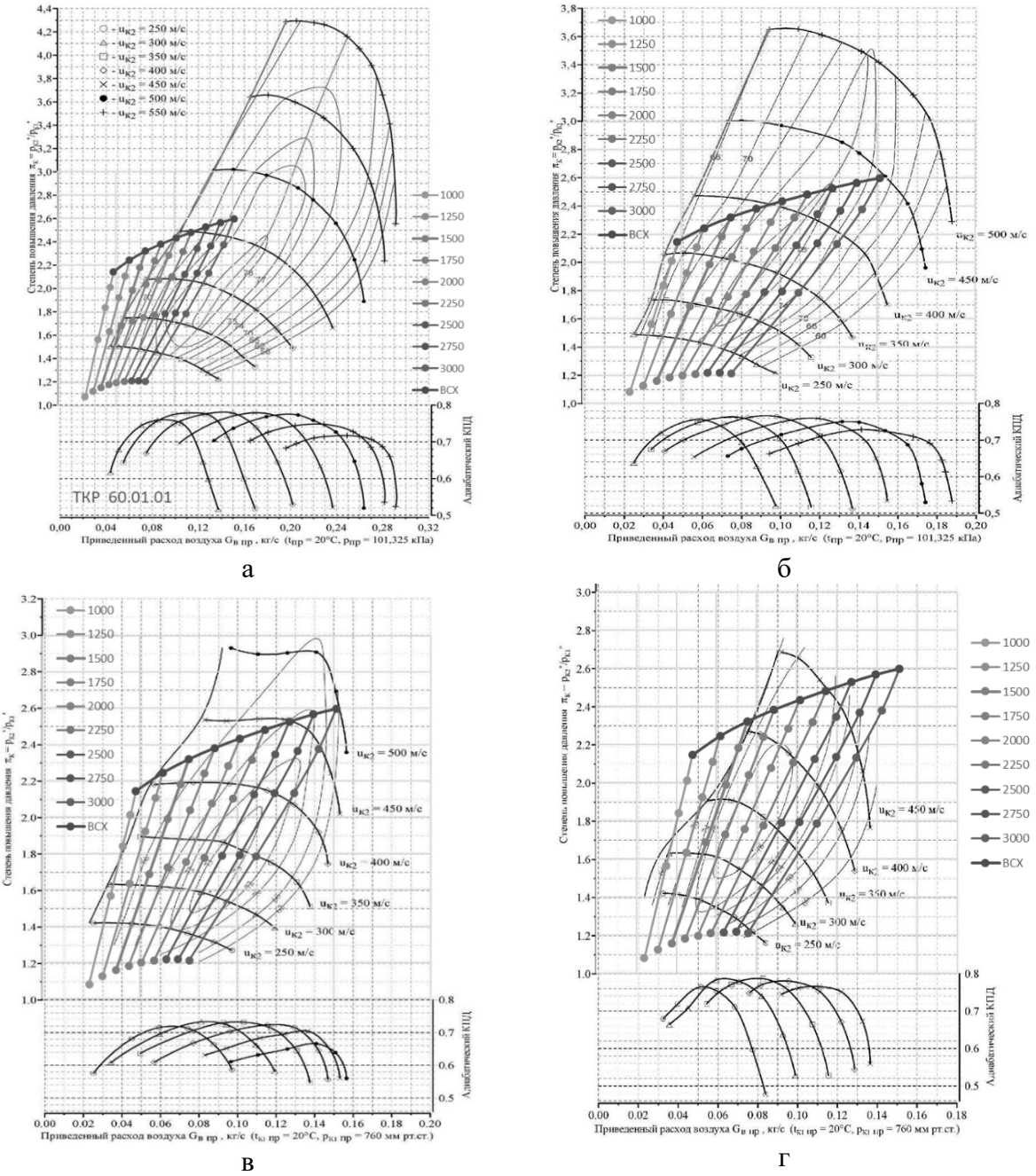


Рис. 2 – Совмещенные характеристики дизеля MMZ-2.5DTI и ТКР АО «Турбокомплект»: а - ТКР 60.01.01; б - ТКР 50.09.14-01; в - ТКР 50.01.03; г - ТКР 50.07.10

Таблица 1 – Значение $K_{уст}$ для различных ТКР на номинальном и генераторном режимах работы дизеля MMZ-2.5DTI

Режим	ТКР 60.01.01	ТКР 50.09.14(-01)	ТКР 50.01.03	ТКР 50.07.10
номинал	42,6%	142,0%	84,3%	-
генераторный	-	47,2%	6,2%	-

Турбокомпрессор 60.01.01 является переразмеренным. Расход воздуха и степень повышения давления на режиме максимальной мощности находится в левой части диаграммы (рис. 2 а). Компрессор спроектирован на большие расходы. Параметры воздушного потока при работе дизеля на частотах вращения коленчатого вала меньше 2000 мин$^{-1}$ находятся глубоко в зоне помпажа.

Характеристика ТКР 50.09.14 (-01) (рис. 2б) более соответствует расчетной расходной характеристике дизеля MMZ-2.5DTI. Точка максимальной мощности двигателя по ВСХ лежит далеко от линии запирания, адиабатический КПД компрессора в этой точке выше 72%. Коэффициенты устойчивости (запаса по помпажу) имеют приемлемые значения (таблица 1).

Совмещение характеристики дизеля MMZ-2.5DTI и ТКР 50.01.03 (рис. 2 в) показало, что характеристика двигателя практически полностью вписалась в характеристику компрессора. Но точка максимальной мощности дизеля по ВСХ (N_e=100 кВт, n=3000 мин$^{-1}$) лежит на границе зоны запирания, с адиабатическим КПД 62%. Для режима максимальной мощности коэффициент устойчивости достаточный, для режима работы генератора несколько ниже рекомендуемых 8% [2]. На режиме работы на минимальной частоте вращения n=1000 мин$^{-1}$ ТКР 50.01.03 не обеспечивает требуемый расход воздуха.

Характеристика ТКР 50.07.10 гораздо уже расходной характеристики дизеля (см. рис. 2г). Турбокомпрессор ТКР 50.07.10 не способен обеспечить требуемый расход воздуха на интересующих нас режимах.

Выводы. В результате сопоставления характеристики дизеля MMZ-2.5DTI и турбокомпрессоров производства АО «ТУРБОКОМПЛЕКТ» определено, что требованиям расчетных характеристик дизеля в большей степени соответствует ТКР 50.09.14 (-01). Коэффициент устойчивости $K_{уст}$ на режиме максимальной мощности составляет 142%, на режиме генератора 47%. Адиабатический КПД компрессора на режиме максимальной мощности превышает 72%. ТКР 50.09.14 (-01) имеет достаточный потенциал для форсирования дизеля MMZ-2.5DTI как по частоте вращения, так и по удельной мощности (запас по расходу и степени повышения давления), его можно рекомендовать для установки на дизель MMZ-2.5DTI и формирования требуемой ВСХ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синявский В. В. / Форсирование двигателей. Системы и агрегаты наддува: учеб. пособие/ В.В. Синявский, И.Е. Иванов. – М.: МАДИ, 2016. - 112с.

2. Encyclopedia of Automotive Engineering, Online © 2014 John Wiley & Sons, Ltd.

3. https://www.kamturbo.ru/gabaritnye-chertezhi-i-harakteristi.

УДК 621.791.92

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

В. П. Самусев, М. С. Захаренко
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Лучевые методы сварки находят успешное применение в различных отраслях промышленности. Среди этих методов наибольшее распространение получила электронно-лучевая сварка (ЭЛС), позволяющая соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 до 400 мм. Электронно-лучевая сварка относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями. Малый объем литого металла и кратковременность теплового воздействия при ЭЛС обеспечивают незначительные термические деформации соединяемых деталей, во многих случаях не превышающие допусков на механическую обработку. Импульсный режим сварки, при котором тепло вложение дополнительно регулируется частотой и длительностью сварочных импульсов, широко применяется при сварке стыков, расположенных вблизи от спаев металла со стеклом или керамикой, при герметизации изделий электронной техники и приборостроительной промышленности, тепловыделяющих элементов реакторов и т. п. Отклонение потока электронов в магнитном или электрическом поле осуществляется практически безынерционно. Это дает возможность перемещать пучок по поверхности свариваемой детали с помощью электромагнитной отклоняющей системы по прямой линии, окружности, прямоугольнику или другому сложному контуру. При этом многие сварочные задачи могут решаться без перемещения пушки или обрабатываемого изделия и сравнительно легко программироваться [1].

Электронно-лучевая сварка рассматривается как наиболее перспективный способ соединения изделий из тугоплавких металлов; изделий из термически упрочненных материалов, когда нежелательна, затруднена или невозможна последующая термообработка; изделий после завершающей механической обработки при необходимости обеспечения минимальных сварочных деформаций; ряда толстостенных и толстолистовых конструкций ответственного назначения [4].

При сварке электронным лучом проплавление принимает форму конуса (рис. 1). Плавление металла происходит на передней стенке кратера, а расплавляемый металл перемещается по боковым стенкам к задней стенке, где и кристаллизуется.

В статье [3] были выделены основные факторы проплавления во время электронно-лучевой сварке:

- давлением потока электронов;
- характером выделения теплоты в объеме твердого металла;
- реактивным давлением испаряющегося металла, вторичных и тепловых электронов;
- излучением.

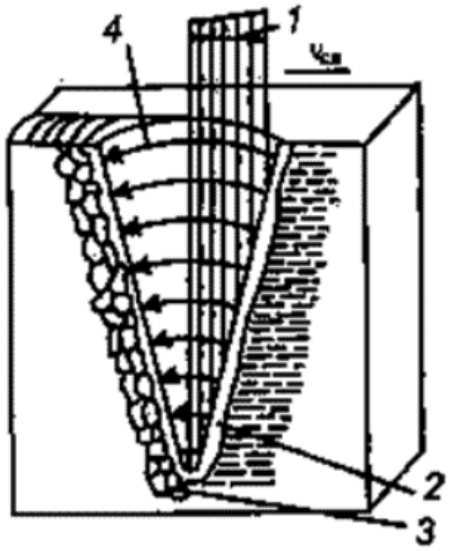


Рис. 1 – Схема переноса жидкого металла при электронно-лучевой сварке: 1 - электронный луч; 2 - передняя стенка кратера; 3 - зона кристаллизации; 4 - путь движения жидкого металла

Также можно проводить сварку непрерывным электронным лучом. Но при сварке легкоиспаряющихся металлов - например, алюминия или магния - эффективность электронного потока и количество выделяющейся в изделии теплоты уменьшаются из-за потери энергии на ионизацию паров металлов. Тогда лучше вести сварку импульсным электронным лучом с большой плотностью энергии и частотой импульсов 100… 500 Гц.

В результате глубина проплавления повышается. Правильная установка соотношения времени паузы и импульса позволяет сваривать очень тонкие листы. Теплоотвод во время пауз уменьшает протяженность зоны термического влияния. Однако при этом возможно образование подрезов, которые можно устранить сваркой колеблющимся или расфокусированным лучом [4].

По результатам работы [3] были выделены основные преимущества электронно-лучевой сварки: высокая концентрация ввода теплоты в изделие, малое количество вводимой теплоты, отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами. Рассмотрим каждое преимущество по отдельности.

Высокая концентрация ввода теплоты в изделие. Теплота выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла. Фокусировка электронного луча может создать пятно нагрева диаметром 0,0002… 5 мм - это позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. Так можно получить швы, в которых соотношение глубины провара к ширине до 20:1 и более. Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д. Уменьшение протяженности зоны термического влияния снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне.

Малое количество вводимой теплоты**.** Обычно для равной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке нужно вводить теплоты в 4…5 раз меньше, чем при дуговой. В результате резко снижаются коробления изделия.

Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами. Наоборот, в ряде случаев наблюдается дегазация металла шва и повышение его пластических свойств. Это приводит к высокому качеству сварных соединений на таких химически активных металлах и сплавах, как ниобий, цирконий, титан, молибден и др. Можно также достичь хорошего качества электронно-лучевой сварки на низкоуглеродистых, коррозионностойких сталях, меди и медных, никелевых, алюминиевых сплавах [2].

Так есть и недостатки электронно-лучевой сварки.

- сложность и высокая стоимость оборудования;
- необходимость наличия вакуумных камер, что ограничивает размеры свариваемых изделий;
- вредное рентгеновское излучение в процессе ЭЛС;
- необходимость высококвалифицированного персонала.

В работе [1] были исследованы параметры режима ЭЛС являются сила тока, ускоряющее напряжение, скорость сварки, ток фокусировки. Проплавляющая способность электронного луча определяется в основном величиной ускоряющего напряжения и в меньшей мере величиной тока электронного луча. Ток в фокусирующей магнитной линзе влияет на размеры пятна нагрева и, следовательно, на величину удельной тепловой энергии. Изменяя ток фокусировки, можно изменить ширину ванны и глубину проплавления [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Михальченков А. В., Цыплаков Р. Ш., Успенский Н. В. Электронно-лучевая сварка. Преимущества и недостатки, Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017, 1, 412–14.

2. Львов В. А. Электронно-лучевая сварка крупногабаритных изделий ракетостроенияна современном уровне. Материалы XXIII

Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения», Красноярск, 2019, 1, 260–261.

3. Технологии и оборудование ЭЛС 2011 г.: докл. Санкт-Петерб. междунар. науч.-техн конф. (24-26 мая 2011 г., Санкт-Петербург). СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2011.

4. «ROBUR XNTERNATIONAL» - [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://www.robur.ru/articles/elektronno-luchevaya-svarka. Дата доступа: 10.10.2024

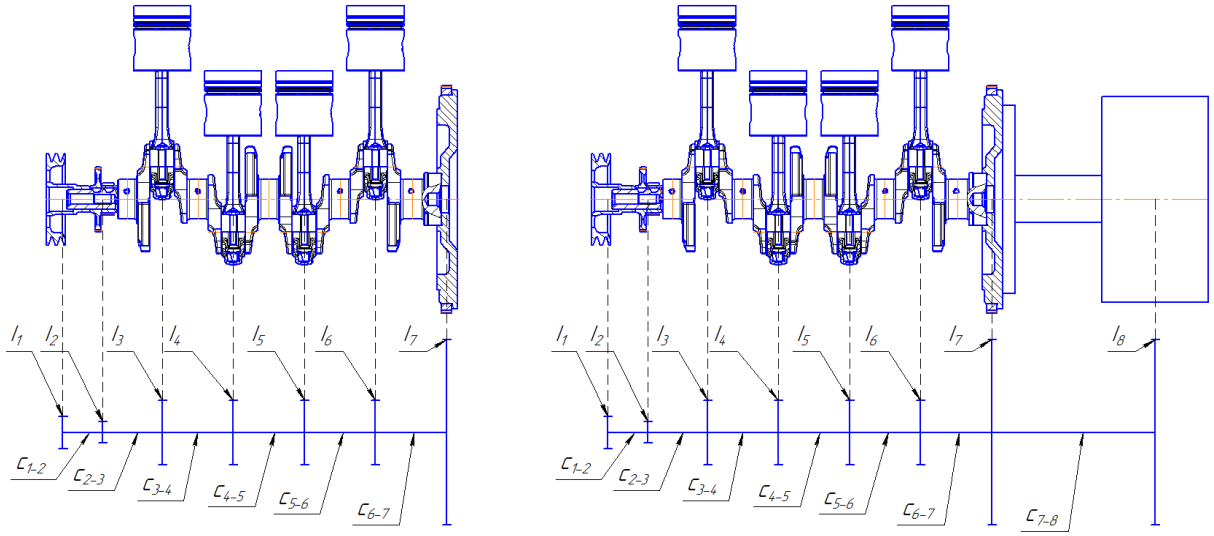
УДК 621.43

ВЛИЯНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРУТИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ

А. А. Никишев, А. Н. Петрученко
ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь

При проведении стендовых испытаний двигателей маховик, как правило, соединяется с балансирной машиной через карданный вал и упругую муфту. Включение этих компонентов в крутильную систему оказывает значительное влияние на параметры собственных крутильных колебаний и может усложнить интерпретацию результатов измерений закручивания носка коленчатого вала относительно маховика.

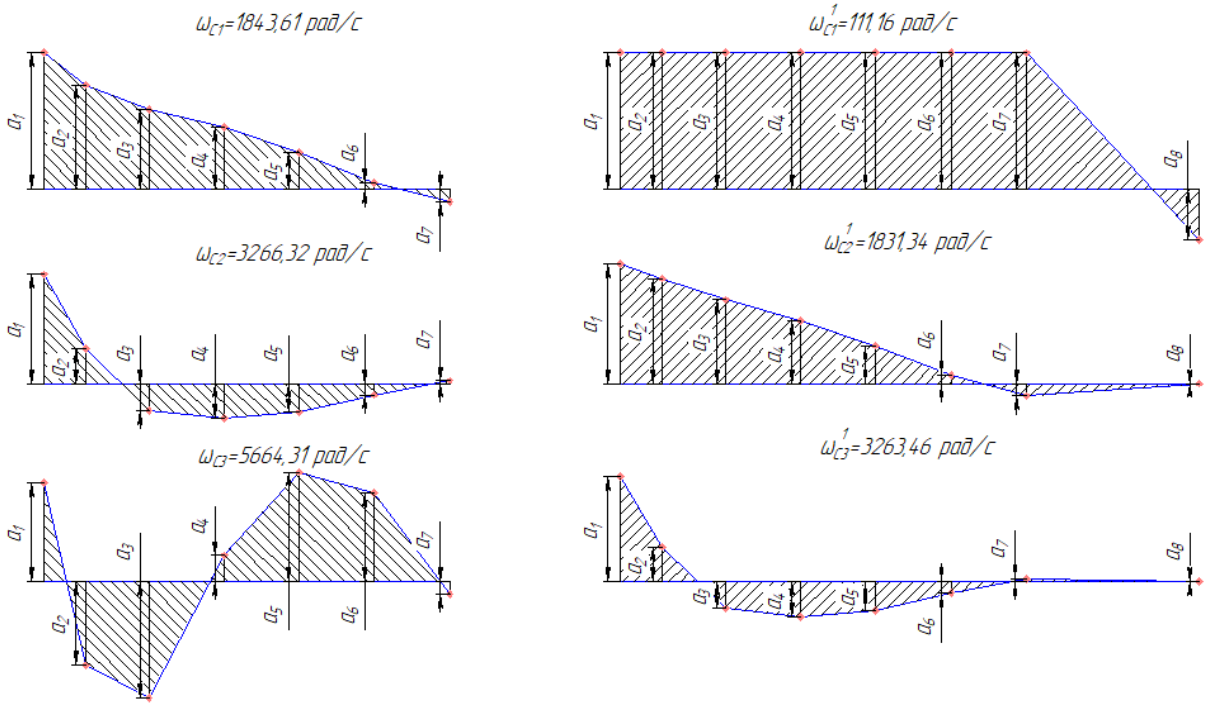
При расчете собственных частот и относительных амплитуд 4-х цилиндрового двигателя, его крутильная система состоит из 7-и масс и 6-и упругих участков (рис. 1 а). В случае установки двигателя на испытательный стенд, крутильная система дополняется инерционной массой вращающихся деталей балансирной машины и карданного вала, а также упругим участком с заданной жесткостью, соединяющим массу маховика двигателя и балансирной машины (рис. 1 б, I_8 и $C_{7,\ 8}$ соответственно).



а) б)

Рис. 1 – Варианты крутильной системы: а - 4-х цилиндровый двигатель; б - 4-х цилиндровый двигатель, установленный на стенде; I_1… I_8 – моменты инерции масс, эквивалентные моментам инерции движущихся деталей, приведенных к оси коленчатого вала; $C_{1,\ 2}$-$C_{7,\ 8}$ – жесткости участков эквивалентного вала.

В результате расчетных исследований по методу остатка [1] определены собственные частоты и относительные амплитуды колебаний крутильной системы двигателя Д-245 (рис. 2 а) и крутильной системы двигатель Д-245-испытательный стенд (рис. 2 б).



а б

Рис. 2 – Относительные амплитуды первых трех форм собственных колебаний системы: а - двигатель Д-245; б - двигатель Д-245-испытательный стенд.

Из результатов расчета следует, что при включении в крутильную систему дополнительной инерционной массы и упругого участка, частота первой главной формы колебаний снижается с 1843,61 рад/с до 111,16 рад/с. Полученное значение попадает в рабочий диапазон частот вращения двигателя и может вызвать резонанс с моторными гармониками возбуждающего момента до 2-го порядка на соответствующих скоростных режимах.

С учетом демпфирования в двигателе и балансирной машине, а также непосредственно в материале муфты, амплитуды колебаний на таких режимах ограничиваются конечными значениями, не приводящими к разрушению системы, однако искажающими результаты измерений амплитуды угловых колебаний отдельных масс, сосредоточенных на коленчатом валу, так как узел колебаний для первой формы находится вне двигателя (на упругой муфте, соединяющей маховик и балансирную машину).

ЛИТЕРАТУРА

1. Никишев А. А. Методы определения собственных частот крутильных колебаний = Methods for determining the natural frequencies of torsional vibrations / А.А. Никишев, А.Н. Петрученко, А.В. Предко // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов : в 2 томах / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет ; редкол.: Т.В. Матюшинец (отв. ред) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 165-169.

УДК 621.436.12

ПАРАМЕТРЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЯ ПОРШНЕВОЙ МОЩНОСТЬЮ 55 кВт/дм^2

А. В. Предко, А. Н. Петрученко
ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь

Моделирование в инженерной практике занимает значительное место, круг задач, решаемых при этом связан с проектированием, диагностикой, управлением и защитой технических систем, оптимизацией технологических процессов. В практике совершенствования рабочих процессов современных дизелей применяют ноль-, одномерные- и трехмерные математические модели, которые позволяют определять параметры систем, обеспечивающих требуемые показатели двигателя [1].

Целью данного исследования являлся выбор давления впрыска топлива ($p_{\text{топ}}$) и диаметра сопловых отверстий (d_c), обеспечивающих минимальное значение индикаторного расхода топлива дизеля поршневой мощностью 55 кВт/дм^2 при максимальном давлении сгорания для поршней из алюминиевого сплава не превышающем 20 МПа [2].

Моделирование проводилось для режима номинальной частоты вращения коленчатого вала 1900 (мин$^{-1}$), величина среднего индикаторного давления (p_i) находилась в пределах 2,0…2,2 МПа. Давление наддувочного воздуха (p_k) изменялось в пределах 0,2…0,3 МПа. Количество подаваемого в камеру сгорания топлива задавалось с учетом обеспечения коэффициента избытка воздуха не выходящего за пределы дымления (более 1,4). Угол опережения впрыска топлива для всех рассмотренных случаев составлял 14 град поворота коленчатого вала.

Количество распыливающих отверстий составляло 8, при этом их диаметр изменялся в пределах 0,4…0,6 мм. Давление впрыска топлива в процессе исследований находилось в пределах 180…240 МПа. Расчеты индикаторных показателей рабочего процесса проводились с помощью компьютерной программы, алгоритм расчета которой построен на положениях, приведенных в работе [3].

Величина p_i превышающая 2,0 МПа обеспечивается при диаметре сопловых отверстий до 0,5 мм включительно во всем исследованном диапазоне давлений впрыска топлива. Для более высоких значений d_c возможность получения требуемых мощностных показателей существует при давлении впрыска топлива более 200 МПа. Причем для больших значений d_c требуется пропорциональное увеличение давления впрыска топлива. По мере увеличения диаметра сопловых отверстий возрастает

влияние давления впрыска топлива на величину p_i. Так при d_c равном 0,4 мм увеличение p_i при росте давления впрыска топлива с 180 до 240 МПа менее 1%, в то время как при диаметре 0,6 мм рост p_i более 4,5%.

В соответствии с характером зависимости для среднего индикаторного давления находится и удельный индикаторный расход топлива (g_i). Минимальные значения g_i обеспечиваются при диаметре сопловых отверстий до 0,45 мм включительно во всем диапазоне исследуемых давлений впрыска топлива. При этом снижение g_i с увеличением давления впрыска топлива с 180 до 240 МПа для диаметра сопловых отверстий 0,4 мм менее 1 г/(кВт·ч). Снижение g_i для диаметра сопловых отверстий 0,6 мм в указанном диапазоне давлений превышает 8 г/(кВт·ч) (~4,5%).

Высокие давления впрыска топлива при уменьшении диаметра сопловых отверстий способствуют существенному увеличению максимального давления сгорания (p_z). Так при диаметре сопловых отверстий 0,4 мм и давлении впрыска топлива, превышающем 220 МПа, величина p_z выше 20 МПа. По мере роста давления впрыска топлива влияние диаметра сопловых отверстий на величину p_z уменьшается. Так при давлении впрыска топлива 180 МПа уменьшение диаметра сопловых отверстий с 0,6 до 0,4 мм приводит к росту p_z на 3,6 МПа (~23%), а при давлении впрыска топлива 240 МПа p_z увеличивается на 2,6 МПа (~ 15%).

Максимальная температура сгорания (T_{max}) с увеличением давления впрыска топлива и уменьшением диаметра сопловых отверстий возрастает. Причем по мере роста диаметра сопловых отверстий диапазон изменения максимальных температур цикла ΔT_{max}, получаемых при исследуемых давлениях впрыска топлива, увеличивается. Это увеличение можно описать линейной зависимостью:

$$\Delta T_{max} = -194{,}81 + 505{,}77 \cdot d_c, \qquad (1)$$

Расчеты позволили установить, что увеличение давления впрыска топлива и уменьшение диаметра распыливающих отверстий ведут к улучшению мощностных и топливно-экономических показателей. Однако при этом существенно увеличивается термическая и механическая нагруженность деталей кривошипно-шатунного механизма.

Установлено, что практически для всех рассмотренных сочетаний давления впрыска топлива и диаметра сопловых отверстий можно получить величину p_i больше 2,0 МПа, однако при этом топливная экономичность оказывается низкой.

Для определения значений давления впрыска топлива и диаметра сопловых отверстий проведены дополнительные исследования – построены регрессионные зависимости (2), связывающие величины $p_{\text{топ}}$, d_c и p_k с индикаторными показателями дизеля, и выполнен поиск

сочетания параметров $p_{\text{топ}}$, d_c и p_k, обеспечивающих минимальное значение g_i при p_i равном 2 МПа. Регрессионные зависимости (2) получены с помощью D-оптимального плана эксперимента [4]. В соответствии с выбранным планом выполнены расчеты индикаторных показателей дизеля. Полученные значения использованы для расчета коэффициентов регрессии в соответствии с методикой, приведенной в [4].

$$g_i, p_z, T_{max}, \alpha, dp/d\varphi = a_0 + a_1 \cdot p^*_{\text{топ}} + a_2 \cdot d^*_c + a_3 \cdot p^*_k + \\ +a_4 \cdot (p^*_{\text{топ}})^2 + a_5 \cdot (d^*_c)^2 + a_6 \cdot (p^*_k)^2 + \\ +a_7 \cdot p^*_{\text{топ}} \cdot d^*_c + a_8 \cdot p^*_{\text{топ}} \cdot p^*_k + a_9 \cdot d^*_c \cdot p^*_k \qquad (2)$$

где $p^*_{\text{топ}}$, d^*_c, p^*_k – приведенные значения изменяемых параметров в натуральном масштабе измерений; $a_0 \dots a_9$ – значения коэффициентов регрессии (таблица).

Таблица – Значения коэффициентов регрессии

Коэффициенты	Индикаторные показатели				
	g_i	p_z	T_{max}	α	$dp/d\varphi$
a_0	177,9	15,82	2070,8	1,897	0,607
a_1	-2,89	0,381	36,87	0,0209	0,0166
a_2	-0,3614	-1,173	-96,57	-0,0071	-0,0697
a_3	-9,507	1,649	-218,9	0,466	0,0092
a_4	2,3369	-0,357	-31	-0,015	-0,026
a_5	3,5629	0,0935	-4,1	-0,024	0,0098
a_6	3,7532	-0,1198	17,88	-0,011	-0,00089
a_7	2,8257	-0,334	-26,3	-0,014	-0,0219
a_8	3,1857	-0,2905	-22,1	-0,017	-0,0226
a_9	3,9597	-0,216	0,525	-0,031	0,00117

С помощью полученных регрессионных зависимостей определены значения $p_{\text{топ}}$, d_c и p_k соответственно равные 209 МПа, 0,5 мм и 0,29 МПа, обеспечивающие минимальное значение g_i в 172,9 $\text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$, при этом максимальные давление и температура сгорания соответственно равны 19 МПа и 1900 К, коэффициент избытка воздуха 2,23, максимальная скорость нарастания давления 0,61 $\text{МПа}/\text{град}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Л. А. Моделирование характеристик перспективного высокооборотного судового дизеля в различных вариантах конфигураций // Двигателестроение. – 2012. – № 4. – С. 8-14.

2. Barnes S. J., Lades K. The Evolution of Aluminium Based Piston Alloys for Direct Injection Diesel Engines // SAE Technical Paper Series. 2002. [1] 2002-01-0493. P. 1–7.

3. Кухарёнок Г. М. Рабочий процесс двигателей при работе на альтернативных топливах / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Петрученко, Д.Г. Гершань. – Минск : БНТУ, 2017 – 299 с.

4. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер и др. – Москва: Мир, 1977. – 552 с.

УДК 621.791.92

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В. Г. Гаврилин
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В современном машиностроении большое внимание уделяется вопросу повышения надежности и износостойкости изделий. Как известно, одними из причин износа деталей в узлах машин являются процессы трения, коррозии и др. Так, в процессе трения происходит разрушение поверхностного слоя материалов деталей, обусловленное возникновением сопротивления относительному перемещению в зоне их контакта, а при коррозии происходит разрушение материалов в результате взаимодействия с окружающей средой. В условиях нынешней экономической ситуации одной из приоритетных проблем в машиностроении является сохранение и увеличение параметров стойкости и долговечности деталей машин в узлах, что привело к возникновению множества методов упрочнения их поверхностного слоя. Одним из таких методов является электромагнитная наплавка.

Сущность метода электромагнитной наплавки (ЭМН) заключается в совокупном одновременном воздействии на обрабатываемую поверхность детали и порошок, подаваемый в зону наплавки, нескольких видов энергии: электрического тока, внешнего магнитного поля, кругового магнитного поля электрического тока и механической энергии, с помощью которых порошков расплавляется, наносится на обрабатываемую поверхность и диффундирует в глубь её [1].

Упрочнение и восстановление производят как для цилиндрических, так и плоских деталей. Сущность метода электромагнитной наплавки при этом схожа, однако различны схемы установок. Главным образом различие заключается в том, что при работе с цилиндрическими деталями происходит их вращение. В частных случаях на некоторое расстояние от детали, называемое величиной зазора, располагают электрод-инструмент. В этот зазор наплавляемый порошок подается дозатором с его последующей наплавкой на деталь [2]. При упрочнении плоских деталей движение, как правило, совершает электрод-инструмент, а деталь фиксирована [1].

На данный момент имеется множество работ, предлагающих различные способы осуществления электромагнитной наплавки, более совершенные схемы и установки, новые составы наплавляемых порошков.

Так, например, в работе [3] показаны принципиальные схемы электромагнитной наплавки наружных поверхностей тел вращения, представленные на рис. 1, 2.

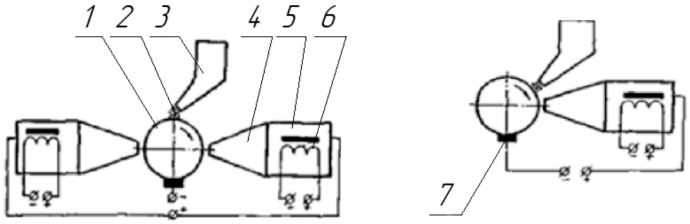


Рис. 1 – Принципиальные схемы электромагнитной наплавки наружных поверхностей тел вращения: а - двухполюсная; б - однополюсная (1 – восстанавливаемся деталь; 2 – порошок; 3 – бункер-дозатор; 4 – полюсный наконечник; 5 – сердечник электромагнита; 6 – электромагнитная катушка; 7 – скользящий контакт)

Заготовка 1 располагается на некотором расстоянии от полюсного наконечника 4 сердечника 5 электромагнитной катушки 6. Сердечник и заготовка подключаются к источнику электрического тока. В зазор между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником подается порошок 2 из дозатора-бункера 3. Порошок обладает магнитными свойствами, его частицы выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля и замыкают электрическую цепь «деталь - наконечник». Зерна порошка под действием энергии проходящего по ним тока нагреваются, расплавляются, и капли расплава порошка переносятся на обрабатываемую поверхность вращающейся детали. Первая схема обеспечивает более высокую стабильность и производительность наплавки, вторая же обладает большей универсальностью. Перспективным методом электромагнитной обработки является метод электромагнитной наплавки с поверхностным деформированием, принципиальная схема которого показана на рис. 2.

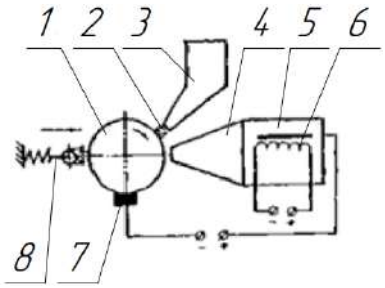


Рис. 2 – Принципиальная схема метода электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием наружных поверхностей тел вращения: однополюсная с одношариковым накатником (1 – восстанавливаемая деталь, 2 – порошок, 3 – бункер-дозатор, 4 – полюсный наконечник, 5 – сердечник электромагнита, 6 – электромагнитная катушка)

Пластическое деформирование уменьшает шероховатость поверхности покрытия, увеличивает его твердость и формирует в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения, повышающие усталостную прочность обработанных деталей [3].

В исследовании [4] повышение стабилизации процесса нанесения покрытий было достигнуто за счет обеспечения в рабочей зоне постоянной во времени величины магнитной индукции, а также устойчивой обратной связи разрядного тока и напряжения с изменяемыми технологическими параметрами. Для этого предлагается применять электромагнитные системы с постоянными магнитами и инверторным источником регулируемого импульсного сварочного тока и напряжения.

В результате исследования было установлено, что использование постоянных магнитов в устройствах упрочнения стабилизирует технологические параметры процесса и повышает качество покрытий. Выявлено, что у покрытий, полученных упрочнением на установке с магнитной системой на постоянных магнитах по сравнению с магнитной системой на электромагните, удельная длина трещин уменьшается в 1,75-2,2 раза, что объясняется увеличением длительности сохранения жидкой фазы в процессе кристаллизации капель расплава порошков в условиях ее скоростного охлаждения [4].

Стоит отметить, что в целом метод магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) имеет широкую классификацию технологических способов и схем упрочнения и восстановления цилиндрических и плоских поверхностей в электромагнитном поле. Так, в работе [5] предлагается классификация МЭУ по следующим признакам: форма обрабатываемой поверхности; характер распределения электрической энергии во времени в рабочем зазоре; род технологического тока источника питания; характер распределения магнитной энергии во времени в рабочем зазоре; род электрического тока источника питания электромагнитной катушки; характер распределения механической энергии во времени в рабочем зазоре; функциональное назначение механической энергии, подводимой в рабочий зазор. Рассматривая данные признаки, конкретному способу упрочнения присваивается шифр, опираясь на который, можно подобрать схему способа МЭУ.

В качестве материала для электромагнитной наплавки преимущественно используются ферромагнитные порошки различного состава на основе железа. Так, в качестве примеси может выступать бор, который при взаимодействии с железом образует бориды железа, обладающие высокой твердостью и придают поверхностному слою износостойкость. Содержание хрома же придает покрытия коррозионную стойкость, однако способствует появлению трещин [2].

В работе [6] предлагается применение специальной пасты для ЭМН, которая представляет собой смесь ферромагнитного порошка и

связующего вещества. Предложены следующие составы паст: состав №1 – эпоксидная смола ЭДП, растворенная в органическом растворителе марки 646 (ГОСТ 18188-72); состав №2 – эпоксидная смола, растворенная в жидком стекле. Применение пасты обусловлено следующими преимуществами: защита наплавочной ванны от воздействия окружающей среды, точное дозирование расхода порошкового материала, возможность легирования наплавленного слоя необходимыми компонентами.

В качестве наплавляемых порошков также предлагаются составы из быстрорежущих сталей (Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5) [7]. Установлено, что применение наплавки в электромагнитном поле из быстрорежущих сталей для восстановления и упрочнения деталей машин, работающих в условиях повышенного абразивного изнашивания и циклического нагружения, позволяет технологическим методом увеличить их износостойкость до 2,5 раз и усталостную прочность до 1,5 раз по сравнению со сталью 45, закаленной с нагрева ТВЧ на глубину 1,2-1,6 мм до 52-54 HRC.

Таким образом, опираясь на проведенный обзор некоторых исследований, приведенных выше, можно отметить, что метод электромагнитной наплавки обладает перспективами в усовершенствовании, что обусловлено наличием множества путей его развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульгейко М. П. Основы магнитно-электрических способов обработки материалов [Электронный ресурс] : краткий курс лекций по дисциплине "Технология и оборудование магнитно-электрических способов обработки материалов" для студентов специальности 1-36 01 01 "Технология машиностроения" дневной и заочной форм обучения / М. П. Кульгейко, Г. В. Петришин. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. - 39 с.

2. Гаврилин В. Г. Метод магнитно-электрического упрочнения деталей и его особенности / В. Г. Гаврилин, С. В. Рогов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник научных статей 7-ой международной научно-практической конференции : в 2 частях, Гомель, 17 ноября 2023 года / Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2023. – Часть 2. – С. 246–247.

3. Мрочек Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин : [учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов] / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск : Технопринт, 2000. – 267 с.

4. Щурский Д. С. Влияние источников внешнего магнитного поля в устройствах магнитно-электрического упрочнения на стабильность

качества покрытий / Д. С. Щурский, Д. С. Матяс; науч. рук. А. В. Миранович // Техсервис-2018: материалы научно-практической конференции студентов и магистрантов, Минск, 24-25 мая 2018 г. - Минск: БГАТУ, 2018. - С. 106-110.

5. Акулович Л. М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л. М. Акулович, А. В. Миранович; Минсельхозпрод РБ, УО "БГАТУ". - Минск: БГАТУ, 2016. - 236 с.

6. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин наплавкой пастой в электромагнитном поле / И. Н. Василевский [и др.] // Агропанорама. - 2003. - № 4. - С. 11-12.

7. Романова Т. К. Эксплуатационные свойства покрытий из порошков быстрорежущих сталей / Т. К. Романова, Ж. А. Мрочек, В. В. Тризна // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса сельскохозяйственной техники: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 6-8 апреля 2004 г.: в 3 ч. Ч. 3. - Минск: БГАТУ, 2006. - С. 98-104.

УДК 541.64:539.3

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ УДАРОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

В. Д. Мельников, М. В. Шкуратов
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Применение композитов в качестве материалов для деталей сельхозмашиностроения часто тормозится недостаточной ударной вязкостью полимеров. Улучшение этого важного для деталей машиностроения свойства возможно в результате создания эффективных смесевых композиций.

Ударопрочные композиты на основе полипропилена (ПП) - это перспективный материал в машиностроении, который находит своё применение в различных отраслях, таких как: автомобилестроение, авиастроение, судостроение, а также в производстве промышленного оборудования. Ключевые преимущества применения этих материалов - легкость, прочность, ударопрочность и коррозионная стойкость, что делает их идеальным выбором для создания легких, прочных и долговечных конструкций. Композиты на основе полипропилена используются для производства кузовных панелей автомобилей, элементов авиационных конструкций и многих других элементов, где требуется сочетание прочности, легкости и устойчивости к агрессивным средам.

Композиты на основе ПП также имеют преимущество при эксплуатации изделия в зонах повышенной температуры.

В работе [1] исследованы композиты на основе полипропилена при разных температурах. Было установлено, что с повышением температуры в наполненном полипропиленом композите изменяется вид дефектов, образующихся вблизи крупных частиц наполнителя: от трещины к ромбовидной поре и затем к овальной или щелевидной поре. Видоизменение дефектов предопределяет смену механизма разрушения композита при постоянном содержании частиц наполнителя от хрупкого до достижения верхнего предела текучести к разрыву при формировании или распространении шейки к пластичному неоднородному деформированию с устойчивым ростом шейки.

Повышение температуры оказывает такое же влияние на форму образующихся дефектов в композите на основе ПП, как и уменьшение размера частиц наполнителя, вызывая переход от крейза к ромбовидной поре и затем к овальной или щелевидной порам. Видоизменение дефекта

предопределяет смену механизма разрушения композита при постоянном содержании частиц наполнителя от хрупкого до достижения верхнего предела текучести к разрыву при формировании или распространении шейки и, наконец, к пластичному неоднородному растяжению с устойчивым ростом шейки. Переход от хрупкого к квазихрупкому разрушению сопровождается резким уменьшением прочности композита, а от квазихрупкого к пластичному - значительным увеличением его относительного удлинения при разрыве.

Возможность повышения ударной вязкости у композитов на основе ПП было рассмотрено в работе [2]. Ударная вязкость образцов с надрезом дисперсно-наполненных полимерных композитов определялась только и структурным состоянием, характеризуемым фрактальной размерностью структуры. Было отмечено, что усиление агрегации исходных частиц наполнителя приводит к росту указанной размерности и снижению ударной вязкости.

Ударная вязкость образцов с надрезом рассматриваемых дисперсно- наполненных полимерных композитов определяется только их структурным состоянием, и, фрактальной размерностью. Увеличение размерности каркаса частиц (агрегатов частиц) наполнителя приводит к росту фрактальной размерности структуры композитов, следовательно, к снижению ударной вязкости. Одним из методов повышения ударной вязкости композитов является подавление агрегации частиц наполнителя.

В [3] были изучены механические свойства композитов на основе ПП в области малых деформаций в диапазоне скоростей растяжения, отвечающих квазистатической области. Объектами исследования являлись наполненный тальком и ненаполненный ударопрочные на основе ПП. Механический отклик обоих материалов чувствителен к скорости деформации и нелинеен, несмотря на малую степень вытяжки. Для выяснения механизма деформирования методом сканирующей электронной микроскопии исследована эволюция микроструктуры материала. Для описания свойств исследованных материалов использованы две модели трехпараметрическая нелинейная модель, основанная на экспериментальных результатах, и микромеханическая модель, описывающая упруго-вязкопластичное поведение композиционных материалов. Предсказанные этими моделями кривые напряжение-деформация удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Особое внимание созданию суперпрочных композитов с улучшенными динамическими свойствами, расширенным температурным диапазоном эксплуатации, регулируемой реологией расплавов и формуемостью при переработке уделяется в анализе полимерных композитов многофункционального назначения, приведенные Песецким С. С. [4]. В работах [5] проводится исследование

функционализации макромолекул прививкой полярных мономерных и олигомерных фрагментов, что направленно влияет на их совместимость в полимерных смесях и позволяет использовать в качестве компатибилизаторов, модификаторов ударной вязкости, реологических добавок и т.д

Замена материалов на композиты на основе полипропилена для производства деталей сельхозмашиностроения на данный момент времени выглядит достаточно перспективно только в тех случая, когда важны факторы лёгкости, ударопрочности и коррозионной стойкости изделия. В других случаях, например, при высоких требованиях к жесткости, металлы остаются более пригодными и доступными материалами. Выбор материала напрямую зависит от конкретных требований к выпускаемому изделию, а также к оценке себестоимости изделия и автоматизации производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серенко О. А., Гончарук Г. П., Ракитянский А. Л., Караева А. А., Оболонков Е. С., Баженов С. Л. Влияние температуры на деформационное поведение композита на основе полипропилена и частиц резины // Высокомолекулярные соединения. 2007. Т. 49, № 1. С. 71–78.

2. Слонов А. Л., Козлов Г. В., Заиков Г. Е., Микитаев А. К. Поведение композитов на основе полипропилена при ударном нагружении. // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. - № 20. – С. 111-115.

3. Pessey D., Bahlouli N., Ahzi S., Khaleel M.A. Влияние скорости при малых деформациях на механический отклик композитов на основе полипропилена // Высокомолекулярные соединения. 2008. Т. 50, № 6. С. 1051–1059.

4. Песецкий С. С., Мышкин Н. К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси (обзор) // Полимерные материалы и технологии. Т. 2, 2016, № 4. С. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech-2016-2-4-6-29.

5. Кривогуз Ю. М. Влияние функционализированных полиолефинов на структуру и свойства смесевых материалов на основе алифатических полиамидов / Ю. М. Кривогуз, О. А. Макаренко, С. С. Песецкий // Реактив–2018 : тез. докл. XXXI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–4 октября 2018 г. / Ин-т химии новых материалов НАН Беларуси; редкол.: В. Е. Агабеков [и др.]. – Минск, 2018. – С. 61.

УДК 621.78.72:621.431.73

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВОАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИЛ РЕЗАНИЯ

Д. М. Маханов, П. П. Огур
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Принятие проектных решений в области машиностроения и оценка их качества в основном основаны на данных экспериментов. Актуальной задачей является извлечение максимального объема информации о процессах и устройствах при ограниченных затратах.

Процессы обработки материалов резанием представляют собой сложные многофакторные процессы. В этих случаях часто исследуемая величина оказывается случайной и зависит от множества как контролируемых, так и неконтролируемых факторов. Поэтому резание все чаще рассматривается с вероятностно-статистической точки зрения, а в экспериментальных исследованиях применяются методы планирования эксперимента, основанные на принципах математической статистики.

Для обработки заготовки необходимо удалить определенный слой металла, преодолевая сопротивление срезаемого материала, так называемую силу резания. Эта сила зависит от условий обработки. В процессе чернового фрезерования, когда с заготовки снимается значительный слой металла в несколько миллиметров, сила резания достигает сотен и тысяч килограммов, а при чистовом фрезеровании она уменьшается до десятков килограммов. Поэтому для выбора геометрии и конструкции фрез, проектировании приспособлений и станков требуется учитывать характер обработки и величины сил резания.

Целью данной работы является разработать методику построения многофакторной математической модели, характеризующей зависимость максимальной тангенциальной составляющей силы резания от элементов геометрии зуба торцовой фрезы при фрезеровании.

Для достижения этой цели в работе будет использован метод многофакторного регрессии, который позволит определить значимость каждого из факторов, влияющих на силу резания.

Проведение серии экспериментальных исследований на фрезерных станках с различными конфигурациями инструментов позволит собрать необходимые данные для построения модели. Каждый эксперимент должен тщательно документироваться, фиксируя не только силы резания, но и условия обработки, такие как скорость и подача. Это позволит обеспечить высокую точность и достоверность полученных результатов.

В результате исследования требуется не только разработать математическую модель, но и составить рекомендации по оптимизации процесса фрезерования материала. Это может оказать значительное влияние на производительность и качество обработанной продукции, а также снизить затраты на материальные ресурсы и время обработки.

Построение многофакторной математической модели зависимости максимальной тангенциальной составляющей силы резания от элементов геометрии зуба торцовой фрезы при фрезеровании металла может быть выполнено с использованием различных методов. На сегодняшний день существует множество методов решения данной проблемы

1. Метод многофакторного регрессионного анализа - этот метод предполагает использование статистических техник для определения зависимости между одной зависимой переменной (в данном случае, максимальной тангенциальной силой резания) и несколькими независимыми переменными (геометрическими параметрами зуба фрезы).

Применяется для сбора экспериментальных данных, определение значимости различных факторов (например, угол подачи, угол наклона, параметры обработки) и построение регрессионной модели.

2. Метод ортогональных колонок (OAT) - этот метод позволяет систематически исследовать влияние различных факторов на результирующую величину, изменяя один фактор при фиксированных значениях остальных, например, определение значимости и влияния каждого параметра геометрии зуба фрезы на величину силы резания.

3. Метод многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) этот метод используется для выявления статистически значимых различий между средними значениями в разных группах, основанных на различных комбинациях факторов, например, анализ влияния нескольких факторов на силу резания, что позволит определить, какие факторы имеют наибольшее влияние.

4. Методы теории вероятностей и статистики - применение статистических инструментов для анализа данных, таких как корреляционный и регрессионный анализ. Например, выявление зависимостей между параметрами геометрии зубов и силой резания на основе исторических данных.

5. Метод численного моделирования – этот метод основан на создании численной модели процесса резания с помощью программного обеспечения для симуляции (например, ANSYS, Abaqus), а именно моделирование различных сценариев фрезерования для анализа влияния параметров зубьев на силу резания.

6. Метод машинного обучения – метод основа на использовании алгоритмов машинного обучения (например, регрессия, деревья решений, нейронные сети) для построения модели на основе больших объемов данных. Используется в обработке исторических данных, чтобы

автоматически выявлении сложные зависимости между геометрическими характеристиками зуба фрезы и резательными силами.

7. Метод многомерного анализа данных – этот метод основан на использовании методов сокращения размеров (например, главные компоненты) для выявления закономерностей и зависимости, к примеру анализ многомерных данных для выделения основных факторов, влияющих на максимальную тангенциальную силу резания.

Выбор метода зависит от доступности данных, сложности задачи и требований к точности модели. Часто необходимо комбинировать несколько методов для достижения наиболее достоверных результатов.

8. Ротатабельное планирования второго порядка может включать в себя использование методов и подходов, направленных на оптимизацию процессов планирования с учетом изменяющихся условий и неопределенности.

К достоинствам ротатабельного планирования второго порядка можно отнести:

1. Адаптивность: позволяет быстро реагировать на изменения внешних и внутренних факторов, таких как износ углов режущего инструмента.

2. Улучшение точности прогнозов: за счет составления матрицы планирования, а также предварительного проведения измерения фактической силы резания.

3. Оптимизация ресурсов: способствует более эффективному использованию ресурсов, снижению затрат за счет эффективного выбора параметров режущего инструмента.

4. Интеграция с другими системами: легко интегрируется с другими процессами, такими как шлифование, точение, строгание и т.п.

К недостаткам ротатабельного планирования второго порядка можно отснети:

1. Сложность внедрения: разработка и внедрение ротатабельного планирования может быть сложным процессом, требующим значительных инвестиций в технологии и обучение персонала.

2. Чувствительность к данным: как и в любых моделях, неточности в исходных данных могут приводить к неверным выводам и решениям.

3. Необходимость частого пересмотра: требует регулярного пересмотра и обновления программного обеспечения, что может быть ресурсозатратным.

4. Потенциальные затраты на программное обеспечение: высокая стоимость программного обеспечения и технологий, необходимых для эффективного ротатабельного планирования.

Таким образом решением проблем в промышленном производстве, таких как выбор оптимальных режимов резания и параметров геометрии режущего инструмента, можно осуществить с помощью методов

математического моделирования и экспериментального планирования. Рассмотрим один из таких методов, а именно ротатабельное планирование второго порядка (центральный композиционный план). Для грамотного определения требуемых параметров требуется придерживаться следующих принципов:

1. Определение переменных и границ: определите ключевые переменные, влияющие на процесс резания. Обычно это скорость резания, подача, глубина резания и углы инструмента. Установите диапазоны значений для каждой переменной на основе возможностей оборудования и требований к качеству.

2. Построение экспериментального плана: ротатабельное планирование второго порядка включает в себя проведение экспериментов в точках, равномерно распределённых вокруг центра плана, что обеспечивает стабильность модели при экстраполяции. Центральный композиционный план состоит из полного факторного плана, центральных точек и звёздных точек для оценки криволинейной зависимости.

3. Проведение экспериментов: выполните эксперименты в соответствии с разработанным планом. Измерьте параметры выхода, такие как сила резания, качество поверхности, износ инструмента и т.д.

4. Математическое моделирование: постройте модель, которая связывает входные переменные с выходными показателями. Обычно это квадратичная регрессия, которая включает линейные, квадратичные и взаимодействующие члены.

5. Анализ и интерпретация результатов: используйте полученную модель для поиска оптимальных условий, которые минимизируют или максимизируют желаемые выходные параметры. Постройте поверхности отклика и линий уровня для визуализации влияния переменных.

6. Проверка и валидация: проведите дополнительные эксперименты, чтобы подтвердить адекватность модели и корректность найденных оптимальных параметров.

7. Внедрение: внедрите найденные оптимальные режимы и параметры на производстве, обеспечивая их мониторинг и корректировку при необходимости. Этот подход позволяет систематически и эффективно исследовать влияние различных параметров на процесс резания и находить оптимальные решения, повышая производительность и качество продукции.

Ротатабельное планирование второго порядка - эффективный метод многофакторной математической модели зависимости максимальной тангенциальной составляющей силы резания от элементов геометрии зуба торцовой фрезы при. Он экономичен, позволяет изучать нелинейные зависимости и оптимизировать процессы. Несмотря на некоторую сложность реализации, метод предоставляет надежные статистические оценки, делая его ценным инструментом в исследованиях и инженерных задачах.

УДК 621.791.92

АНАЛИЗ НОВЕЙШИХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

М. А. Карпенко, А. Н. Скороходов, А. А. Даниленко
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

С каждым годом применение композиционных материалов в промышленности увеличивается, следовательно и масштабы их производства увеличивается. Кроме того, разрабатываются новые виды композитов, с улучшением механическими, физическими и другими свойствами и качествами. К таким материалам относятся нанокомпозиты. [1].

Нанокомпозиты — это многофазный твёрдый материал, одна из фаз которого имеет одно, два или три измерения менее 100 нанометров (нм) или структуры с наноразмерными расстояниями между различными фазами, из которых состоит материал.

В настоящее время активно исследуются и разрабатываются важнейшие типы полимерных нанокомпозитов: наноструктурнные полимерные системы, полимер/полимерные наносистемы, полмерсиликатные нанокомпозиты, композиты на основе углеродных наноматериалов, металлосодержащие нанокомпозиты, прочие нанокомпозиты (нелинейно оптически-активные нанокомпозиты типа полимер, содержащие добавки низкомолекулярных оптически активных веществ (хромофоров) и др.) [4].

В последние годы белорусские производители полимерной продукции страны неоднократно обращались к ученым с просьбами разработать технологии и составы нанокомпозиционных материалов, обладающих существенно новыми свойствами, соответственно повышающими их конкурентоспособность на мировых и внутренних рынках сбыта. Но, как показывает мировой и отечественный опыт исследований и разработок, это трудная научная и технологическая проблема, хотя теоретически наномодифицирование предсказывает весьма существенное улучшение деформационных и прочностных характеристик полимеров (рис. 1) [2].

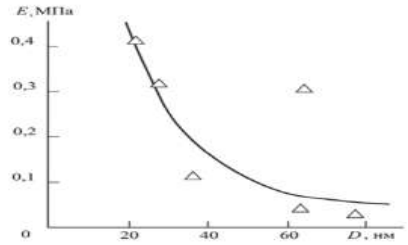


Рис. 1 – Зависимость динамического модуля упругости E от диаметра сферических частиц наполнителя D для натурального каучука, наполненного наноразмерным углеродом: D – экспериментальные данные; кривая – расчетные данные.

Но практически этого пока не удается достичь применительно к материалам на основе технических термопластов. Их механические характеристики ненамного превышают микромодифицированные аналоги. [2].

Основные причины, видимо, уже установлены. К ним относятся [2]:

- трудно управляемое и контролируемое в реальных производственных условиях размерное и объемное распределение модифицирующих индивидуальных и агрегированных наночастиц в полимерной матрице;
- недостаток знаний о механизмах структурной специфики формирования межфазных слоев полимерных нанокомпозитов;
- недостаток технологических методов управления плотностью упаковки полимерных молекул в процессе формирования наноструктур полимерных нанокомпозитов.

Решения вышеназванных задач находятся на стыке естественнонаучных и научно-технических прикладных (инженерных) аспектов нанокомпозиционного материаловедения. Очевидно, что точные ответы на эти вопросы могут дать только современные методы экспериментальных исследований объемных структур нанокомпозитов на основе полимеров. Из анализа тематики докладов 4-х предыдущих наших конференций видно, что на них было представлено 253 доклада, в том числе в 2008 г. – 44, 2010 г. – 52, 2012 г. – 66 и 2014 г. – 31. Однако исследованию нанокомпозитов на основе конструкционных термопластов посвящены только около 5% от их общего количества публикаций. Именно прикладные методы зондовых наноизмерений наиболее близки к изучению инженерных свойств полимерных нанокомпозитов [2].

Уникальные свойства нанокомпозитов и наличие промышленной технологии производства натурных изделий создали предпосылки для его применения в современном машиностроении и в медицинской технике [3].

Свойство углеродного нанокомпозита многократно превосходит свойства углеродных материалов традиционной технологии: по

коэффициенту трения в жидких средах в 5 раз, по коэффициенту катодного распыления в 15 раз, по химической стойкости в окислительных средах до 300 раз. Кроме того, углеродный нанокомпозит обладает уникальным сочетанием свойств: он химически и биологически инертен, не проницаем для жидкости и газа, радиационно стоек, по высокотемпературной удельной прочности превосходит вольфрам. Такой комплекс свойств выгодно отличает углеродный нанокомпозит от большинства традиционных материалов конструкционного назначения [3].

Применение углеродного нанокомпозита позволила существенно улучшить технико-экономический показатели термоядерного реактора. Например, диафрагма из углеродного нанокомпозита успешно выдержала 8000 рабочих циклов термоядерного реактора без следов видимых разрушений [3].

Перспективной разновидностью опор валов, получивших применение в современном машиностроении, является газодинамические подшипники. В установившемся режиме работы газодинамического подшипника вращающийся вал опирается на упругую прослойку между валом и вкладышем подшипника [3].

На рис. 2 показаны результаты сравнительных антифрикционных материалов различных классов и углеродного нанокомпозита в условиях трения по стали ШХ15 в режиме газодинамического подшипника. Наилучшим из углеродных антифрикционных материалов для газодинамического подшипника является нанокомпозит. Он хорошо работает практически с любым контролером. У нанокомпозита практически не обнаружены следы износа после 200 циклов пуск-останов при минимальном значении коэффициента трения при трогании с места [3].

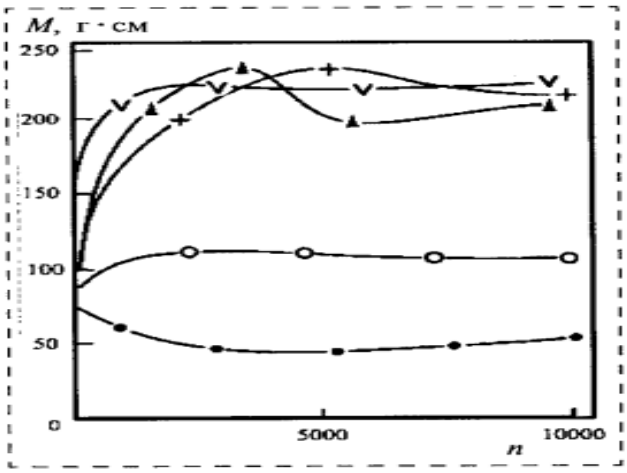


Рис. 2 – Влияние числа n циклов пуска-останов на пусковой момент M трения по стали ШХ15 газодинамическим упорных подшипников из антифрикционных материалов. ▲ - бронза; + -антифрикционный сплав; v - корундовая керамика; ○ - антифрикционный графит, пропитанный антифрикционным сплавом; ● - углеродный нанокомпозит.

Полимерные нанокомпозиты с органомодифицированными глинистыми минералами находят широкое применение в различных областях промышленности и техники. Однако, к настоящему времени крайне мало исследований посвящено нанокомпозитам, для получения которых в качестве матриц используют полимерные смеси. При этом создаются потенциально новые возможности получения высокоэффективных материалов, в которых сочетаются достоинства полимерных смесей и преимущества полимерных нанокомпозитов. Одним из факторов, влияющим на структуру и свойства нанокомпозитов на основе смеси полимеров, является способ их получения. Во время смешения в расплаве компонентов наночастицы мигрируют в отдельные фазы полимерной смеси в результате чего могут формироваться различные морфологические структуры в зависимости от характера преимущественно распределения глины между компонентами смеси. Это придает процедуре смещения решающее значения для контроля пространственного распределения нанокомпозитов: одностадийного, базирующегося на использовании концентратов (мастер-батчэй) наноглин в одном или всех компонентах смеси. Последовательность смешения в общем случае может сильно сказываться на микроструктуре нанокомпозитов и влиять на их механические и другие свойства [5].

В заключении хотелось бы отметь, что значимость всех композиционных материалов для современной промышленности огромна. Сейчас композиты применяются в изготовлении различной продукции, начиная от пуговицы в текстильной промышленности и заканчивая лопастями винтов вертолетов и самолетов в авиастроении. С течением времени необходимо усовершенствование КМ, поэтому применение нанокомпозтов станет будущим машиностроения и других отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачева В. Р. Нанокомпозиты — будущее машиностроения // Техника. Технологии. Инженерия. — 2016. — № 1 (1). — С. 37-40.

2. Свириденок А. И., Кравцевич А. В. Материаловедению полимерных нанокомпозитов нужны новые экспресс-методики и приборы // "Издательский дом "Белорусская наука" Минск, 18–21 октября 2016 года С. 3-7.

3. Волков Г. М. Нанокомпозит система углерод-углерод. Биоинженерный и машиностроительный потенциал. Нано- и микросистемная техника // Новые технологии. 2007. №5. С.34-37.

4. Песецкий С. С., Мышкин Н. К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси (обзор) // Полимерные материалы и технологии. Т. 2, 2016, № 4. С. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech-2016-2-4-6-29

5. Кривогуз Ю. М. Влияние функционализированных полиолефинов на структуру и свойства смесевых материалов на основе алифатических полиамидов / Ю. М. Кривогуз, О. А. Макаренко, С. С. Песецкий // Реактив–2018 : тез. докл. XXXI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–4 октября 2018 г. / Ин-т химии новых материалов НАН Беларуси; редкол.: В. Е. Агабеков [и др.]. – Минск, 2018. – С. 61.

УДК 621.9.026

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

К. С. Шатило, Е. Г. Акунец, Е. Н. Демиденко
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,

г. Гомель, Республика Беларусь

В современном машиностроении большое внимание уделяется вопросу повышения надежности и износостойкости изделий. Как известно, одними из причин износа деталей в узлах машин являются процессы трения, коррозии и др. В процессе эксплуатации поверхностный слой деталей машин подвергается наиболее сильному физико-химическому и механическому воздействию, поэтому разрушение деталей начинается с поверхности. Лазерное упрочнение и легирование – методы, известные в борьбе с поверхностным разрушением деталей машиностроения (усталостным разрушением, абразивным износом, эрозией, коррозией, кавитационным износом и др.). В лазерном упрочнении обычно используют двух- и трехстадийные термические циклы. Под действием лазерного упрочнения и легирования происходят фазовые и структурные превращения обрабатываемого поверхностного слоя, что позволяет придать ему высокие трибологические и прочностные свойства. Но однозначно предсказать результаты легирования: глубину, твердость и структуру легированного слоя, концентрацию легирующего элемента – пока трудно [1].

В настоящее время лазерная обработка используется для повышения прочностных характеристик различных материалов, в том числе и углеродистых сталей. Ее преимуществами являются высокая скорость нагрева и охлаждения, точность и качество обработки, но для достижения большего эффекта целесообразно применять комбинированные способы упрочнения [2].

Сущность процесса заключается в локальном нагреве участка поверхности детали до сверхкритических температур лазерным излучением. После прекращения действия излучения этот участок охлаждается в результате теплоотвода энергии во внутренние слои металла. Нагрев может осуществляться как с оплавлением, так и без оплавления поверхности металла. Основная цель лазерного упрочнения – повышение твёрдости и износостойкости поверхности детали. Весомые преимущества лазерной обработки по сравнению с традиционными методами термической обработки материалов – это отсутствие дополнительных операций отпуска. Отпуск снимает внутренние

напряжения, но при этом снижает твердость обработанного слоя. Например, в результате нагрева выше температуры плавления нормализованной стали 45 (рис. 1), по экспериментальным данным наблюдаются следующие результаты: в верхнем слое глубиной 20…25 мкм наблюдается полное растворение ферритной сетки. Микротвердость в этой зоне 7500…8200 МПа. Ниже следует зона закалки из твердого состояния с микротвердостью 7200…8500 МПа. На месте бывших перлитных зерен образуется мартенсит с небольшим количеством остаточного аустенита. Глубина зоны термического влияния составляет 0,55…0,60 мм при ширине зоны 9,8 мм. Микротвердость ферритных зерен составляет 2800–3500 МПа при исходной твердости феррита 980…1100 МПа.

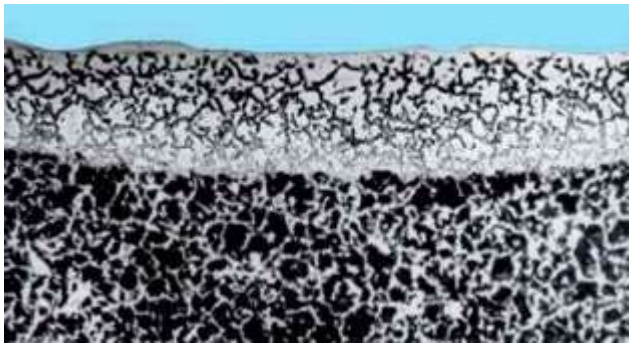


Рис. 1 – Микрошлиф стали 45,
упрочненный сканирующим лазерным лучом

Повышение микротвердости связано с фазовым наклепом. При закалке сталей, прошедших закалку и отпуск после лазерного упрочнения, за вторым слоем следует третий – зона отпуска. Данная технология применяется для упрочнения клапанов, колец, подшипников в автомобилестроении и упрочнении металлорежущего инструмента. Применяются лазеры мощностью от 10…100 Вт до 2 кВт [3].

Лазерную термообработку детали можно произвести как с оплавлением, так и без оплавления поверхностного слоя материала. Чаще всего используют обработку без оплавления с сохранением исходной шероховатости Ra = 0,16- 1,25 мкм.

Лазерный способ термоупрочнения имеет довольно большие перспективы в промышленности, так как обладает значительным повышением твердости, высокой производительностью, точностью, относительно малым затраченным временем на упрочнение, и возможностью упрочнять не полностью деталь, а ее отдельные части [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков В. Лазерное упрочнение и легирование сталей // Фотоника. – 2011. – Т. 27. – №. 3. – С. 34-37.

2. Технология лазерного микролегирования углеродистых сталей для упрочнения деталей сельскохозяйственных машин / А. Г. Пастухов, О. А. Шарая, А. Г. Минасян, Н. В. Водолазская // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 2(10). – С. 34-46.

3. Егунов А. И. Использование лазеров для повышения прочностных характеристик деталей машин / А. И. Егунов, Д. И. Гвоздев, А. А. Горохов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : материалы VIII Международной научно-технической конференции: в 2 частях, Курск, 28 декабря 2010 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2011. – С. 75-79.

4. Мавланов М. Ш. Лазерное упрочнение деталей машин / М. Ш. Мавланов, М. Л. Хазин // Уральская горная школа - регионам : материалы международной научно-практической конференции. Уральская горнопромышленная декада, 4-13 апреля 2022 года, г. Екатеринбург, Екатеринбург, 11 апреля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2022. – С. 102-103.

УДК 678.652

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

А. И. Патеев, С. И. Красюк, К. Д. Михальцев
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Улучшение качества и сохранение физикомеханических свойств обработанной поверхности за счет антикоррозийной защиты, повышение производительности за счет снижения диссипации энергии, расходуемой на трение, при обработке поверхности деталей машин абразивным кругом имеют важное значение в области машиностроительных технологий. Эти задачи могут быть решены при помощи устройства электроалмазной обработки деталей машин с непрерывной правкой круга [1].

Электроалмазная обработка - одна из разновидностей электроабразивной, инструментом для которой служит токопроводящий круг с алмазоносным поверхностным слоем толщиной около 3 мм. Сущность метода электроалмазной обработки режущих инструментов заключается в сочетании электрохимического растворения обрабатываемого материала (что обуславливает высокую производительность процесса) с механической алмазной обработкой (что определяет высокое качество и точность обработанных поверхностей).

Электроалмазная обработка, отличаясь малыми нагрузками на обрабатываемую поверхность, особенно эффективна для материалов, склонных к выкрашиваниям и сколам при обработке.

При обработке твердых сплавов, с одной стороны, происходит анодное растворение кобальта, в результате чего остается скелетная структура из карбидов металлов и прочность сплава снижается до одной трети своей первоначальной величины, с другой стороны идет анодное окисление карбидов с растворением их в электролите.

Основные преимущества электроалмазного шлифования, в сравнении с чисто алмазным являются:

1) производительность шлифования повышается в 3-4 раза;

2) расход алмазных кругов снижается в 1,5-2 раза;

3) обработка осуществляется практически без нагрева, благодаря чему на обработанной поверхности не образуются трещины, прижоги, остаточные напряжения. Чистота обработанных поверхностей достигает 9 класса и выше, что позволяет заточку и до водку инструмента совместить в одну операцию.

Электроалмазная обработка осуществляется путем анодного растворения материала обрабатываемой поверхности детали и механического снятия непрочной анодной пленки абразивными зернами инструмента. Растворению подвергают в первую очередь микронеровности. Инструмент катод представляет собой шлифовальный круг из электрокорунда или другого абразива на токопроводящей основе-металле или графите с бакелитовой связкой. Концентрацию алмазов на поверхности круга принимают равной 50-100%, а обработку ведут при больших плотностях тока (до 60-100 А/см^2), что значительно повышает производительность. Рабочее напряжение в зоне обработки низкое (5-15 В), благодаря чему эрозионные процессы при обработке не возникают. Скорость вращения круга выбирают равной 25—80 м/с, давление 3-4 кгс/см^2.

Для модернизации оборудования под электроалмазную обработку в [2] было наиболее близким по технической сущности решением поставленной предложено устройство для комбинированной электроалмазной обработки с одновременной правкой круга, содержащее трансформатор переменного тока. Один вывод средней точки этого устройства подключен к кругу через токосъемник, а другие три вывода – через управляемые тиристорные выпрямители. Первый с помощью специального устройства для непрерывной правки круга образует электрическую цепь правки круга, второй образует электрическую цепь анодного растворения обрабатываемой детали, третий – электрическую цепь катодного осаждения антифрикционных пленок на круг.

Все управляемые тиристорные выпрямители имеют блоки управления и независимую регулировку от 0 до определенного максимума. Контуры электрических цепей сблокированы с основными технологическими движениями шлифовального станка и работают независимо друг от друга. В зазоры между анодом и катодом электрических цепей подается электролит (рис. 1).

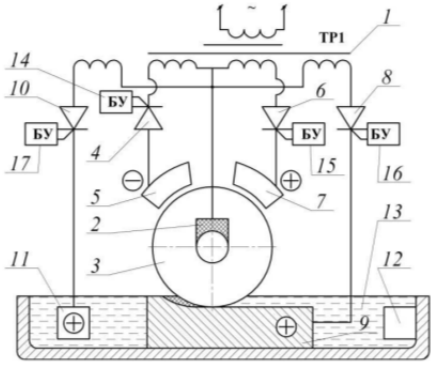


Рис. 1 – Схема устройства для комбинированной электроалмазной обработки с осаждением окисных пленок на поверхностях круга и обрабатываемого изделия

Устройство состоит из трансформатора переменного тока 1, вывод средней точки которого через токосъемник 2 подключен к кругу 3, а другие четыре вывода: первый – через тиристор 4 с помощью специального устройства для непрерывной правки круга 5 образует электрическую цепь правки круга, второй через тиристор 6 с помощью специального катода 7 образует электрическую цепь катодного осаждения пленок на круг, третий через тиристор 8 образует электрическую цепь анодного растворения обрабатываемой детали 9, четвертый через тиристор 10 с помощью специального анода 11, погруженного в неэлектропроводную термостатированную с помощью специального устройства 12 ванну с электролитом 13 образует цепь катодного осаждения пленок на обрабатываемую деталь. Тиристоры управляются блоками управления 14, 15, 16 и 17, они имеют независимую регулировку от 0 до определенного максимума. Контуры всех электрических цепей замыкаются через токосъемник на круг и работают в разнополярных направлениях, сблокированы с основными технологическими движениями шлифовального станка и работают независимо друг от друга. В зазоры между анодом и катодом электрических цепей подается электролит.

В некоторых случаях возможно применение и токонепроводящих брусков или кругов. Работа такими кругами, как показывает опыт [2], может оказаться более эффективной, так как при использовании токопроводящего инструмента необходимо поддерживать устойчивый контакт между ними и деталью. Равномерный подвод электролита в зону обработки оказывается во многих случаях затрудненным, как и поддержание необходимой плотности тока. Трудности возрастают при увеличении площади контакта инструмента с деталью. При применении токонепроводящих кругов это ограничение отпадает, так как круг осуществляет только съем металла. Электрохимическое растворение обеспечивается за счет тока, протекающего между деталью и специальным катодом, который может быть соединен со шлифовальной бабкой и поэтому перемещается вместе с ней, охватывая деталь. Шлифовальный круг при этом может размещаться в вырезе катода [2].

Также были проведены и другие исследования различных показателей комбинированного электроалмазного затачивания (шлифования), таких, как глубина дефектного слоя, производительность, удельный съем материала и др. Растровая электронная микроскопия образцов алмазного круга после комбинированного электрохимического алмазного шлифования в сочетании с одновременной непрерывной правкой круга на примере твердого сплава позволила установить, что поверхность остается развитой и постоянно обновляется за счет поддержания режима самозатачивания. Также отмечено образование на поверхности круга пассивирующих защитных пленок, снижающих интенсивность процесса засаливания [3].

Спектральный анализ образца алмазного круга после комбинированного электроалмазного шлифования твердого сплава свидетельствует о наличии преимущественно углерода – алмаза и элементов связки (Cu, Sn), а также отмечается образование оксидных пассивирующих пленок (рис. 2).

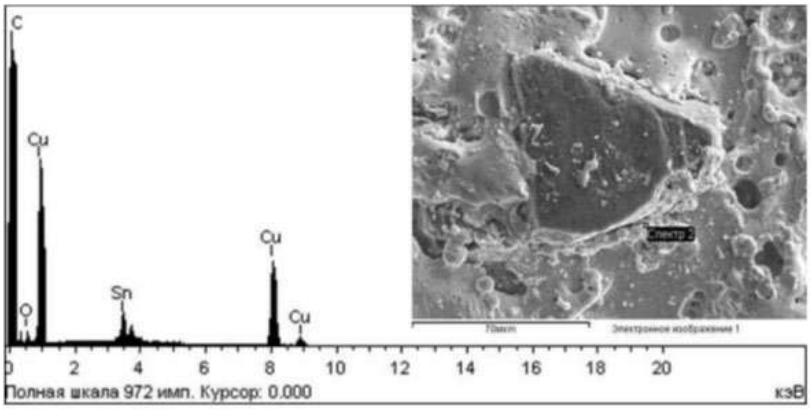


Рис. 2 – Спектральный анализ поверхности образца алмазного круга после комбинированного электроалмазного шлифования

По сравнению с механическим алмазным шлифованием электроалмазное, обеспечивая точность и чистоту обработки по высшему классу, имеет значительно более высокую производительность, меньший износ инструмента и расход алмазов, меньший расход электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янюшкин А. С., Медведева О. И., Янюшкин С. А., Попов В. Ю. Физико-химическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов при комбинированном электрохимическом шлифовании // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. – 2012. Т. 1. – С. 183-190.

2. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Рычков Д. А., Попов В. Ю., Сурьев А. А., Архипов П. В., Лосев Е. Д., Яковец А. В., Черемных А. С. Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке: пат. Рос. Федерация. № 2446039; заявл. 25.03.2010; опубл. 27.03.2012. Бюл. № 9.

3. Лобанов Д. В. Устройство для комбинированной алмазной обработки с непрерывной правкой круга: пат. 2239525. Рос. Федерация. № 2003105413; заявл. 25.02.03; опубл. 10.11.04, Бюл. № 31.

УДК 537.533.621.384

ПРОБЛЕМЫ ПРИМИНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

П. В. Ковалёва, Н. Н. Колбик
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Традиционные методы получения деталей сложной формы (например, механическая обработка точением и фрезерованием), хотя и остаются массовыми, но являются материало- и энергозатратными, что обуславливает стремление развивать новые технологии формирования изделий. Широкое распространение методов, позволяющих изменять свойства изделия за счет добавления дополнительных слоев материала (наплавка, нанесение покрытий различного функционального назначения с применением концентрированных потоков энергии), обеспечило расширение функциональных возможностей деталей и инструмента [1]. В последнее время интенсивно развивается электронно-лучевая обработка(ЭЛО) металлов, приводящее к их нагреву, плавлению и испарению, как новое технологическое направление в области их обработки.

При реализации методов ЭЛО, в зависимости от условий эксплуатации изделий, может проводиться поверхностное упрочнение без изменения химического состава материала основы (стали, титанового сплава и др.), а также с одновременным или предварительным нанесением на основу слоя с отличным от основы химическим составом. При получении неразъемных соединений могут быть получены такие детали, которые, будучи изготовленными из однородных (например, из одной марки стали) или разнородных материалов (детали из разных марок стали или узлы «керамика - металл»), способны противостоять интенсивным внешним воздействиям

Сущность процесса электронно-лучевой обработки состоит в том, что кинетическая энергия сформированного в вакууме тем или иным способом электронного пучка (импульсного или непрерывного) превращается в тепловую в зоне обработки. Так как диапазоны мощности и концентрации энергии в луче велики, то практически возможно получение всех видов термического воздействия на материалы: нагрев до заданных температур, плавления и испарения с очень высокими скоростями [2].

При осуществлении всех электронно-лучевых процессов электронный пучок используют в качестве энергоносителя, который в

соответствующем виде воздействует на обрабатываемый материал. Пучок генерируется в электронной пушке и через выходное отверстие пушки выводится в технологическую вакуумную камеру. В ней размещены или в неё вводятся объекты электронно-лучевого процесса - заготовки или материалы.

При встрече электронного пучка с веществом кинетическая энергия электронов пучка взаимодействующих с атомами вещества, в результате ряда элементарных процессов превращается в другие формы энергии. При сварке, плавке, испарении и термической обработке используется возникающая при этом тепловая энергия. При нетермической обработке и других процессах химической электронно-лучевой технологии столкновения электронов пучка с атомами и молекулами возбуждают и ионизируют последние, вызывая химические реакции между ними. Эти эффекты воздействия электронного пучка на вещество и определяет области электронно-лучевой технологии [3, 4].

В настоящее время во всем мире ни одна отрасль промышленности, связанная с получением соединений и обработкой материалов, не обходится без электронно-лучевого нагрева. Это можно объяснить характерными преимуществами метода, главными из которых являются возможность концентрации энергии от 103 до 5-108 Вт/см2, т. е. во всем диапазоне термического воздействия, ведение процесса в вакууме, что обеспечивает чистоту обрабатываемого материала, а также возможность полной автоматизации процесса. В основном электронно-лучевая технология развивается в трех направлениях: плавки испарении в вакууме, сварки и прецизионной обработки [5].

Электронно-лучевая обработка материалов (ЭЛО) представляет собой передовую технологию, применяемую в различных отраслях, таких как металлургия, микроэлектроника и медицинская техника. Однако, как и любая сложная технология, ЭЛО сталкивается с рядом проблем:

Высокие капитальные затраты на оборудование.

Электронно-лучевые установки являются высокотехнологичными и дорогими в приобретении и обслуживании. Это создает барьеры для небольших предприятий, желающих внедрить эту технологию.

2. Техническая сложность.

Настройка и эксплуатация ЭЛО требуют квалифицированного персонала. Недостаток специалистов может стать серьезным ограничением для многих компаний.

3. Безопасность.

Использование электрона и высоких энергий подразумевает определенные риски. Необходимость соблюдения строгих мер безопасности может удорожать процесс и усложнять его внедрение.

4. Проблемы с качеством.

Одной из основных задач в ЭЛО является достижение однородности обработки. Часто возникают сложности в контроле качества обрабатываемых материалов, что может приводить к дефектам.

5. Экологические аспекты

Некоторые процессы, связанные с ЭЛО, могут вызывать негативное воздействие на окружающую среду. Необходима правильная утилизация отходов и контроль за выбросами.

Несмотря на такое количество проблем данного метода обработки, для них также есть возможные решения:

Инвестиции и финансирование.

Государственные программы и частные инвестиции могут помочь предприятиям приобретать и модернизировать электронно-лучевые установки. Субсидии или льготные кредиты могут облегчить финансовую нагрузку.

Обучение и повышение квалификации кадров.

Внедрение программ обучения и повышения квалификации позволит обеспечить предприятия квалифицированными специалистами, способными эффективно управлять процессами ЭЛО.

Разработка безопасных методов работы.

Создание протоколов безопасности, использование современного оборудования с защитными системами и автоматизация процессов могут существенно снизить риски, связанные с работой с электронными лучами.

Контроль и стандартизация процессов.

Внедрение современных методов контроля качества, таких как автоматизированная диагностика и мониторинг, поможет добиться более высокой однородности и надежности обработки.

Экологичные технологии.

Разработка и внедрение экологически чистых процессов и технологий утилизации отходов помогут снизить негативное воздействие на окружающую среду. Использование альтернативных материалов также может служить решением этой проблемы.

Подводя итоги всего вышесказанного можно сделать вывод, что электронно-лучевая обработка - это перспективная технология с огромным потенциалом, но и с рядом значительных проблем. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего инвестиции, обучение кадров, разработку безопасных методов работы, стандартизацию процессов и внимание к экологическим аспектам. В долгосрочной перспективе успешное внедрение может значительно улучшить качество и производительность многих процессов, открывая новые горизонты для промышленности и науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залесский В. Г., Поболь И. Л., Бакиновский А. А., Губко А. Д., Получение металлических изделий с применением электронно-лучевых аддитивных технологий // Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь. – 2017. – С. 2.

2. Гордиенко Л. И., Поболь И. Л., Проблемы развития электронно-лучевых технологий в Беларуси / Физико-технический институт НАН Беларуси // Разработки ученых и специалистов – С. 12.

3. Солдатенко П. Н., Голубев Ю. П., Электронно-лучевые технологии как универсальный технологический инструмент // Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой.- С.3.

4. Поболь И. Л., Состояние электронно-лучевой обработки материалов/ Оборудование и технология // Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь. – 2007. С.1.

5. Рыкалин Н. Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов / Н. Н. Рыкалин, И. В. Зуев, А. А. Углов. – М. : Машиностроение, 1978. – С.1.

УДК 678.674

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОЕНИЯ

Ф. А. Карчевский[1], Ю. М. Кривогуз[2], Г. К. Корнеевец[1]
[1]Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь;
[2]Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В условиях постоянного развития техники и технологии четко прослеживаются тенденции по замене традиционных материалов на искусственные материалы, получаемые химической промышленностью. Это различные пластмассы и композиты. Одним из успешно применяемых композиционных материалов является стеклопластик [1].

Стеклопластик – это композитный материал, состоящий из материалов связующего – синтетической смолы (полиэфирная смола, эпоксидная смола и т. д.) и армирующего – стекломата, стеклоткани или роввинга. Используется в качестве конструкционного материала в различных областях техники, в том числе и автотракторной.

Широко используется стеклопластик разработчиками и производителями народнохозяйственной техники – кабины, капоты, оперение, крыши тракторов и автомобилей, кузова вездехода и др. Изделия из стеклопластика имеют высокие физико-механические показатели прочности, по которым могут превосходить сталь. Они не подвержены коррозии, устойчивы к химически агрессивным средам, воздействию окружающей среды. Эти факторы определяют долговечность деталей из стеклопластика.

Стеклопластик, как материал композиционного состава, обладает рядом значимых свойств, делающих его привлекательным для различных областей применения. Вот лишь некоторые из них:

1) Низкая теплопроводность, что обеспечивает эффективную теплоизоляцию в конструкциях.

2) Относительно низкая стоимость производства, что делает его экономически выгодным выбором.

3) Высокие показатели механической прочности, обеспечивающие надежность и долговечность изделий.

4) Легкий вес, облегчающий транспортировку и установку.

5) Устойчивость к коррозии, делающая его надежным во влажных и агрессивных средах.

6) Термостойкость, позволяющая использование в широком диапазоне температур.

7) Высокие диэлектрические характеристики, обеспечивающие электрическую изоляцию и безопасность.

Существует распространенное заблуждение, что сталь-несомненный лидер по прочности и надежности среди всех строительных материалов. Однако в свете последних технологических достижений и изучений уникальных свойств стеклопластика, это утверждение можно опровергнуть. Распространенным аргументом в пользу стали является ее высокая прочность. Но сравнивая ее со стеклопластиком, важно учесть [4]:

1) Стеклопластик не уступает стали по прочности, однако он значительно легче. Это не только упрощает его транспортировку и монтаж, но и уменьшает нагрузку на основания и конструкцию.

2) Благодаря отсутствию металлических компонентов, стеклопластик полностью устойчив к воздействию воды и влаги, в отличии от стали, которая со временем подвержена ржавчине и разрушению.

3) Стеклопластик способен сохранять свои свойства при существенных перепадах температур, в то время как сталь может деформироваться или покрываться трещинами.

4) Несмотря на невысокую начальную цену стали, она может приносить дополнительные затраты. В то время как долговечность и устойчивость стеклопластика к негативным воздействиям позволяет сократить дополнительные расходы.

Некоторые сравнительные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение свойств разных материалов

Физико-механические свойства	Стеклопластик	ПВХ	Сталь	Алюминий
Плотность, т/$м^3$	1,6-2,0	1,4	7,8	2,7
Разрушающее напряжение при растяжении, МН/$м^2$	410-1180	41-48	410-780	80-430
Предел прочности при изгибе, МН/$м^2$	690-1240	30-110	400	275
Модуль упругости при растяжении, ГПа	21-41	2,8	210	70
Коэффициент линейного расширения, 10^{-6} $^{o}C^{-1}$	5-14	54-75	11-14	2,2-2,3
Коэффициент тепло-проводности, Вт/м×К	0,3-0,35	0,3	46	140-190

Сейчас и в обозримом будущем доминирующую роль будет принадлежать волокнонаполненным (и, прежде всего, стекло стеклонаполненным) термопластам, огнестойким пластикам и материалам на базе смесей разнородных полимеров. Весьма интенсивно ведутся исследования и отработка технологии нанокомпозитов, молекулярных композитов, динамических вулканизатов и многих других материалов специального назначения [2].

При получении стеклоармированных ПКМ наиболее пристальное внимание уделяется вопросам, связанным с физико-химическими явлениями на границе раздела поверхности волокна с многокомпонентными полимерными матрицами (на базе смесей разнородных полимеров), а также композитам, в которой стекловолокна (СВ) сочетаются с другими типами наполнителей, например, антипиренами, нанонаполнителями.

Одним из видов повышения качества стеклонаполненных композитов является модифицирование их при помощи полиофенов [3].

При получении композитов на основе ПП, наполненного коротким стекловолокном (СВ), наиболее эффективно использовать функционализированные модификации высокоиндексного ПП. Применение ФПП с повышенными значениями ПТР обусловлено тем, что одной из трудностей при реализации технологии получения композитов ПП/СВ является обеспечение смачивания расплавом ПП поверхности СВ и интенсификация межфазовой адгезии. Следует отметить, что обычно для получения ФПП в качестве базового материала используют ПП с относительно низким значением показателя текучести расплава ПТР=3-10 г/10 мин. При функционализации текучести ФПП повышается до 12-40 г/10 мин. Этот уровень значений ПТР в ряде случае оказывается недостаточным для обеспечения удовлетворительного смачивания расплавом ФПП поверхности СВ и реализации потенциальных возможностей системы ПП/СВ/ФПП. С другой стороны, известно, что в промышленном масштабе выпускаются высокоиндексные модификации ПП со значением ПТР около 100г/10 мин. При функционализации подобных продуктов получены супервысокоиндексные модификации ФПП.

Проведя сравнительный анализ свойств стеклопластика, можно с уверенностью сказать, что при грамотном проектировании и изготовлении изделия из стеклопластика используют весь спектр своих положительных свойств и показателей. В результате получается надежное, прочное, эстетическое изделие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение стеклопластиков в автотракторных конструкциях / С. И. Кочетов [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. – 2009. – № 3. – С. 50-53.

2. Песецкий С. С., Мышкин Н. К. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси (обзор) // Полимерные материалы и технологии. Т. 2, 2016, № 4. С. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech-2016-2-4-6-29

3. Кривогуз Ю. М. Влияние функционализированных полиолефинов на структуру и свойства смесевых материалов на основе алифатических полиамидов / Ю. М. Кривогуз, О. А. Макаренко, С. С. Песецкий // Реактив–2018 : тез. докл. XXXI междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–4 октября 2018 г. / Ин-т химии новых материалов НАН Беларуси ; редкол.: В. Е. Агабеков [и др.]. – Минск, 2018. – С. 61.

4. «Инженерный город» - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://inzhcity.ru/blog/stekloplastik-v-sravnenii-so-stalyu/. –Дата доступа: 08.10.2024

УДК 621.762

СЕТЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Л. П. Долгий, А. М. Михальцов, И. Г. Раков, С. В. Марцева
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Выполненные ранее исследования [1] показали возможность и целесообразность подготовки сетчатых фильтров для фильтрации жидких металлов с использованием связующих препаратов на основе кремнезоля. Предварительное опробование подготовленных фильтров на основе стеклосетки типа КС с использованием расплава чугуна, нагретого до температуры 1450°С, показало их высокую термическую устойчивость, отсутствие газообразования.

Для широкого использования предлагаемой технологии подготовки фильтров необходимо определить, как изменяются параметры сетки после ее обработки, в частности, ее масса и эффективная площадь фильтрации.

При нанесении покрытий на стеклосетки, масса последних существенно возрастает (рис. 1). Особенно заметно это при первичном нанесении покрытия, что обусловлено проникновением материала покрытия в межнитиевое пространство стеклосеток. При последующих обработках количество адсорбированного сеткой материала покрытия прогрессивно уменьшается. При этом масса фильтра по сравнению с массой исходной сетки увеличивается на 50% после трехкратной обработки. То есть поверхностный слой фильтра полностью состоит из двуокиси кремния, образующегося в результате золь-гель перехода.

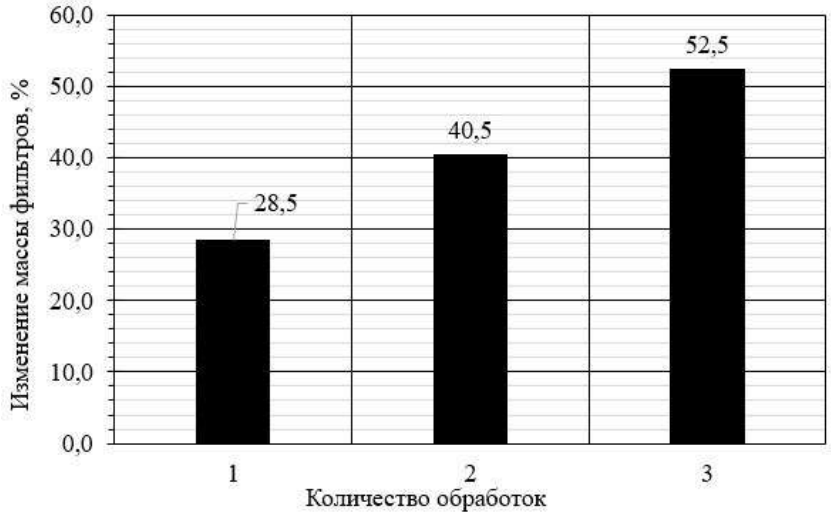


Рис. 1 – Изменение массы фильтров при нанесении термоупрочняющих покрытий

Важным представляется определить, как это скажется на эффективной площади фильтрации готовых фильтров, иначе говоря, на их пропускной способности. С этой целью была разработана специальная методика определения эффективной площади фильтров до и после обработок исходных сеток. Образцы исходной и обработанных сеток сканировались с использованием сканера HP Scanjet 4370. Обработка полученных снимков производилась в программе Photoshop. Для увеличения контрастности на границах ячеек при сканировании применяли черную бумагу, так как материал сетки и покрытия имеет четко выраженный белый цвет. Кроме того, производилась обработка снимков с целью удаления так называемых артефактов, образовавшихся за счет ворсинок сетки и частичного осыпания материала покрытия (рис. 2).

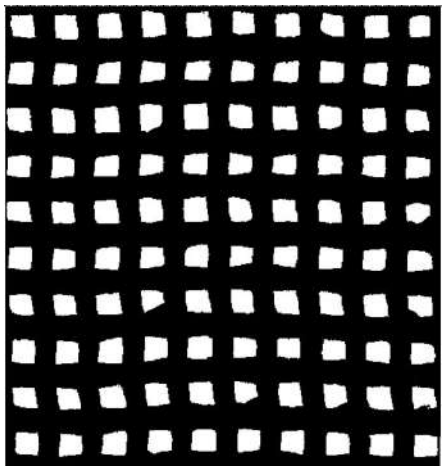


Рис. 2 – Отсканированная и обработанная сетка после двукратного нанесения покрытия

Площадь ячеек определялась в пикселях. Полученное значение записывалось в таблицу Excel, с помощью которой и рассчитывалось эффективное значение площади фильтра. Данная методика использовалась как для исходных образцов сетки КС, так и для образцов сетки, прошедших заданную обработку. Все операции проводились с использованием эмульсии, содержащей 14% этилсиликата в сиалите.

Полученные данные приведены на рис. 3. Предполагалось, что при нанесении термостойкого покрытия эффективная площадь фильтров может уменьшиться за счет образующегося слоя покрытия. На практике, при первичной обработке сетки, эффективная площадь фильтра увеличивается почти на 7%. Это можно объяснить утягивающим действием раствора сиалита, обусловленным уменьшением его объема за счет испарения содержащейся воды при зол-гель превращении.

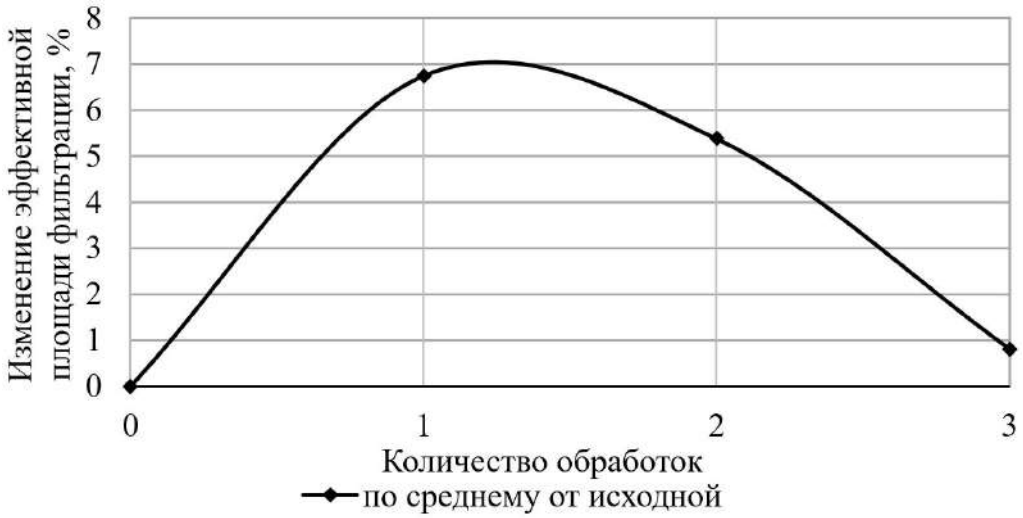


Рис. 3 – Изменение эффективной площади фильтрации в зависимости от количества обработок

При втором и третьем нанесении слоя покрытия эффективная площадь фильтрации ожидаемо снижается, а само формирование слоя происходит на уже затвердевшей поверхности, препятствующей усадке вновь нанесенного слоя. Особенно это явление заметно при формировании третьего слоя.

Таким образом, эффективная площадь фильтрации изготавливаемых фильтров не уменьшается при нанесении на них покрытий на основе кремнезолей вплоть до 3-х кратной обработки в растворе этилсиликата в сиалите.

В практике литейного производства нередко возникает потребность в использовании конструкции фильтров, отличных от плоских, например, при литье сплавов под низким давлением.

Изготовление фигурных фильтров отрабатывали с использованием сетки типа ССФ. В качестве связующего применяли 14 % раствор этил силиката в сиалите. Подготовленное по заданным размерам полотно сетки помещали в раствор этилсиликата в сиалите на 3 минуты. С целью более полного проникновения последнего в межниточный объем сетки ее слегка проминали. Извлеченную из раствора сетку подвешивали в вертикальном положении на 5 минут для удаления излишков раствора. Далее сетку помещали на одну из специально подготовленных матриц и с помощью пуансона формировали соответствующий профиль фильтра (рис. 4).

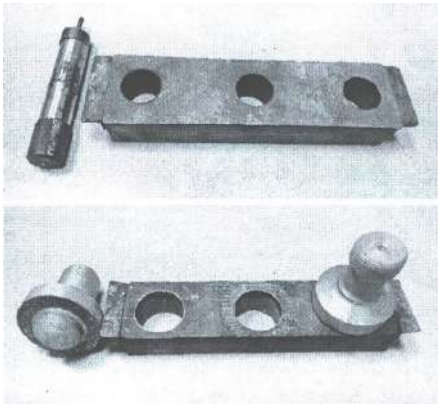
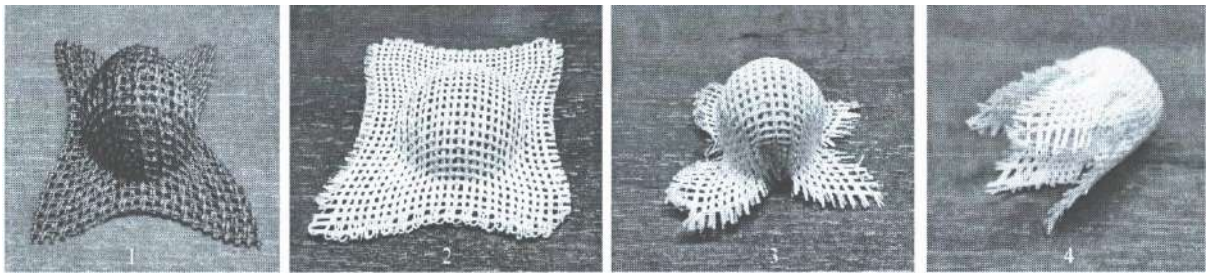


Рис. 4 – Технологическая оснастка для получения фасонных фильтров

После выдержки в течение 3-5 минут пуансон с зафиксированной на нем сеткой извлекали из матрицы и подвергали провяливанию в потоке воздуха при температуре 27-30°С. Следует отметить, что во время выполнения операций выдержки и провяливания и происходит золь-гель переход с формированием объемного каркаса соединения SiO_2 на поверхности сетки.

После операции провяливания в течение 1,5 часа сетка приобретает необходимую прочность, позволяющую отделить ее от поверхности пуансона, с сохранением приданной ей формы (рис. 5). Операция прокаливания для полного удаления влаги производилась при температуре 180ºС в течение 1 часа. При этом конфигурация сеток не претерпевает пространственных изменений.



1 2 3 4

Рис. 5 – Фасонные фильтры специального назначения: 1, 2, 3 – фильтры для условий гравитационной заливки, 4 – для установки в канал при литье с избыточным давлением

Проведенные исследования по определению термической устойчивости фильтров, изготовленных по предложенным технологиям, показали хороший результат даже при фильтрации стали 45 при температуре заливки 1570-1590°С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгий Л. П. Влияние армирующей пропитки на прочность сетчатых фильтров / Л.П. Долгий, А.М, Михальцов и др. // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ. 2023. – Вып. 44, с. 61-67.

УДК 004.055/004.51/58

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ДИСПЛЕЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ ОНЛАЙН-СЕРВИСА FIGMA

Д. Н. Костунова, П. А. Москаленко
ОАО «Петербургский тракторный завод»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье описан процесс разработки интерфейса дисплея для промышленной техники в онлайн-сервисе Figma.

Делается акцент на возможности разработки макета дисплея, с заданными параметрами и характеристиками, в то же время, обладающего индивидуальностью и эксклюзивностью, в короткий срок и без привлечения дизайнеров и программистов.

Рассмотрены преимущества работы в онлайн-сервисе Figma для инженера.

Введение

Развитие современных машин для промышленности неразрывно связано с непрерывно расширяющимся применением инновационных технологий в сфере средств визуализации и отображения информации (в том числе о состоянии машины, ее исполнительных устройств, окружающей обстановке).

К ним предъявляются высокие требования по эксплуатационным и техническим параметрам.

Чтобы создать высокотехнологичное изделие, которое удовлетворит заказчика и составит конкуренцию среди аналогичных изделий, инженер-проектировщик должен совмещать в себе в том числе маркетолога и дизайнера. А значит при разработке нового изделия ему надо объединить несколько программ разных направлений.

Figma — это онлайн-графический редактор, который используется для создания дизайна интерфейсов, прототипирования и работы с векторными изображениями.

В нем можно прорисовать элементы интерфейса, создать интерактивный прототип, иллюстрации, векторную графику, получить код и передать производителям дисплея для разработки ПО.

Создав прототип дисплея, прорисовав кнопки, иконки, формы обратной связи и настроив эффекты: кликабельные элементы, раскрываемые списки, анимация для блоков и т.д., проще оценить, как им будут пользоваться.

В итоге можно сразу понять, не только как будет выглядеть дизайн на экране компьютера, смартфона или планшета, но и проверить его функциональность и удобство пользования.

Проведенная работа и результат

Сам процесс разработки интерфейса дисплея условно можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе был определен перечень информационных сигналов, передающих значения с датчиков, которые необходимо отразить на экране, произведено их деление по функциональным группам, подобраны символы по ГОСТ ISO 7000:2019

Второй этап состоял в прорисовке «окон» и отдельно всплывающих элементов дисплея в программе Figma:

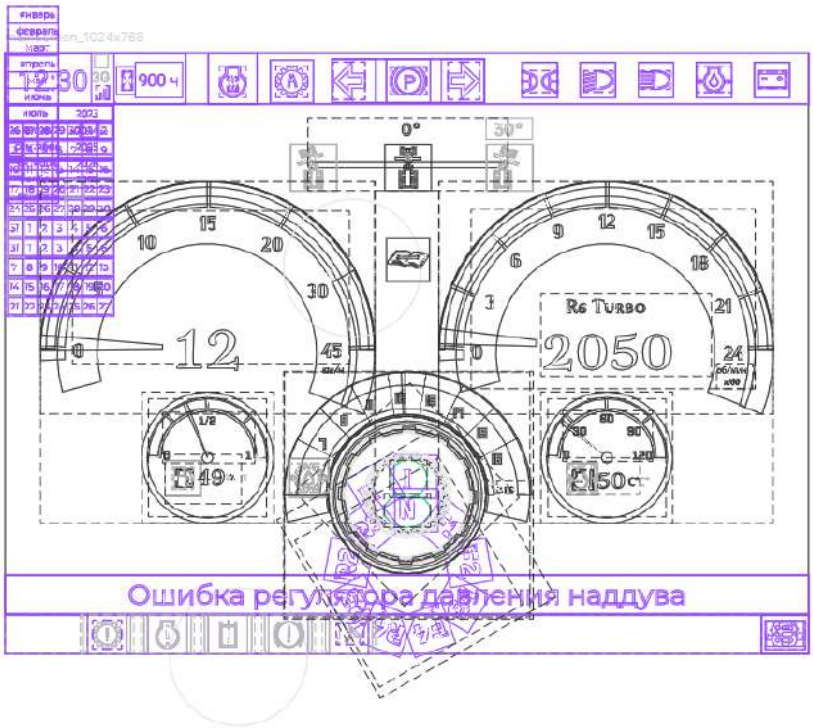


Рис. 1 – Рабочее «окно» в программе Figma с отображением скрытых слоев

Далее проработаны расположения информирующих знаков, которые можно расположить в одной области с наложением друг на друга, дающих различную информацию и взаимоисключающих их дновременное возникновение:

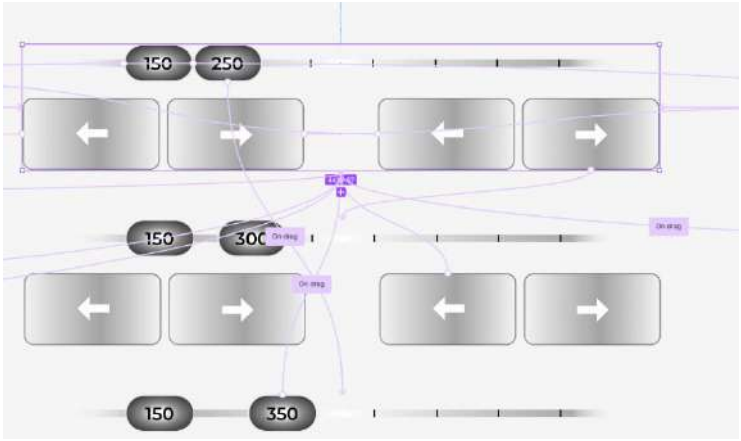


Рис. 2 – Рабочее «окно» в программе Figma с логическими связями

На третьем этапе интерфейс дисплея приобрел свой неповторимый стиль. Проведена работа с градиентом для задания 3D стилистики, а также копирайтинг для быстрого и приоритетного восприятия информации и назначение этим переходам определенных взаимодействий (свайп, клик, пролистывание), способ взаимодействия выбирался исходя из удобства и интуитивно понятного управления.

Таким образом были заданы логические условия появления состояний одного элемента, наподобие графам состояний цифровых автоматов.



Рис. 3 – Внешний вид гласного «окна» дисплея

Создано «окно-список» неисправностей машины. С функцией записи ошибок в журнал и времени их появления, возможностью их удаления:

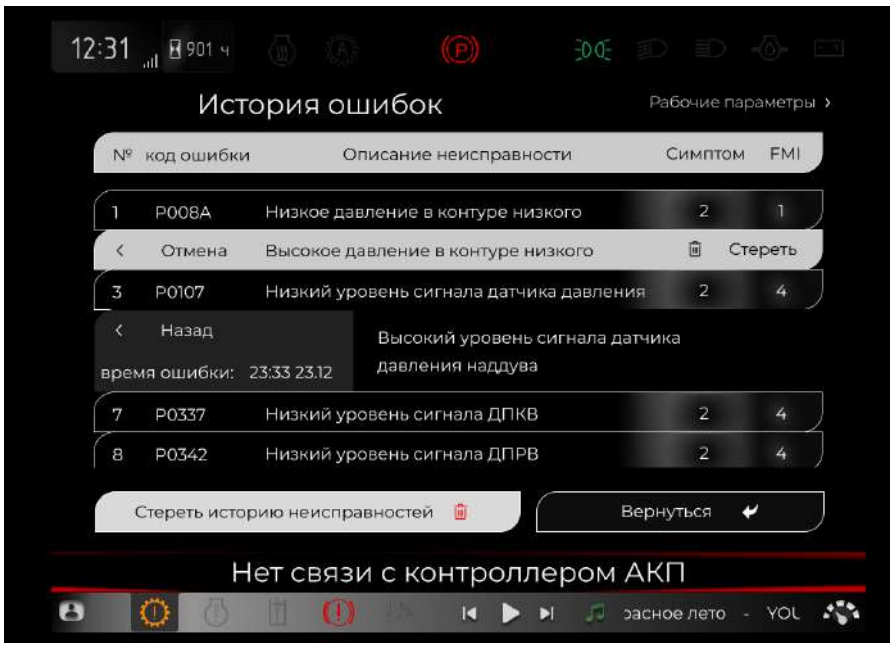


Рис. 4 – «Окно» неисправностей

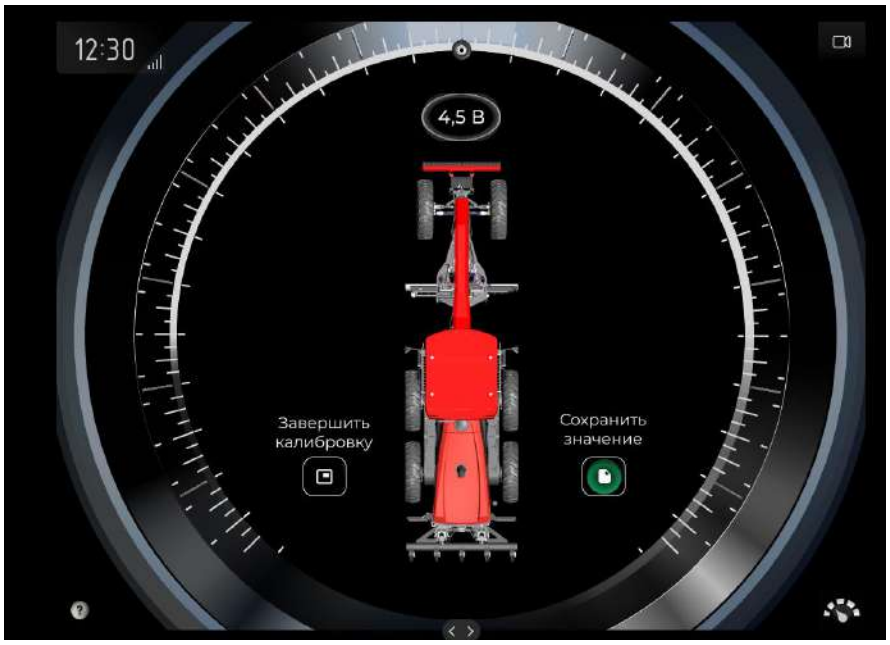


Рис. 5 – «Окно» настройки и калибровки оборудования

Окно настройки оборудования позволяет записать значения токов, режима и времени задержки срабатывания в постоянную память, для того чтобы пользователь мог настроить комфортное управление.

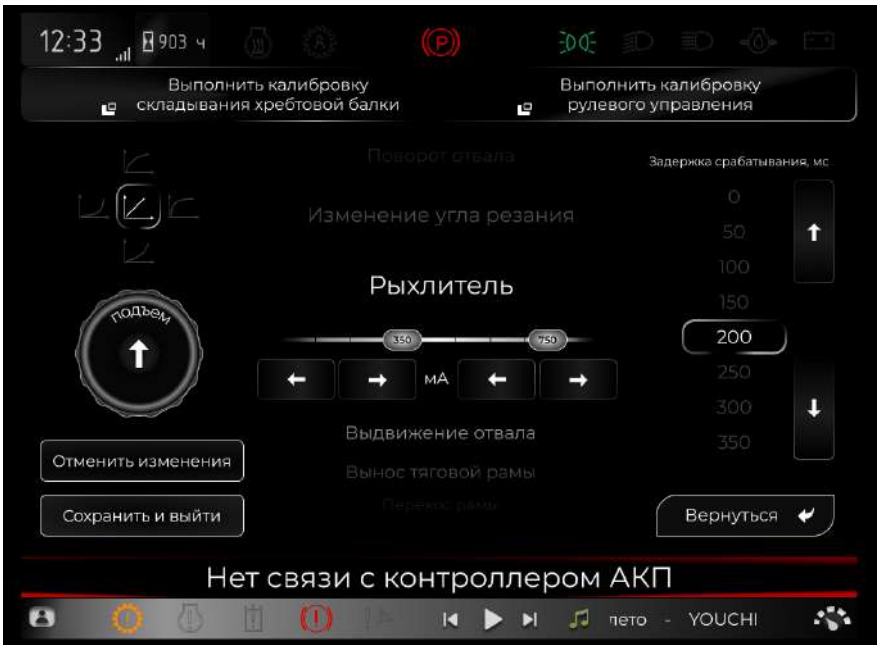


Рис. 6 – «Окно» настроек оборудования

На четвёртом этапе, получившийся в web-приложении прототип дисплея, был отправлен в виде ссылки, инженерам различных направлений, механизаторам, испытателям для проверки функциональности, удобства, правильности и корректности отображаемой информации, получения компетентных замечаний.

Одна из особенностей Figma - возможность работать в сервисе из браузера, с любого устройства и в любой операционной системе, просматривать и проверять функциональность можно одновременно. В связи с этим, процесс согласования интерфейса прошел в очень короткий срок.

На этом этапе проверялась работоспособность, техническая часть, показания датчиков, настроек и калибровок.

Далее из дерева проекта был скопирован код, который автоматически генерируется в один из актуальных языков программирования (CSS, iOS, Android). Данный код используется для разработки ПО, упрощая работу программиста и, использовав который в связке с языком C++, было получено конечное ПО для прошивки дисплея в таком виде как было задумано инженером.

Вывод

Инженер - это творческий профессионал, который превращает идеи в реальность. Конструкторские решения инженера - результат его умственного труда и технического мастерства.

В данном случае, использовав в работе инженера онлайн-сервис Figma для дизайнеров, разработчиков сайтов и различных приложений, был получен прототип дисплея, отвечающий всем необходимым

характеристикам, создан с одной стороны дружественный и интуитивно понятный интерфейс, с другой стороны- авторский, оригинальный. Затрачено минимум времени на отладку.

Внедрение нейросетей и искусственного интеллекта все глубже проникает во все сферы деятельности человека, с каждым годом наблюдается все большая автоматизация различных процессов, но творческая составляющая и настройка ПО останется за человеком. Поэтому так важно, используя доступные ресурсы и инновации, реализовывать идеи, разрабатывать что-то новое, технологичное и конкурентоспособное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по Figma (Russian) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.figma.com/community/file/813826100927416632, свободный.

2. Саша Окунев – Руководство по Figma v 1.3 Beta, 2019. – 264 с.

УДК 621.43

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ШЕСТИЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. С. Куцак
ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация

В данной работе было проведено моделирование системы охлаждения 6-ти-цилиндрового дизельного двигателя, проанализирован характер течения охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения, получено распределение средних и максимальных значений температуры охлаждающей жидкости по цилиндрам, исследовано влияние напорной характеристики жидкостного и масляного насосов на итоговые результаты расчетов.

Введение

Прогнозируемая работа системы охлаждения ДВС существенным образом влияет на отказоустойчивость всего двигателя. В ее задачи входит поддержание оптимальной рабочей температуры в двигателе, поскольку повышенные температуры влекут за собой деформации структурных элементов двигателя и последующем выходе его из строя. В то же время пониженные температуры так же нежелательны, поскольку при этом повышаются потери в системе смазки в виду ее повышенной вязкости ухудшается процесс воспламенения и горения в двигателе, что снижает его мощность и увеличивает расход горючего, увеличивается износ поршневых колец и цилиндров [1, 2].

При проектировании системы охлаждения учитывается тепловая напряженность деталей двигателя. Тепловая напряженность характеризует уровень температуры его основных деталей и определяет допускаемую из условий прочности применяемых материалов термическую нагрузку для них. Особую значимость исследование теплового состояния двигателя приобретает в случае современных форсированных двигателей, поскольку от теплового состояния деталей зависит и прочностные свойства материалов [3]. Нередко именно тепловая напряженность, обусловленная температурными режимами деталей, является определяющей несмотря на наличие высокого уровня механических напряжений, поскольку не всегда они достигают критических значений [4].

Необходимость моделирования системы охлаждения двигателя обуславливается трудностями при проведении экспериментальных работ по оценке работы системы охлаждения внутри двигателя в связи с расположением рубашки системы охлаждения непосредственно внутри

блока цилиндров и головки блока цилиндров. Моделирование системы охлаждения при помощи программных пакетов инженерного анализа механики сплошных сред, в которых реализованы методы вычислительной гидрогазодинамики (CFD моделирование) позволит получить данные о распределении температуры в расчетной области модели, оценить характер течения охлаждающей жидкости, выполнить расчеты различных вариантов разрабатываемой конструкции.

В данной работе выполнялась оценка работы системы охлаждения путем моделирования течения охлаждающей жидкости в рубашке системы охлаждения 6-ти-цилиндрового дизельного двигателя при помощи программного пакета инженерного анализа механики сплошных сред Simcenter STAR-CCM+.

Цель исследования

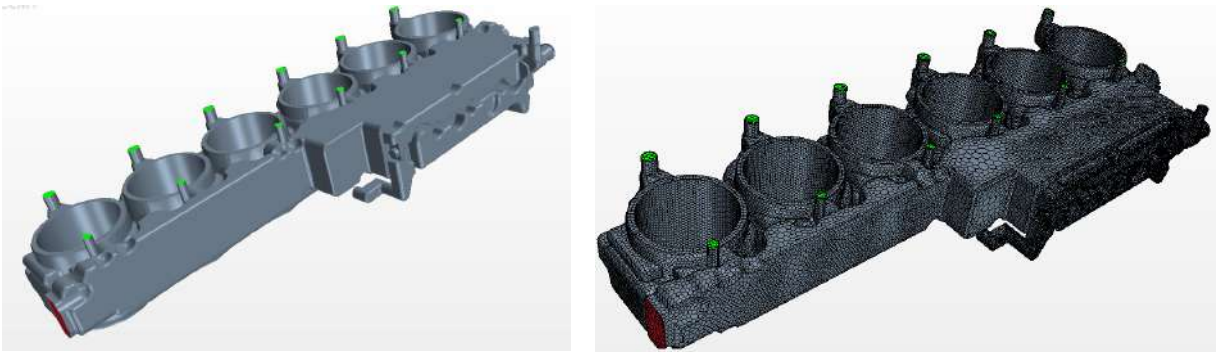
Апробация метода проведения исследовательских работ по изучению работы жидкостной системы охлаждения двигателя.

Задачи исследования

Определение температурных полей и характера течения охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения.

Методы исследования

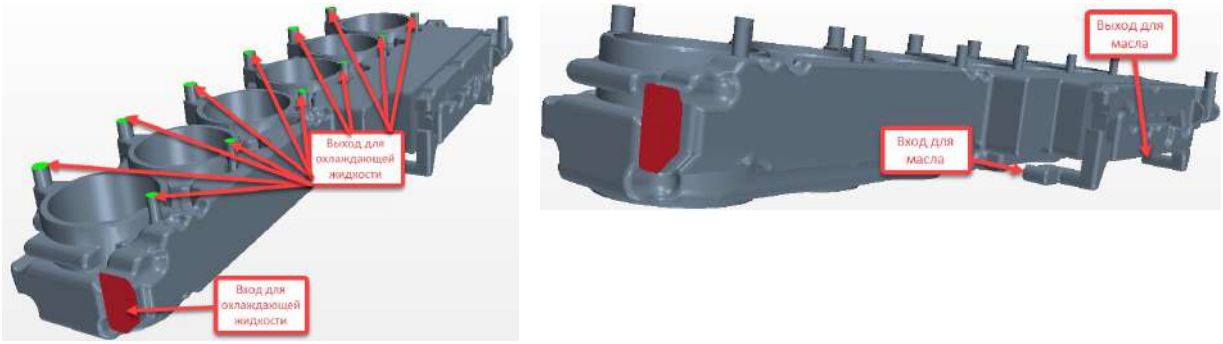
В программном обеспечении CAD-моделирования была построена 3D твердотельная модель сборки, состоящая из части рубашки охлаждения, которая относится к блоку цилиндров, радиатора, внутреннего объема радиатора, внутреннего объема теплообменника и гильз цилиндров (рис. 1 а). На основании данной геометрии была построена конечно-элементная (КЭ) сетка сборки (рис. 1 б).



а б

Рис. 1 – 3D твердотельная и КЭ модели сборки

В качестве граничных условий были определены входные и выходные сечения для охлаждающей жидкости и масла, которым задавались соответствующие параметры области (рис. 2).



а б

Рис. 2 – Граничные условия для входа и выхода потоков

Начальные условия температуры на входе оставались неизменными на протяжении всей работы. Скорости течения на входе задавались для расчета номинального режима работы – 7,204 м/с для масла и 0,814 м/с для охлаждающей жидкости. Дополнительно для оценки влияния напорной характеристики были посчитаны варианты с меньшими значениями начальной скорости согласно данным, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 - Начальные условия скоростей течения жидкостей на входе

Режим работы дизеля, мин$^{-1}$	Скорость масла на входе, м/с	Скорость охлаждающей жидкости на входе, м/с
2100 (номинальный)	7,204	0,814
900	3,087	0,216
1200	4,117	0,337
1500	5,146	0,460
1800	6,175	0,588

Для гильз цилиндров задавалось распределение температуры по внутренней поверхности. Данные по температурному полю внутренней поверхности гильзы взяты из результатов испытаний [5] и применялись для расчетов модели на всех режимах. Используемые данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Распределение температуры по внутренней поверхности гильзы

% от хода поршня вдоль цилиндра	Температура, ^{0}C
0	226,7
5	186,8
10	169,6
15	165,8
20	159,0
25	158,1
30	154,6

Продолжение Таблицы 2

35	154,6
40	152,2
45	155,5
50	154,5
55	155,6
60	155,6
65	155,1
70	155,8
75	155,0
80	155,7
85	157,8
90	157,8
95	157,8
100	157,8

Результаты исследований

В ходе анализа распределения температуры в рубашке охлаждения наблюдается неравномерное распределение температур по окружности в верхних частях каждого из цилиндров (рис. 3).

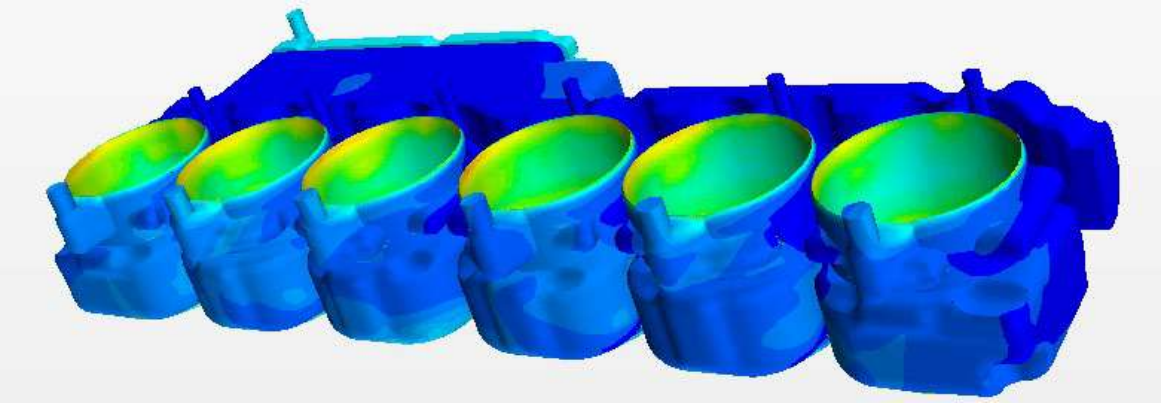
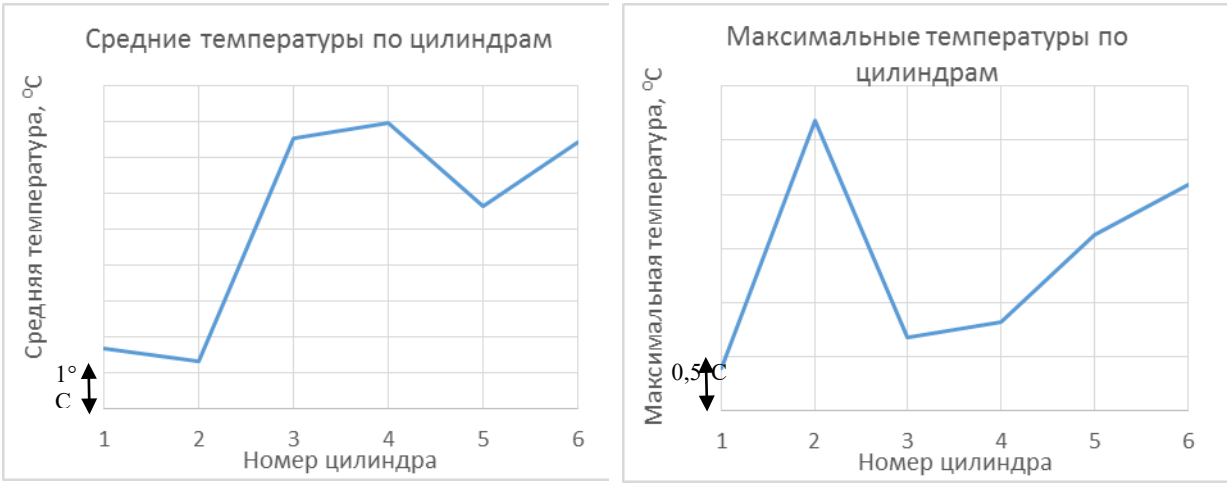


Рис. 3 – Распределение температуры в расчетной области

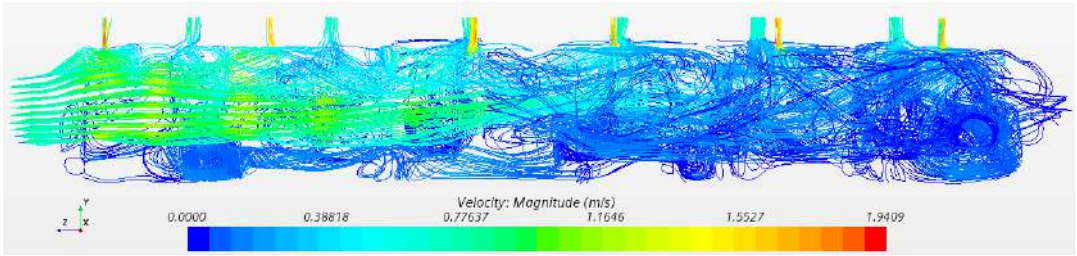
Максимальное значение температуры в точке было зафиксировано на втором цилиндре. Для второго цилиндра отмечается и наименьшее значение средней температуры по поверхности. Отмечается существенное повышение средней температуры по поверхности третьего цилиндра относительно второго. Максимальная средняя температура наблюдается на четвертом цилиндре. Наблюдается тенденция повышения максимального значения температуры в точке в зависимости от удаления цилиндра от входного сечения. Распределение значений максимальных и средних температур по цилиндрам приведено на рис. 4.



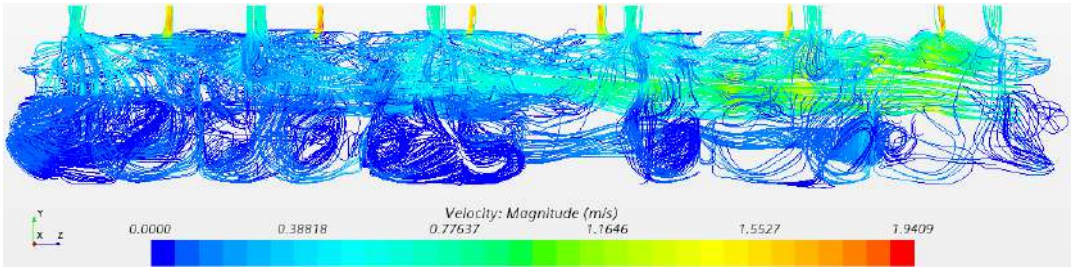
а б

Рис. 4 – Распределение средних (а) и максимальных (б) температур по цилиндрам

Анализ течения охлаждающей жидкости показал, что наблюдается равномерный поток от входной области до прохождения потоком 3-го цилиндра. По мере удаления от входного сечения скорость течения жидкости значительно снижается и приобретает турбулентный характер (рис. 5 а). Данное явление существенно снижает эффективность работы системы охлаждения [6]. Также наблюдается большое количество вихревых зон с противоположной стороны относительно (рис. 5 б).



а



б

Рис. 5 – Распределение скорости течения охлаждающей жидкости

Заметно неравномерное распределение температуры по окружности в области максимальной температуры во всех цилиндрах, что объясняется характером течения охлаждающей жидкости – присутствует существенное

изменение величины скорости течения по периметру окружности для каждого из цилиндров (рис. 6).

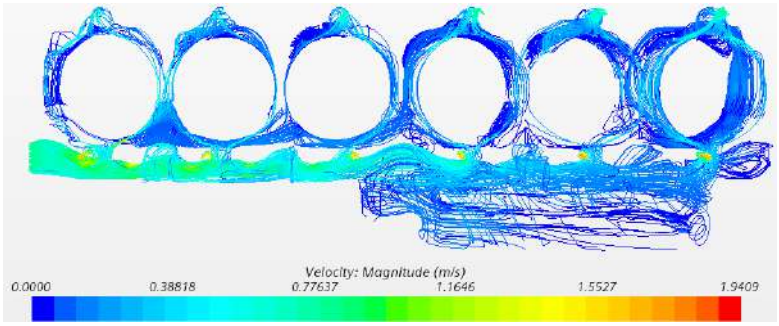


Рис. 6 – Распределение скорости течения охлаждающей жидкости (вид сверху)

По результатам моделирования при различных напорных характеристиках масляного и жидкостного насосов была получена линейная зависимость максимальной и средней температуры от выбранного режима (рис. 7). Установлено, что отличие между значениями максимальной температуры от наименьшей до наибольшей частоты вращения составляет 14,8°С, между значениями средней температуры – 8,8°С. Наименьшие значения были зафиксированы при номинальном режиме, максимальные температуры – при наименее скоростном режиме. Это согласуется с известными данными схожих исследований в виду того, что конвективный теплообмен повышается при увеличении массового расхода охладителя [7].

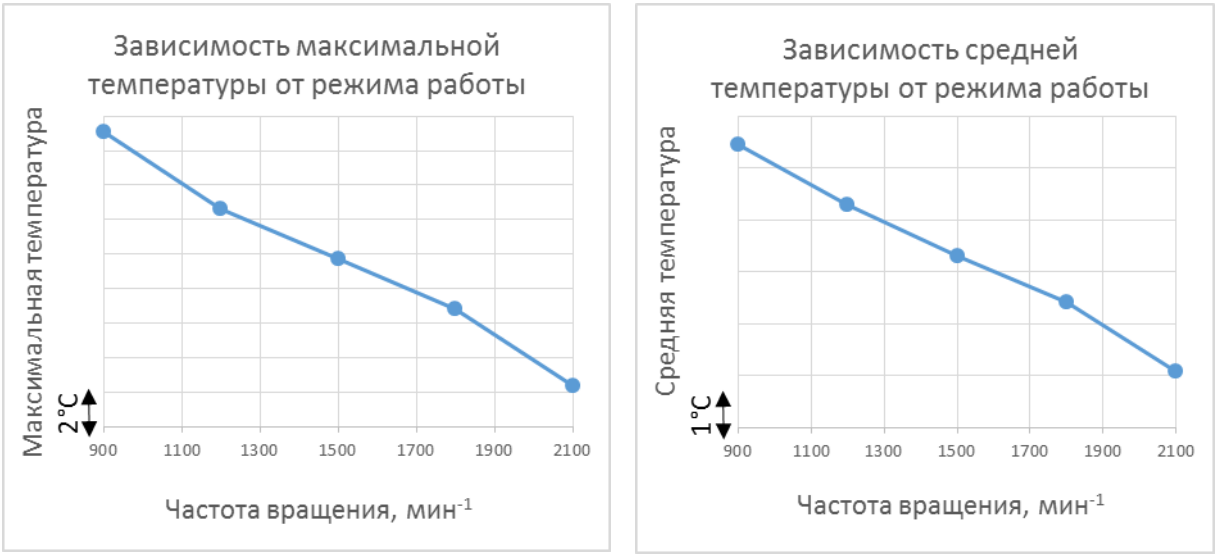


Рис. 7 – Зависимость максимальной (а) и средней (б) температуры в системе охлаждения от режима работы двигателя

Выводы

В ходе выполнения данной работы было проведено исследование течения охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения дизельного шестицилиндрового двигателя, проанализирован характер потоков, распределение температур по цилиндрам при различных режимах работы. Зафиксировано неравномерное распределение температуры по периметру окружности в каждом из цилиндров, что связано с неравномерностью потока жидкости. Одним из решений данной проблемы может быть предложена оптимизация геометрии рубашки охлаждения. Была установлена зависимость температуры от массового расхода охладителя, которая является близкой к линейной. Различие максимальных и средних значений между наименее и наиболее скоростными режимами работы, приведенные в данной исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васковская Н. В. / Влияние отрицательных температур на работу двигателей внутреннего сгорания / БНТУ 2013

2. Буторин В. Ф., Черменина Е. А., Анисимов И. А. Работа двигателей в условиях низких температур. Анализ методов прогрева // Вестник СибАДИ. 2010. №17)

3. Конструирование и расчет поршневых двигателей: учебник для вузов / Н. Д. Чайнов, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков ; под ред. Н. Д. Чайнова. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 536 с. : ил. ISBN 978-5-7038-4854-8

4. Шароглазов Б. А., Фарафонтов М. Ф., Клементьев В. В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания». – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 403 с

5. Eroglu S., “Coupling of CFD analysis of the coolant flow with the FE thermal analysis of a diesel engine,” Loughborough University, ISBN 0403694477, 2007

6. Shunshun Qin et al.: CFD Analysis and Optimization of a Diesel Engine Cooling Water Jacket / Fluid Dynamics & Materials Processing 18(3):647-659, 2022

7. Johansson A. / Internal Combustion Engine Coolant Jacket design guidelines study with 3D CHT-CFD / Department of Mechanics and Maritime Sciences Division of Fluid Dynamics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY / Goteborg, Sweden 2019

УДК 621.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ СПЛОШНЫХ СРЕД НА ПРИМЕРЕ ЭТАЛОННЫХ ЗАДАЧ

А. С. Куцак
ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация

В данной работе было выполнено моделирование течения турбулентных потоков сплошных сред. За основу были взяты эталонные задачи, представленные в ГОСТ 57700.17-2018. Результаты расчетов были проанализированы в сравнении с приведенными в стандарте.

Введение

На сегодняшний момент наибольший практический интерес в области гидрогазодинамики представляют турбулентные потоки. В программных пакетах для проведения инженерного анализа вычислительной гидрогазодинамики реализованы следующие основные модели расчета турбулентных течений:

- Прямое численное моделирование (DNS);
- Решение уравнений Навье-Стокса с осреднением по Рейнольдсу (RANS);
- Моделирование крупных вихрей (LES).

Среди них при решении задач моделирования турбулентных течений чаще всего применяется модель RANS за счет наименьших требований к вычислительным ресурсам.

При этом, нередко имеется необходимость проверки результатов моделирования на соответствие ожидаемым результатам. В случае с моделированием течения жидкостей и газов это имеет особое значение, поскольку в многокомпонентных комплексных системах не всегда имеется возможности провести экспериментальные исследования. Следовательно, целесообразно проводить отработку методик расчетных исследований на простых примерах.

Было установлено, что в ГОСТ 57700.17-2018 [1] определены эталоны для численного моделирования турбулентных течений, в которых приведены конкретные объекты исследования (расчетные области), начальные условия, а также результаты, полученные в ходе выполнения исследований. Исследования выполнялись расчетными методами, результаты выполненных работ были проверены научным сообществом и представлены на научных конференциях или опубликованы в специализированных журналах.

Цель исследования

Валидация программного пакета Simcenter STAR-CCM+ на примере расчета эталонных задач.

Методы исследования

На данном этапе были выполнены расчетные исследования следующих эталонов: течение Куэтта с неподвижной волнистой стенкой, обтекание 2D холма в канале, обтекание обратного уступа.

Для моделирования задачи течения Куэтта была построена 3D твердотельная модель тела, состоящего из плоской стенки с одной стороны и волнистой с противоположной. На основании полученной модели была сгенерирована конечно-элементная (КЭ) сетка расчетной области. Перед выполнением расчета задавалась физическая модель расчетной области. Данная задача была сформулирована в трехмерной постановке, были применены модель решения уравнений Навье-Стокса с усреднением по Рейнольдсу и модель турбулентности k-ω. Среда – воздух.

Для моделирования течения жидкости вокруг препятствия в виде 2D холма была построена 2D твердотельная модель тела, состоящего из плоской стенки с одной стороны и стенки с препятствием с другой. На основании данной модели была сгенерирована КЭ сетка расчетной области. Данная задача была сформулирована в двухмерной постановке, были применены модель решения уравнений Навье-Стокса с усреднением по Рейнольдсу и модель турбулентности по Рейнольдсу. Среда – вода.

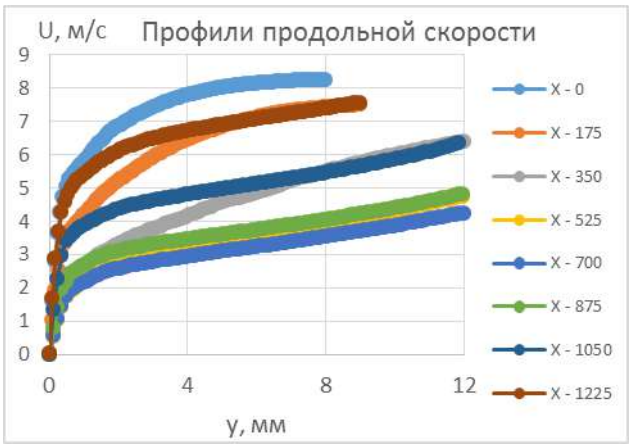
Для моделирования обтекания обратного уступа жидкостью была построена 2D твердотельная модель тела, состоящего из плоской стенки с одной стороны и стенки с препятствием с другой. На основании данной модели была сгенерирована КЭ сетка расчетной области. Данная задача была сформулирована в двухмерной постановке, были применены модель решения уравнений Навье-Стокса с усреднением по Рейнольдсу и модель турбулентности по Рейнольдсу. Среда – воздух.

Результаты исследований

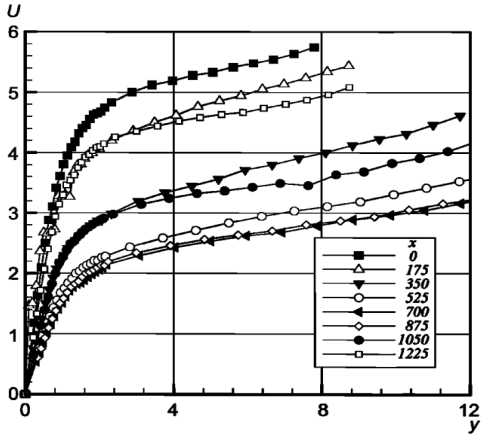
Течение Куэтта

Сравнение результатов выполнялось для восьми поперечных сечений $x_n = n * 175$мм представлены профили продольной и поперечной скорости (U(y), V(y)). Поперечная координата y направлена сверху вниз. Представленные данные покрывают область вблизи волнистой стенки и центральную часть канала.

Заметно, что общая форма полученных графиков профилей скоростей имеет сходимость. В то же время отличия по величинам скорости составляет 25-30% по продольному направлению (рис. 1), а по поперечному направлению отличия величиной в один порядок (рис. 2).

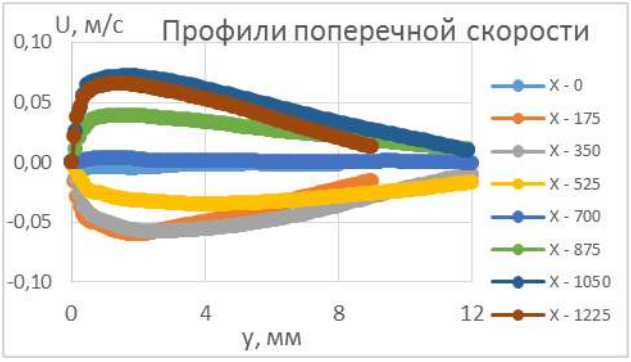


а

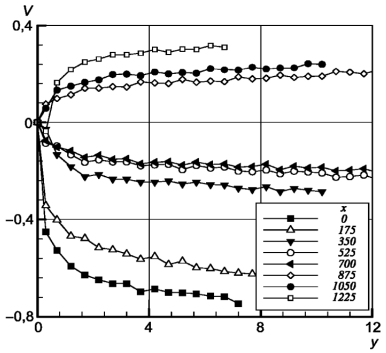


б

Рис. 1 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи течения Куэтта в продольном направлении согласно расчету (а) и данным из ГОСТ 57700.17-2018 (б)



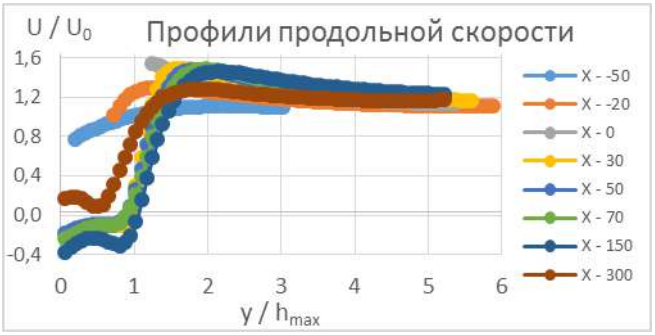
а



б

Рис. 2 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи течения Куэтта в поперечном направлении согласно расчету (а) и данным из ГОСТ 57700.17-2018 (б)

Обтекание 2D холма. Сравнение результатов выполнялось по вертикальной координате двух компонент средней скорости (U(y), V(y)) в нескольких сечениях вдоль потока, начиная с сечения x = -50 мм и заканчивая сечением x = 300 мм. Расхождение результатов расчета составляет от 30 до 50%, однако форма графиков профилей скорости по-прежнему имеет высокую сходимость. Необходимо выполнение дальнейших исследований для определения факторов, которые влияют на величину скорости потока в расчетной области, как и в случаях выше (рис. 3 и 4).



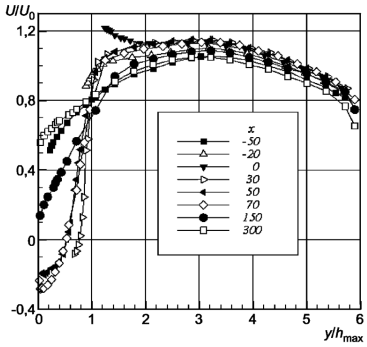
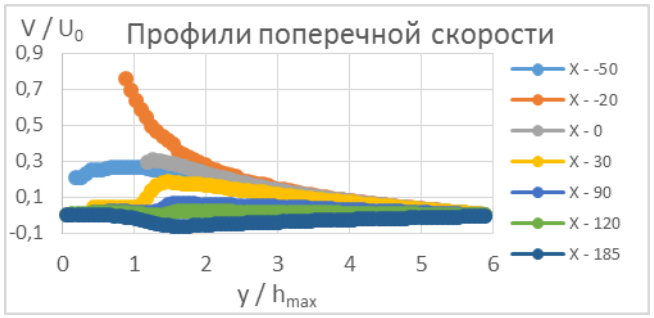


Рис. 3 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи обтекания 2D холма в продольном направлении согласно расчету (а) и данным из ГОСТ 57700.17-2018 (б)



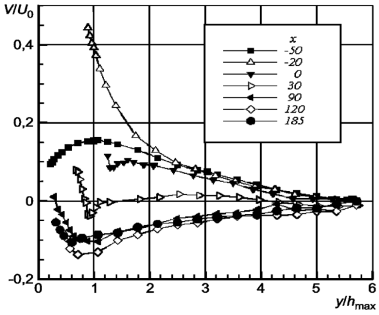
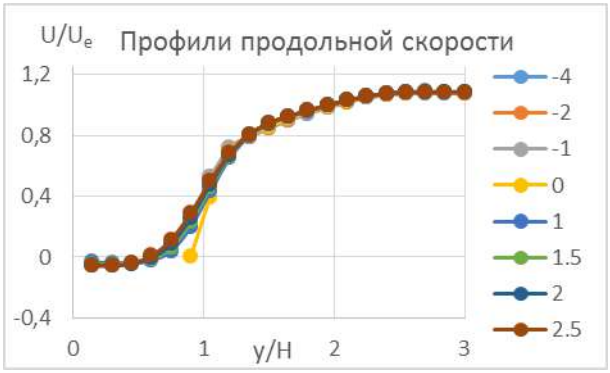
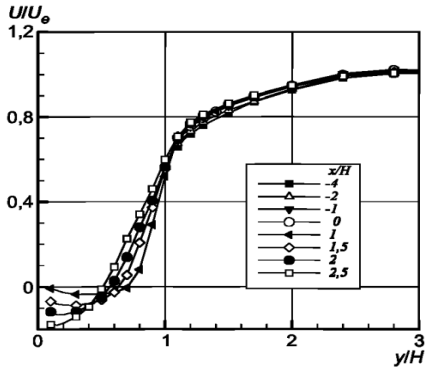
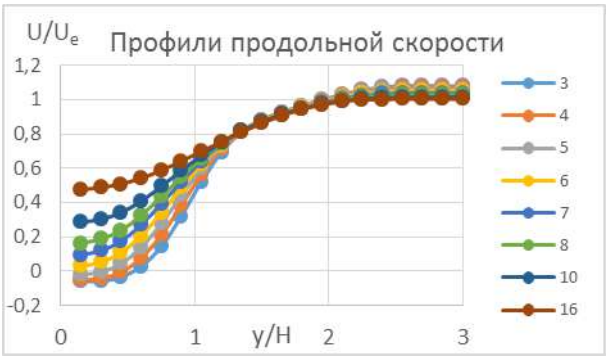


Рис. 4 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи обтекания 2D холма в поперечном направлении согласно расчету и данным из ГОСТ 57700.17-2018

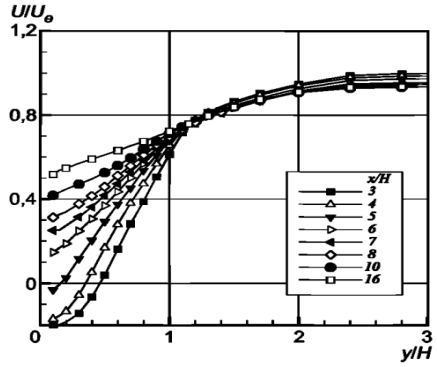
Обтекание обратного уступа. Сравнение результатов выполнялось по вертикальной координате двух компонент средней скорости (U(y), V(y)) в нескольких сечениях вдоль потока, (сечение x = 0 соответствует положению уступа). Результаты расчета профилей продольной скорости имеют крайне высокую степень сходимости (расхождение составляет не более 5%) (рис. 5).







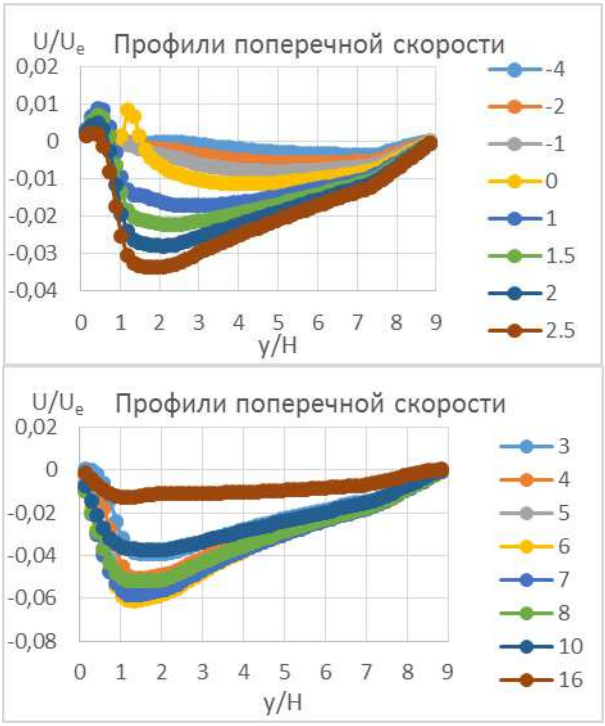
а



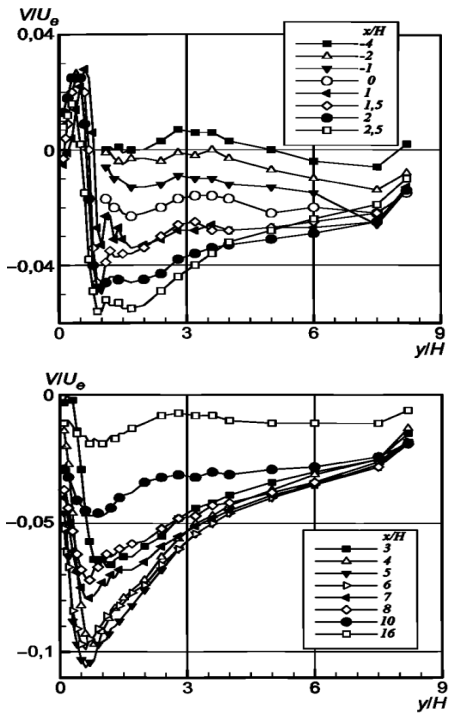
б

Рис. 5 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи обтекания обратного уступа в продольном направлении согласно расчету (а) и данным из ГОСТ 57700.17-2018 (б)

Отклонения по величинам профилей поперечной скорости составляют 50%, при этом графики полученных результатов имеют схожую форму (рис. 6).



а



б

Рис. 6 – Сравнение профилей скорости в расчетной области задачи обтекания обратного уступа в поперечном направлении согласно расчету (а) и данным из ГОСТ 57700.17-2018 (б)

Выводы

Как видно из результатов расчета различных эталонных задач, связанных с моделированием турбулентного течения сплошных сред, наблюдается существенная сходимость с результатами, полученными

ранее авторами научных работ, посвященных данной теме. Тем не менее, остаются некоторые неопределенности в отклонениях результатов расчетов, предположительно вызванные неточностями расчетных моделей. К ним стоит отнести применяемые для данных конкретных задач физические модели, которые в том числе определяют граничные условия для расчета. Программный пакет Simcenter STAR-CCM+ обеспечивает задание необходимых данных для расчета и позволяет получить достоверные результаты моделирования средствами вычислительной гидрогазодинамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 57700.17-2018 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Численное моделирование дозвуковых течений вязких жидкостей и газов. Валидация ПО / ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ / Москва Стандартинформ 2018.

УДК.678.674

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА: ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

И. М. Сераков, А. Д. Афанасьев
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В машиностроении часто возникают технологически проблемы, связанные с обработкой материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить механическими методами [1]. К таким проблемам относится обработка весьма прочных, очень вязких, хрупких и неметаллических материалов, тонкостенных нежестких деталей, пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько микрометров, поверхностей деталей с малой шероховатостью или малой толщиной дефектного поверхностного слоя. Подобные проблемы решаются применением электроэрозионных методов обработки.

В работе [2] было отмечено, что быстрое развитие и широкая популяризация электроэрозионной обработки (ЭЭО) металлов в машиностроении, а также в других отраслях промышленности обусловливаются следующими достоинствами метода:

1. Низкие капитальные затраты по сравнению с литографическими процессами.
2. Высокая гибкость с точки зрения дизайна продукта.
3. Нет необходимости изготавливать маски и специальные приспособления.
4. Поверхностей произвольной формы может быть легко обрабатывается с помощью передовой системы управления с ЧПУ.
5. Любой токопроводящий материал может быть обработан независимо от твердости заготовки.
6. Очень малая зона термического воздействия.
7. Изготовление инструмента на станке возможно, что уменьшает ошибки обработки инструмента.
8. Отсутствие образования заусенцев.
9. Отсутствие поломки инструмента из–за контакта инструмент-заготовка.
10. Тонкие стенки могут быть обработаны без искажений.
11. Высокоаспектные структуры могут быть изготовлены без поломки инструмента.

На качество поверхности и точность размеров часто влияют износ инструмента, вторичные разряды, неэффективная промывка диэлектриков

и т.д. Эти погрешности могут быть широко классифицированы на два вида: геометрические ошибки и неровности поверхности. К проблемам ЭЭО можно отнести следующие положения:

1. Заготовка должна обладать определенным уровнем электропроводности;
2. Формирование измененного слоя приведет к неровности поверхности;
3. Целостность поверхности нарушается микротрещинами и микропорами из-за теплового стресса;
4. Скорость удаления материала низка по сравнению с другими методами обработки;
5. Накопление мусора в зоне обработки должно контролироваться для уменьшения количества вредных выбросов;
6. Искровой промежуток должен быть сохранен постоянным для стабильной обработки.

Электроэрозионная обработка дает высокую свободу выбора проектных решений для производства, а также требует простой фиксации и небольшого времени для наладки.

Как подчеркивается в работе [3] одним из путей снижения износа электрода-инструмента является использование материалов, имеющих высокую эрозионную стойкость. Если расположить известные материалы, используемые для изготовления электродов-инструментов, в порядке возрастания их эрозионной стойкости, то перечень будет выглядеть так: алюминий и его сплавы, серый чугун, латунь, медь, вольфрам, графитированные материалы.

Анализ литературы показал, что для повышения качества и производительности обработки современных промышленных металлических материалов в первую очередь необходимо совершенствовать структуру и свойства материалов электродов для электроэрозионного инструмента, а также оптимизировать режимы обработки и расчета траектории движения инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирьянов Р. О. Электроэрозионные методы обработки [Электронный ресурс] / Р. О. Кирьянов ; науч. рук. Е. М. Акулова // МИТРо 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тезисы докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых / Гомель, 6 декабря 2023 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2023. https://elib.gstu.by/bitstream/handle/220612/29814/50.pdf?sequence=1

2. Электрофизические методы обработки в современной промышленности: материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Пермь: Изд-во

Перм. нац. Исслед. политехн. ун-та, 2021. – С.155-158. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44848702_33779580.pdf

3. XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2019): Сборник трудов конференции (Москва, 4-6 декабря 2019) / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2020 – С.233. https://s.natural-sciences.ru/pdf/2011/7/337.pdf .

УДК 621.373.826

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ

Е. Г. Акунец, И. В. Царенко, В. Н. Панфилов
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Лазерная закалка стали — это процесс, при котором поверхность металла подвергается воздействию лазерного излучения для увеличения его твердости и прочности. Лазерная обработка материалов является одной из технологий, которые определяют современный уровень производства в промышленно развитых странах. Использование лазерной обработки материалов позволяет обеспечить высокое качество получаемых изделий, заданную производительность, а также экономию материальных ресурсов. К числу технологий, которые наиболее широко применяются в современном производстве можно отнести такие как сварка, термоупрочнение, легирование, наплавка, резка, маркировка, размерная обработка и многие другие.

Лазерная закалка стали может привести к изменению морфологии ее поверхности, что может быть важным для ее последующего использования. Некоторые особенности морфологии поверхности стали после лазерной закалки включают в себя [1]:

1. Образование микротрещин и микрошероховатостей: лазерная обработка стали может вызвать образование микротрещин и микрошероховатостей на поверхности материала. Это может быть связано с быстрым остыванием и резким изменением температуры металла в результате лазерного воздействия.
2. Образование микроструктурных изменений: лазерная закалка способна изменить микроструктуру стали на поверхности материала.
3. Улучшение адгезии покрытий: после лазерной закалки сталь может иметь более шероховатую поверхность, что способствует лучшей адгезии различных покрытий или красок.
4. Повышение усталостной прочности: лазерная закалка стали может увеличить ее усталостную прочность за счет формирования улучшенной морфологии поверхности и изменения микроструктуры материала.
5. Профиль поверхности: лазерная закалка может изменить профиль поверхности стали, делая ее более гладкой или шероховатой в зависимости от параметров обработки.

В статье [2] приведены результаты исследования процесса лазерной закалки CO_2 – и волоконными лазерами. Продемонстрированы примеры структуры закаленного слоя, образующегося при лазерной закалке CO_2 – и волоконными лазерами. На примере среднеуглеродистых легированных сталей выполнен сравнительный анализ показателей качества закаленного слоя, полученного при обработке CO_2 – и волоконными лазерами.

По результатам исследований [2] было обнаружено:

- увеличение поверхностной твердости после обработки волоконным лазером по сравнению с CO_2 минимум в 1,1 раза;
- уменьшение соотношения размера зоны отпуска к глубине закаленного слоя при обработке волоконным лазером;
- повышение производительности закалки волоконным лазером более чем в 3 раза благодаря большему уровню выходной мощности, чем у CO_2 и лучшему поглощению излучения; при этом процесс экологичнее, чем с CO_2 – лазером, поскольку нет необходимости наносить поглощающие покрытия.

В работе [3] был исследован износ поверхностей трения скольжения конструкционной стали 40Х по нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Из сопоставления процессов изнашивания стали 40Х, взятой в исходном отожённом состоянии, после ее лазерной и лазерно-ультразвуковой закалки до различных значений микротвердости поверхности и отдельно после объемной термообработки установлено, что во всем диапазоне величин микротвердости вне зависимости от степени дисперсности структур износ носит усталостный характер. Выявлена тенденция возрастания износостойкости и соответственно уменьшения скорости износа при росте микротвердости трущейся поверхности. Из анализа экспериментальных данных получены эмпирические аналитические соотношения, связывающие параметры износа с микродюриметрическими характеристиками поверхности. Показано, что процесс износа сопровождается формированием особого структурно-напряженного состояния в зоне Сен-Венана, характеризующегося постоянным уровнем твердости вне зависимости от предшествующего состояния материала.

Результаты экспериментальных исследований влияния мощности излучения квазинепрерывного оптоволоконного иттербиевого лазера и скорости движения луча лазера на геометрию зоны оплавления стали 40Х без учета изменения геометрии зоны термического влияния отражены в работе [4]. На поверхности образцов с размерами 30х10х5 мм с помощью лазерного излучателя ЛК-150/1500-QCW-AC формировали одиночный термический след с отчетливо заметной зоной оплавления, поперечное сечение которого в дальнейшем изучали при помощи микроскопа ЛабоМет-1. В результате изучения геометрических характеристик поперечного сечения зоны оплавления установлены режимы обработки,

при которых изменяется внешний вид сечения зоны оплавления, определены ее ширина и глубина в зависимости от мощности лазерного излучения. Установлены режимы лазерной обработки, при которых достигается наибольшая разница между глубиной зоны оплавления и глубиной кратера, образующегося на поверхности стали.

Влияния процесса лазерной обработки на микроструктуру и распределение элементов между различными структурными составляющими, а также на формирование зоны термического влияния было рассмотрено в работе [5]. Полученные данные о распределении микротвердости в упрочненных слоях и их износостойкости в зависимости от режимов лазерной обработки позволяют управлять процессами, протекающими при упрочнении, и, как следствие, уровнем механических свойств поверхностных слоев путем изменения режимов лазерной обработки.

Проведенный анализ новейший разработок в области лазерной закалки позволяет сделать вывод о перспективности использования этого метода повышения износостойкости поверхности для обработки деталей сельхозмашиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерникова И. И., Полетаев В. А. Применение лазерного модифицирования для упрочнения рабочих поверхностей деталей машин // JARiTS. Issue 15 – 2019. – С.18-25.

2. Сомонов В. В., Цибульский И. А. Эффективность использования волоконных лазеров для лазерной закалки изделий в промышленности // Электрофизические и электрохимические методы обработки – 2014. - №1(79). – С. 9-12.

3. Гуреев Г. Д., Гуреев Д. М. Влияние лазерной и лазерно-ультразвуковой обработок на изменение износостойкости поверхностей трения стали // Вестник Сам. гос. ун-та – 2007. - №2(15). – С. 138-144.

4. Влияние мощности лазерного излучения и скорости движения луча на геометрию зоны оплавления при лазерной закалке стали 40Х. П.А. Огин, аспирант Д.Л. Мерсон, доктор физико-математических наук, профессор Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия) С.И. Яресько, доктор технических наук Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Самара (Россия).

5. Войтович О. Н., Сокоров И. О. Исследование влияния параметров лазерной термоообработки на свойства упрочненных поверхностных слоев // Вестник Белорусско-Российского университета – 2013. – №2(39). – С. 6-14.

УДК 621.9.02

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

К. А. Никитин, Н. А. Мордус, М. В. Евстратенко
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Согласно международным данным отказы современного автоматизированного оборудования до 50 % случаев связаны с несвоевременным выходом из строя режущих инструментов из-за износа и поломок, а также других проблем обработки металлов резанием. В связи с этим по вопросу работоспособности режущего инструмента, как недостаточно надежному элементу системы «Станок - приспособление - инструмент - заготовка», необходимо уделять повышенное внимание. Это касается не только автоматизированного оборудования, но и станков с ручным управлением.

При решении вопроса повышения работоспособности режущих инструментов необходимо учитывать дефицит вольфрама и кобальта, а также экологическую чистоту и рентабельность применяемых методов.

Из большой гаммы методов повышения работоспособности режущих инструментов наиболее перспективным является метод криогенной обработки в жидком азоте. Этому методу посвящено значительное количество исследований, однако большая их часть связана с криогенной обработкой инструментальных сталей. По повышению работоспособности криогенной обработки режущих инструментов из твердых сплавов также выполнены исследования, однако относительно безвольфрамовых твердых сплавов работ нет. Нет также научного объяснения повышения работоспособности твердых сплавов режущих инструментов в результате их криогенной обработки.

Криогенная обработка, результатом которой является объемное упрочнение любого количества режущих инструментов, отличается от поверхностного пластического деформирования, не уступая другим методам в эффективности.

Профессором В.Г. Солоненко проведены теоретико-экспериментальные исследования по определению рациональных криогенных температур на основании изучения физико-механических свойств инструментальных материалов [1]. Им показано, что температура кипения жидкого азота является оптимальной с точки зрения повышения таких свойств для инструментальных сталей, где в результате криогенной обработки происходит дополнительный переход остаточного аустенита в

мартенсит, механизм повышения режущих свойств инструментов основан на таком переходе.

Приведены частные зависимости термо-ЭДС, полученные при тарировании твердых сплавов в паре с платиной, результаты исследований твердости, микротвердости, коэрицитивной силы, коэффициентов усадки стружки и трения, сил резания и шероховатости обработанных поверхностей при точении [2]. Данные частные и общие зависимости термо-ЭДС, коэффициента усадки стружки, угла сдвига стружки, коэффициента трения, тангенциальной составляющей силы резания от режимов обработки.

Было установлено, что после криогенной обработки снижаются величины термо-ЭДС, силы резания, коэффициенты усадки стружки и трения, высота микронеровностей обработанных поверхностей, и возрастают коэрцитивная сила твердость и микротвердость

На рис. 1 показаны частные зависимости термо-ЭДС от скорости резания

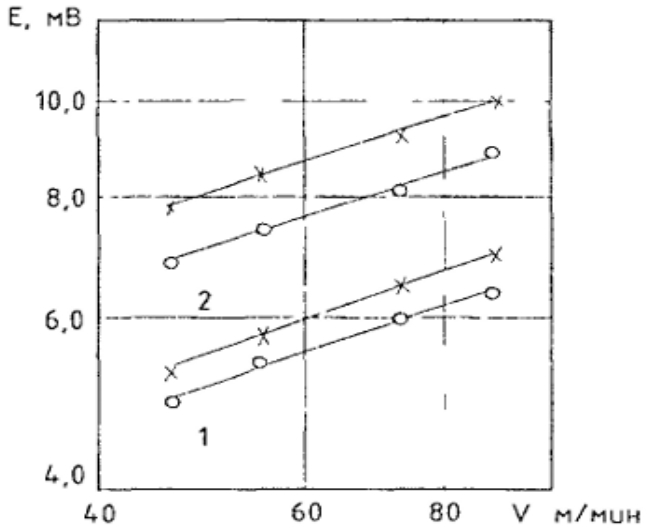


Рис. 1 – Частные зависимости термо-ЭДС от скорости резания: 1 - «ВК8 - 40Х13», 2 - «ВК8 - 14Х17Н2», х - до криогенной обработки, о - после криогенной обработки (S = 0,17 мм/об, t = 0,5 мм)

На рис. 2 приведены зависимости «износ – стойкость» токарных резцов. В таблице даны результаты сравнительных стойкостных испытаний токарных резцов из твёрдых сплавов ВК8, ТН20, КНТ16 для обработки деталей из сталей 40Х13, 14Х17Н2, Ст45. Анализ результатов стойкостных испытаний показывает следующее. Во-первых, стойкость резцов в результате криогенной обработки возрастает. Во-вторых, прослеживается четкая связь со снижением термо-ЭДС при большей исходной термо-ЭДС имеет место и большее ее снижение в результате криогенной обработки с соответствующим увеличением стойкости. Это подтверждает гипотезу о том, что при большей термо-ЭДС наблюдается

меньшая стойкость режущих инструментов и что термо-ЭДС может служить показателем стойкости. Кроме того, приведенные здесь данные хорошо коррелируют с изменением плотности дислокации в результате криогенной обработки.

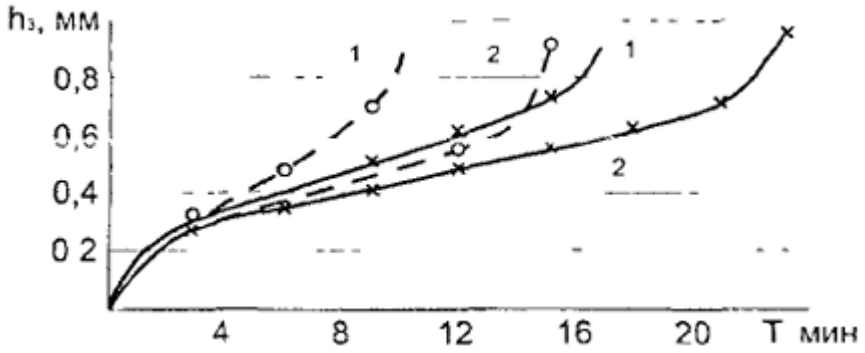


Рис. 2 – Зависимости «износ – стойкость» токарных резцов «ВК8 – 40Х13» (о) и «ВК8 - 14Х17Н2» (х), 1 - до криогенной обработки, 2 – после криогенной обработки (V=87 м/мин, S=0,17 мм/об, t=0,5 мм)

Таблица – Результаты стойкостных испытаний токарных резцов

Материалы резца и детали	Средняя стойкость $T_{ср}$	Среднеквадратичное отклонение стойкости	Коэффициент вариации стойкости	Коэффициент повышения стойкости
ВК8-40Х13	$\frac{12.5 \pm 0.62}{26.6 \pm 1.4}$	$\frac{1.71}{2.02}$	$\frac{0.1}{0.15}$	2.128
ВК8 14Х17Н2	$\frac{11.64 \pm 0.96}{17.7 \pm 1.24}$	$\frac{1.31}{1.45}$	$\frac{0.048}{0.062}$	1.52
ТН20-Ст 45	$\frac{21.15 \pm 2.66}{40.18 \pm 2.96}$	$\frac{1.61}{2.02}$	$\frac{0.18}{0.19}$	1.9
КНТ16-Ст 45	$\frac{18.6 \pm 1.71}{39.6 \pm 1.94}$	$\frac{1.28}{1.54}$	$\frac{0.27}{0.29}$	2.129

В заключении необходимо подчеркнуть, что теория, основанная на представлениях о дефектной структуре инструментальных материалов как первопричине разрушения-изнашивания режущих инструментов при трении в условиях резания позволяет объяснить различные виды изнашивания и выявить пути снижения интенсивности изнашивания режущих инструментов. В частности, адгезионное диффузионное и химическое изнашивание протекают по вакансионно-дислокационному механизму, основой механического изнашивания является эволюция точечных дефектов и образование микротрещин. Известные методы

снижения интенсивности изнашивания режущих инструментов (термические, химико-термические, механические физические) связаны с реализацией механизма, основанного на первопричине разрушения твердых тел, - дефектной структуре инструментальных материалов.

На основании анализа литературных данных установлено, что криогенная обработка твердосплавных режущих инструментов в жидком азоте является экономичным и экологически чистым методом повышения их работоспособности. Однако в технической литературе не объяснены причины снижения интенсивности изнашивания твердосплавных инструментов после криогенной обработки.

Экспериментальные исследования работоспособности твердосплавных режущих инструментов (токарных резцов и спиральных сверл), включающие изучение коэффициента трения, сил резания, шероховатости обработанных поверхностей и стойкостные испытания, показали увеличение ее после криогенной обработки, подтвердив тем самым теоретические разработки.

Криогенная обработка как экономичный, технологичный и экологически чистый метод повышения работоспособности режущих инструментов (повышение стойкости режущих инструментов до 2-х раз, снижение высоты микронеровностей обработанных поверхностей до 15 %) может быть рекомендована для широкого внедрения на машиностроительных и приборостроительных заводах в том числе применительно к условиям автоматизированного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солоненко В. Г. К вопросу о снижении интенсивности изнашивания режущих инструментов //В.Г. Солоненко, Г.А. Зарецький, Е.А. Кривонос //Наука, Техника и Технология XXI века /КБГУ – Нальчик, 2005 – С 101 – 104.

2. Солоненко В. Г. ТермоЭДС и коэффициент трения в результате криогенной обработки токарных резцов //В.Г. Солоненко, Е.А. Кривонос //МНТК «Проблемы исследования и проектирования машин» - Пенза ПДЗ, 2005 - С 89 – 91.

3. Солоненко В. Г. Силы резания при точении в результате криогенной обработки твердых сплавов //В.Г. Солоненко, Е.А. Кривонос //Современные технологии в машиностроении - Пенза ПДЗ, 2005 - С 105 – 106.

УДК 621.785.54

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЗАКАЛКЕ СКАНИРОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА

М. Ю. Целуев, С. Н. Целуева
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. С развитием технологического оборудования и аппаратуры технология лазерной поверхностной закалки сталей находит все более широкое применение для повышения твердости, улучшения износостойкости и сопротивления термоусталостному разрушению поверхностных слоев деформирующего инструмента, применяемого в машиностроении и металлургии [1]. Преимуществами лазерной закалки при упрочнении деформирующего инструмента являются высокие механические и эксплуатационные характеристики закаленного материала, труднодостижимые традиционными методами закалки; низкая окисляемость и отсутствие коробления инструмента, что в ряде случаев позволяет применять лазерную закалку в качестве завершающей операции обработки; возможность автоматизации обработки контурных, криволинейных и труднодоступных участков поверхностей инструмента и др. [1, 2].

К настоящему времени выполнен ряд экспериментальных и теоретических исследований [1-4], по результатам которых разработаны практические рекомендации, предложены технологические схемы сканирования излучения и режимы лазерной поверхностной закалки сталей различного химического состава. Несмотря на полученные теоретические результаты и разработанные практические рекомендации, вопрос выбора оптимальных технологических режимов лазерной закалки, обеспечивающих высокие показатели качества поверхностного слоя деформирующего инструмента, является важной и актуальной научно-технической задачей в технологии термической обработки сталей.

Целью работы является теоретическое исследование особенностей формирования температурного поля в массивном деформирующем инструменте при закалке сканированием сфокусированного излучения непрерывного лазера по полосовой области плоской поверхности с различными коэффициентами перекрытия дорожки нагрева для случаев постоянной и регулируемой мощности излучения во времени.

Методика исследования. На основе закономерностей классической теории теплопроводности в работе [4] предложено решение тепловой задачи нагрева и последующего охлаждения массивной стальной

заготовки при сканировании по полосовой области ее плоской поверхности излучения непрерывного лазера с нормально-круговым распределением плотности мощности в поперечном сечении луча и изменением мощности лазера во времени:

$$T = T_0 + \frac{2[1-r]}{c[4\pi d]^{3/2}} \int_0^t \frac{P(\tau)}{[t-\tau]^{1/2}[t_0+t-\tau]} \times \\ \times \exp\left(-\frac{z^2}{4d[t-\tau]} - \frac{[x-V\tau]^2 + [y-A\sin(2\pi f\tau)]^2}{4d[t_0+t-\tau]} \right) d\tau, \quad (1)$$

где $T=T(x,y,z,t)$ – нестационарное температурное поле заготовки, зависящее от координат x, y и z прямоугольной координатной системы и времени t; T_0 – температура окружающей среды; r – коэффициент отражения излучения лазера от поверхности; c – объемная теплоемкость материала; d – температуропроводность материала; $P=P(t)$ – зависимость мощности излучения лазера от времени; $t_0=[4md]^{-1}$ – постоянная времени; $m=3/R^2$ – коэффициент сосредоточенности теплового источника; $2R$ – диаметр пятна нагрева на поверхности заготовки; V – скорость продольного перемещения излучения лазера; $2A$ – ширина полосовой области сканирования; f – частота колебаний излучения лазера при сканировании.

С целью повышения равномерности распределения энергии лазера по ширине полосовой области сканирования поверхности заготовки предложена [4] зависимость изменения мощности излучения $P=P(t)$ во времени:

$$P = P_m \left|\cos(2\pi f t)\right|. \quad (2)$$

где P_m – максимальная мощность лазера на оси $y=0$ полосовой области сканирования излучения лазера.

Особенности формирования температурного поля при сканировании сфокусированного излучения лазера по полосовой области плоской поверхности массивного деформирующего инструмента исследовали путем численного решения математической модели (1). Для целей исследования была разработана программа, написанная на языке FORTRAN, в которой вычисление определенного интеграла, входящего в (1), осуществлялось с помощью подпрограммы QAGS библиотеки алгоритмов численного интегрирования QUADPACK. Расчеты выполняли для оптических и теплофизических характеристик, соответствующих

свойствам инструментальной легированной стали 5ХНМ, применяемой для изготовления штампов горячего деформирования, для случаев постоянной мощности (P=const) и регулирования мощности излучения итербиевого лазера (длина волны λ=1070 нм) в соответствии с выражением (2). При выполнении численных вычислений ширина полосовой области сканирования лазера составляла $2A$=6 мм, диаметр пятна излучения на поверхности заготовки – $2R$=0,7 мм, частота сканирования – f=220 Гц. Величина коэффициента перекрытия $K=V/(2Rf)$ дорожки от движущегося пятна излучения лазера на поверхности заготовки составляла от 0,01 до 0,50. Значение P_m при обработке с регулированием мощности излучения лазера определялась из условия отсутствия плавления поверхности инструмента.

Полученные результаты. Как видно из графических данных, представленных на рис. 1, обработка инструмента сканированием излучения постоянной мощности приводит к существенно неравномерному нагреву поверхности в конце каждого цикла колебания луча лазера. Зависимость безразмерной температуры $\theta=\pi k(T-T_0)/(P_m m^{1/2})$ от безразмерной координаты $\gamma=ym^{1/2}$ свидетельствует о наличии двух локальных максимумов температуры, расположенных на границах полосовой области сканирования излучения. Минимальная температура $\theta_{\min}$ нагрева наблюдается на оси γ=0 полосовой области сканирования излучения лазера. Максимальная $\theta_{\max}$ и минимальная $\theta_{\min}$ величины безразмерной температуры имеют обратную нелинейную зависимость от значения коэффициента перекрытия K. Относительное приращение температуры $(\theta_{\max}-\theta_{\min})/\theta_{\min}$ практически линейно увеличивается от 2,37 до 11,59 при росте K в интервале 0,01…0,5.

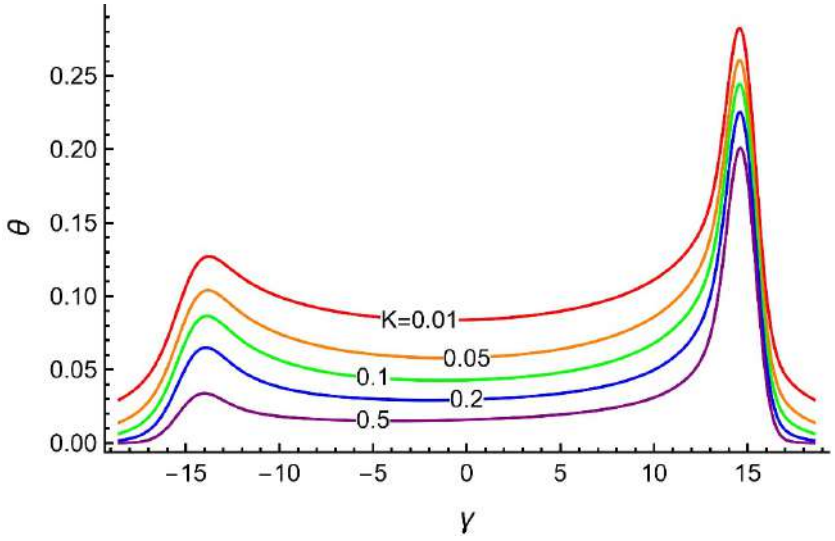


Рис. 1 – Зависимость безразмерной температуры θ на поверхности инструмента от безразмерной координаты γ в момент положения пятна

нагрева на краю полосовой области сканирования лазера при постоянной мощности излучения для различных коэффициентов перекрытия K.

Графическая зависимость, приведенная на рис. 2, показывает распределение температуры нагрева поверхности инструмента по ширине полосовой области обработки для случая сканирования излучения с регулированием мощности лазера в соответствии с выражением (2). Согласно приведенным данным максимальная температура поверхности инструмента в конце каждого цикла колебания луча лазера наблюдается у границы полосовой области сканирования. Величина максимальной температуры θ_{max} нагрева поверхности нелинейно снижается от 0,08 до 0,03 при росте коэффициента перекрытия K в диапазоне 0,01…0,5. Относительное приращение температуры $(\theta_{max}-\theta_{mean})/\theta_{mean}$ (θ_{mean} – относительная температура на оси полосовой области сканирования) практически линейно увеличивается от 0,01 до 1,05 при росте K в интервале 0,01…0,50.

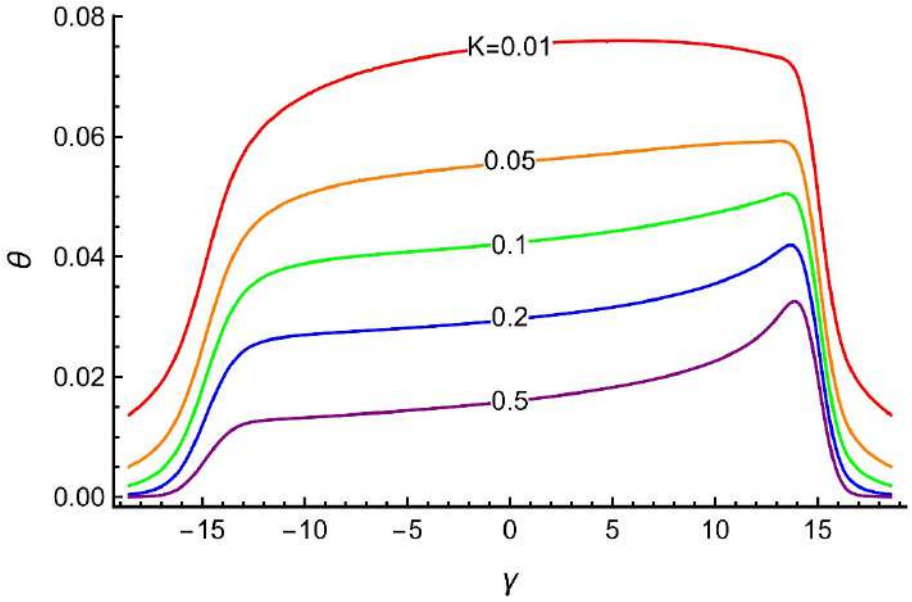


Рис. 2 – Зависимость безразмерной температуры θ на поверхности инструмента от безразмерной координаты γ в момент положения пятна нагрева на краю полосовой области сканирования лазера при регулировании мощности излучения для различных коэффициентов перекрытия K.

Форма и расположение изотерм, соответствующих температуре закалки стали 5ХНМ, в зависимости от безразмерных координат $\gamma=ym^{1/2}$ и $\xi=zm^{1/2}$ для различных коэффициентов перекрытия K при обработке инструмента излучением лазера с регулированием мощности приведены на рис. 3. Представленные графические зависимости свидетельствуют о прямой нелинейной зависимости глубины области упрочненного материала от величины коэффициента перекрытия. Наиболее высокая

равномерность толщины упрочненного слоя, как видно из рис. 3, достигается при обработке сканированием лазера с коэффициентом перекрытия 0,1. При росте коэффициента перекрытия до 0,2 и более размер зоны термического влияния к концу каждого цикла колебания луча лазера не распространяется на всю ширину области сканирования излучения.

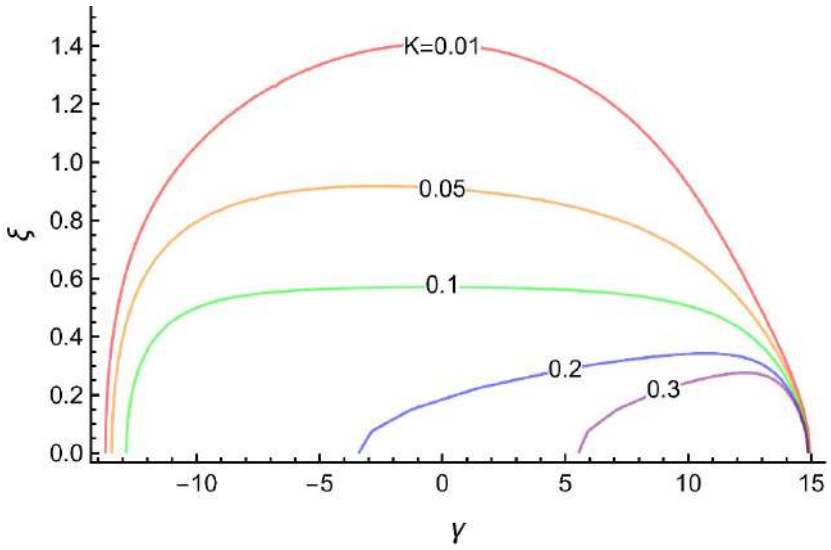


Рис. 3 – Изотермы температуры закалки в момент положения пятна нагрева на краю полосовой области сканирования лазера при регулировании мощности излучения для различных коэффициентов перекрытия *K*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чиченев Н. А. Лазерное упрочнение технологического инструмента обработки металлов давлением / Н.А. Чиченев, С.А. Иванов, С.М. Горбатюк, А.Н. Веремеевич. – М.: МИСиС, 2013. – 166 с.

2. Майоров В. С. Лазерное упрочнение металлов // Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С. 439-469.

3. Девойно О. Г. Моделирование поверхностной закалки с использованием сканирующего оптоволоконного лазера / О.Г. Девойно, В.В. Жарский, А.П. Пилипчук // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2018. – Т. 63. – № 4. – С. 435-443.

4. Целуева С. Н. Температурное поле стальной заготовки при закалке сканированием излучения непрерывного лазера / С.Н. Целуева, М.Ю. Целуев, С.И. Красюк // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 7-ой международной научно-практической конференции: В 2 ч. Ч. 2. – Гомель: НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2023. - С. 41-46.

УДК 621.391.25

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ РАСКЛАДНЫХ КОНСОЛЕЙ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ПОДВИЖНОСТИ

В. В. Напрасников, Ван Цзыжуй, Чжан Цзыхан
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Раскладные консоли опрыскивателя являются одним из ключевых элементов конструкции опрыскивателей, определяющим их эксплуатационные характеристики и надежность при выполнении различных задач (рис. 1). Раскладные консоли опрыскивателя должны быть достаточно прочными и жесткими, чтобы выдерживать нагрузки, возникающие при передвижении рамы и работе опрыскивателя.



Рис. 1 – Пример конструкции раскладных консолей опрыскивателя

В работе рассматриваются следующие задачи:

- построение параметризированной конечно-элементной модели раскладной консоли;
- анализ напряженно-деформированного состояния конструкции при рабочих нагрузках;
- динамический анализ стрел опрыскивателя;
- постановка и решение оптимизационной задачи.

Для подготовки параметрической модели этой конструкции использовалась среда SpaceClaim.

Перед началом построения модели во вкладке Groups создается группа параметров для скрипта, которые показаны на рис. 2.



Рис. 2 – Группа параметров для скрипта

Затем эти параметры считываются в скрипте, и используются как обычные переменные в языке Iron Python.

Части скриптов для построения каркаса консоли опрыскивателя представлены на рис. 3.

```
# Python Script, API Version = V17

# Sketch Line
plane = Plane.PlaneZX
result = ViewHelper.SetSketchPlane(plane)
start = Point2D.Create(MM(0), MM(0))
end = Point2D.Create(MM(-2.44921270764475E-13), MM(-4000))
result = SketchLine.Create(start, end)
# EndBlock

# Sketch Line
start = Point2D.Create(MM(0), MM(0))
end = Point2D.Create(MM(-1800), MM(2.20429143688028E-13))
result = SketchLine.Create(start, end)
# EndBlock

# Sketch Line
start = Point2D.Create(MM(-2.44921270764475E-13), MM(-4000))
end = Point2D.Create(MM(-1100), MM(-4000))
result = SketchLine.Create(start, end)
# EndBlock

# Sketch Line
start = Point2D.Create(MM(-1100), MM(-4000))
end = Point2D.Create(MM(-1800), MM(0))
result = SketchLine.Create(start, end)
# EndBlock

# Sketch Line
start = Point2D.Create(MM(-2.0248866060453E-13), MM(-3307))
end = Point2D.Create(MM(-1221.275), MM(-3307))
result = SketchLine.Create(start, end)
# EndBlock

# Sketch Line
start = Point2D.Create(MM(-1.47442605000214E-13), MM(-2408))
```

Рис. 3 – Скрипт построения каркаса консоли

На рис. 4 представлены результирующая модель с наложенными граничными условиями и конечно-элементное разбиение.

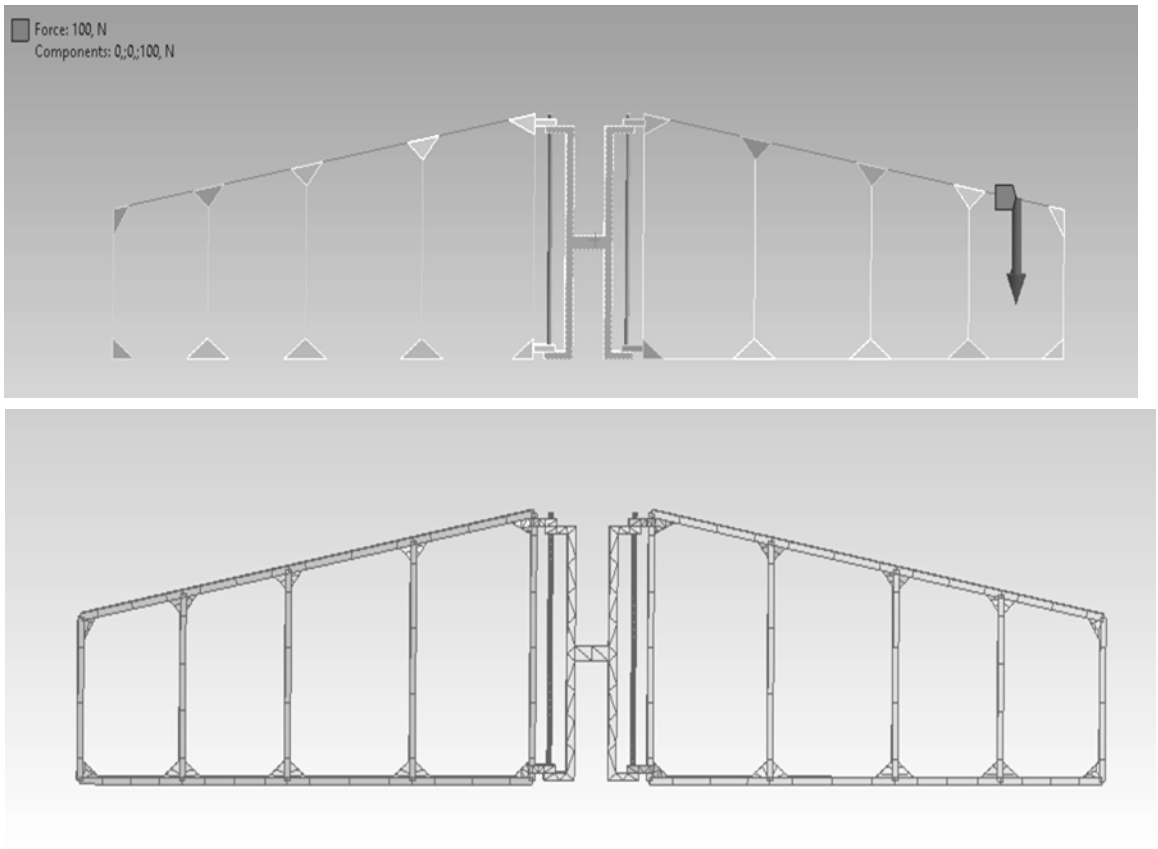


Рис. 4 – Конечно-элементная модель. Сетка и граничные условия

Результаты расчета напряжений в конструкции по критерию Мизеса представлены на рис. 5. Поскольку максимальные напряжения не превосходят 1,8 МПа, то возможно сформулировать задачу оптимизации с целью снизить материалоемкость конструкции при выполнении допускаемых ограничений по прочности.

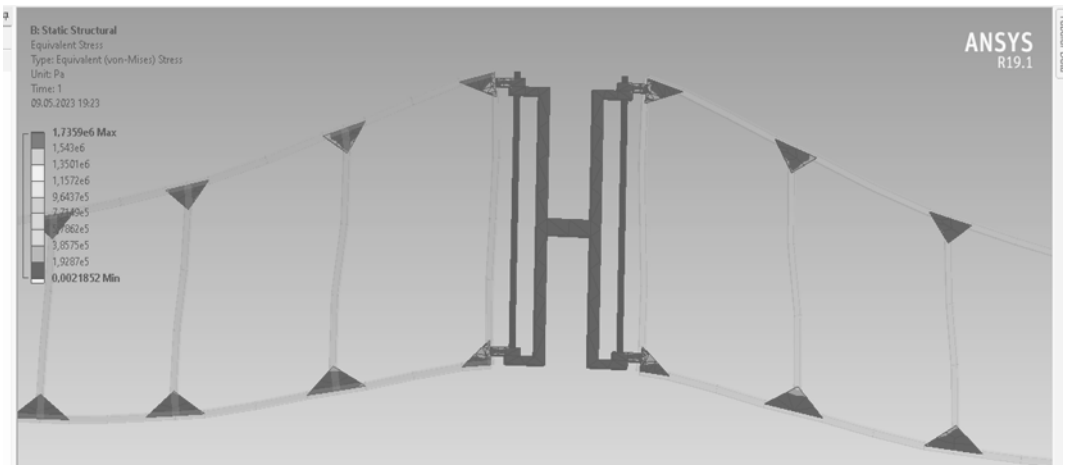


Рис. 5 – Результат вычислений напряжений

Схема проекта в среде ANSYS WB представлена на рис. 6.

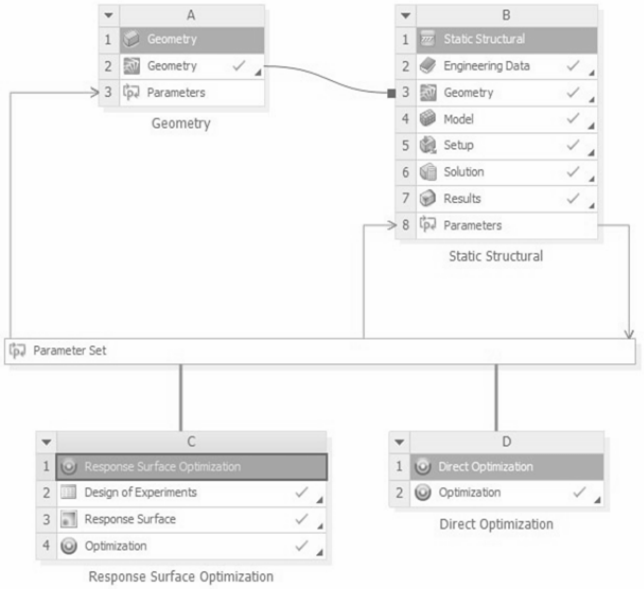


Рис. 6 – Схема проекта в среде ANSYS WB

Оптимизация выполнялась несколькими способами. При использовании адаптивного однокритериального алгоритма (AdaptiveSingle-Objective) [1] динамика изменения критерия от номера итерации представлена на рис. 7.

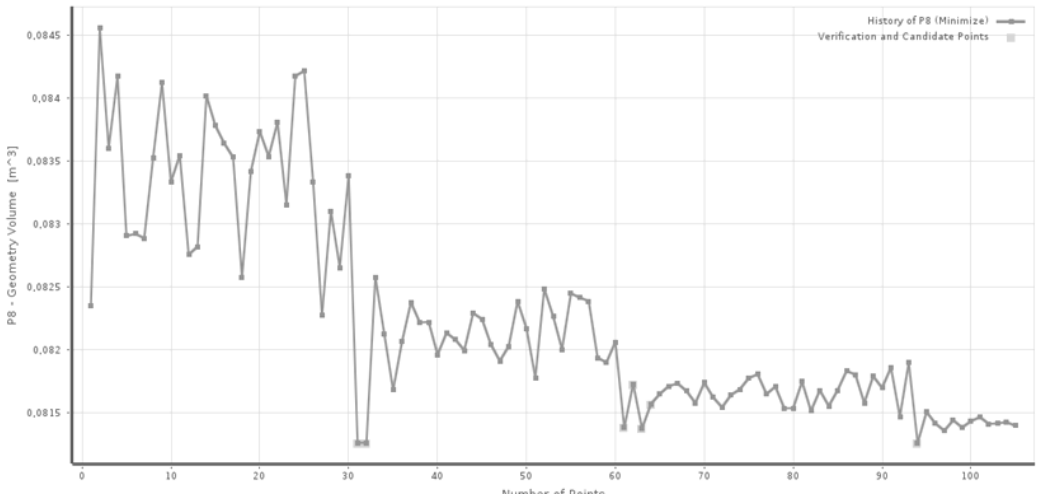


Рис. 7 – Динамика оптимизационных вычислений

ЛИТЕРАТУРА

1. Красновская С. В. Обзор возможностей оптимизационных алгоритмов при моделировании конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов методом конечных элементов / С.В. Красновская, В.В. Напрасников //Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн.навук. – 2016. – № 2. – С.92–99.

УДК 631.354.2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА СКЛОНАХ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ КРЕНЕ

Д. Т. Халиуллин, И. Х. Гайфуллин, А. В. Белинский
Казанский государственный аграрный университет,
г. Казань, Россия

В данной статье рассматривается интенсивность движения зернового вороха, которая представляет собой существенный параметр, определяющий эффективность работы сельскохозяйственных машин, в частности зерноуборочных комбайнов. Одним из ключевых направлений повышения эффективности зерноуборочных комбайнов является снижение потерь зерна, возникающих в процессе их работы, особенно на этапе очистки, при возникновении боковых кренов. Для достижения равномерного распределения массы вороха необходимо внедрять конструктивные изменения в систему очистки зернового вороха комбайна. Одним из решений для обеспечения равномерного распределения массы является использование динамических методов и устройств, которые позволяют синхронно перемещать ворох в боковом направлении. Целью работы является теоретический анализ процесса распределения зернового вороха в системе очистки зерноуборочного комбайна при наличии бокового крена.

Ключевые слова: зерновой ворох, интенсивность движения; выравнивание плотности распределения, кулачковый механизм, комбайн, система очистки

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF A COMBINE HARVESTER ON SLOPES WITH A TRANSVERSE ROLL

**Damir T. Khaliullin, Ilnur Kh. Gayfullin, Alexandr V. Belinsky,
Kazan State Agrarian University, Kazan**

This article discusses the intensity of movement of a grain pile, which is an essential parameter that determines the efficiency of agricultural machinery, in particular combine harvesters. One of the key directions for improving the efficiency of combine harvesters is to reduce grain losses that occur during their operation, especially at the cleaning stage, when side rolls occur. In order to achieve an even distribution of the pile weight, it is necessary to implement design changes in the grain heap cleaning system of the combine. One of the solutions to ensure uniform mass distribution is the use of dynamic methods and devices that allow you to synchronously move the pile laterally. The purpose of

the work is a theoretical analysis of the process of grain heap distribution in the cleaning system of a combine harvester in the presence of a side roll.

Keywords: grain heap, traffic intensity; distribution density equalization, cam mechanism, harvester, cleaning system

Введение. Ускорение рабочих процессов, протекающих при работе с сельскохозяйственной техникой, является ключевым элементом для увеличения производительности. Для этого, при проектировании применяют различные методы и модели, которые помогают решать задачи, связанные с разработкой и совершенствованием сельскохозяйственной техники [1-3]. Исследования, использующие регрессионный анализ и физические модели для оценки и прогнозирования потерь зерна при различных настройках, показали высокую точность, превосходящую другие методы [4-6]. При использовании модели, учитывающей кривые зависимости интенсивности выделения зерна по длине рабочего органа, выявлено влияние технологических и кинематических параметров на минимизацию потерь комбайна [7]. Одним из перспективных направлений является автоматическое выравнивание толщины слоя зернового вороха динамическими методами, такими как шарнирно-рычажные системы и кулачковые устройства [3].

Целью работы является теоретический анализ процесса распределения зернового вороха в системе очистки зерноуборочного комбайна при наличии бокового крена.

Материалы и методы. При исследовании применены физико-механические свойства зернового вороха, использованы параметры молотильно-сепарирующего аппарата зерноуборочного комбайна. Учитывались законы физики и механики, включая законы сохранения массы, импульса и энергии. Также, законы трения и сопротивления среды, закон Ньютона о трении и закон Д'Аламбера [8, 9].

Результаты и их обсуждение. Рабочая гипотеза: при движении грохота вверх ворох должен двигаться совместно с ним, при движении вниз – скользить относительно решета. Первое условие рабочей гипотезы, а именно совместное движение вороха с грохотом при движении вверх по крену (рис.1 А), можно формализовать через зависимость:

$$F \geq GT + P, \quad (1)$$

где F – сила трения частицы о поверхность грохота, Н; GT – касательная составляющая силы тяжести частицы, Н; P – сила инерции частицы, Н.

Удовлетворение второго условия рабочей гипотезы представлено на рис. 1 В и неравенством:

$$P > GT + F. \quad (2)$$

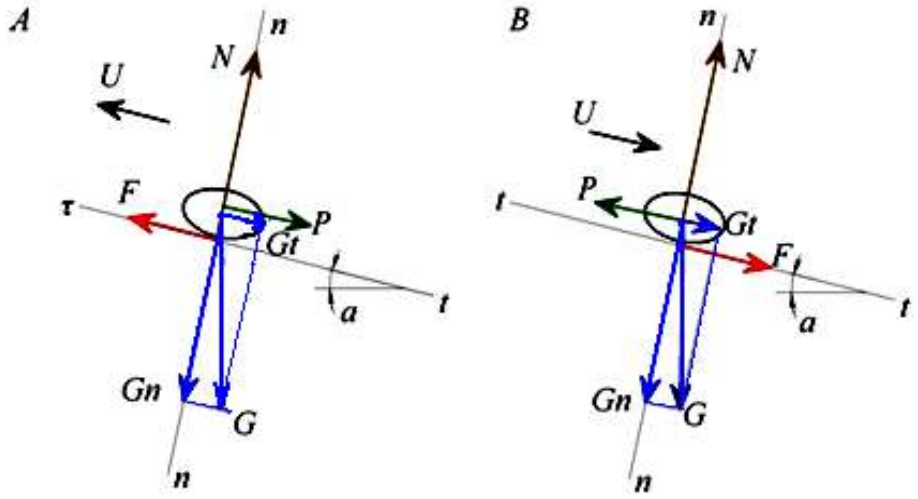


Рис. 1 – Схема к силовому анализу взаимодействия частицы с грохотом при боковом крене комбайна: А – при ускоренном движении решета вверх по крену. В – вниз по крену

Анализ формул и схем показывает, что для выравнивания движущей силой в указанном взаимодействии ключевую роль играет сила инерции, зависящая от массы частицы и ускорения. После подстановки значений в формулы и их преобразования были получены условия, подтверждающие рабочую гипотезу (3) и (4).

$$j_{кр}u \le g\left(cos\,\alpha \cdot tg\varphi - sin\,\alpha\right), \tag{3}$$

где j_{kr}. u – критическое значение бокового ускорения грохота вверх, м/с^2; g – ускорение земного притяжения, м/с^2; α – угол бокового крена, 0; φ – динамический угол трения зерна о поверхность решета, 0.

$$j_{кр}d \le g\left(cos\,\alpha \cdot tg\varphi + sin\,\alpha\right), \tag{4}$$

где j_{kr}. d – критическое значение бокового ускорения грохота вниз, м/с^2.

Показатель кинематического режима функционирования выравнивателя определяется как отношение между критическими значениями:

$$\varepsilon = \frac{t_d}{t_u} = \left[\frac{j_{кр}d}{j_{кр}u}\right]^{-0.5} \tag{5}$$

где ε – показатель кинематического режима работы выравнивателя; t_u – время бокового движения грохота вверх по крену, с; t_d – время бокового движения грохота вниз по крену, с; j_u – критическое значение бокового ускорения вверх по крену, м/с; j_d – критическое значение бокового ускорения грохота вниз по крену, м/с.

В результате анализа критических значений бокового ускорения грохота и решета можно сделать следующие выводы, что скорость движения вороха относительно решета изменяется линейно в зависимости от положения

на крене, что позволяет более точно прогнозировать и контролировать распределение массы для достижения равномерного распределения плотности. На рис. 2 представлены графики, иллюстрирующие зависимость кинематических характеристик работы выравнивателя слоя вороха (показатель ε) от угла бокового крена (α) при уборке гороха, овса и пшеницы.

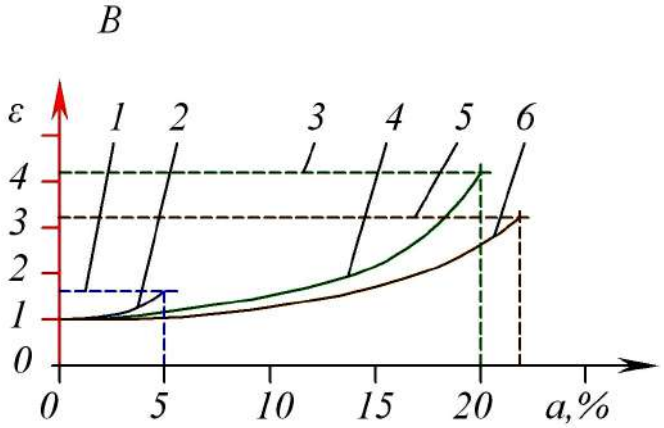


Рис. 2 – Графики зависимости кинематического режима работы выравнивателя слоя вороха от угла крена при уборке: *1,3,5* - соответственно гороха, овса, пшеницы*;* 2, 4, 6 – графики зависимости $\varepsilon = f(\alpha)$ соответственно для гороха, овса, пшеницы.

Анализ представленных графиков демонстрирует, что для режима уборки пшеницы изменение угла бокового крена α в диапазоне от 0 % до 4 % практически не оказывает заметного влияния на величину показателя кинематического режима колебаний решета. В этом интервале наблюдается незначительное увеличение показателя ε с 1,00 до 1,09, что указывает на стабильность работы механизма в указанных условиях.

При угле крена, равном 5 %, необходимо увеличение показателя кинематического режима колебаний решета до значения ε = 1,25. С дальнейшим ростом угла крена в диапазоне от 10 % до 20 % наблюдается потребность в повышении этого показателя с 1,60 до 4,37. Расчеты указывают на то, что увеличение крена с 20 % до 25 % требует смены направления ускорений на противоположное. При этом коэффициент трения проса по стальной поверхности в среднем составляет 0,41. Более того, при уборке овса, дальнейшее увеличение крена свыше 20 % также ведет к необходимости инверсии направления ускорений, что в условиях данного процесса не обеспечивает выравнивание слоя на грохоте и решетах, учитывая динамический коэффициент трения проса по стальной поверхности, равный в среднем 0,41.

Выводы. Увеличение бокового крена комбайна приводит к последовательному перераспределению зернового вороха на очистке. Выравнивание линейной плотности распределения может быть достигнуто путем конструктивных изменений, которые направлены на нивелирование как всего комбайна, так и отдельных узлов системы очистки. Достигнуть

выравнивания линейной плотности распределения возможно также с помощью динамических методов, которые включают в себя внедрение дополнительных боковых колебаний в решетный стан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насыров Р. Р. Исследование системы очистки зерноуборочных комбайнов / Р. Р. Насыров, И. Д. Бадретдинов // Аграрная наука в инновационном развитии АПК. материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVI Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2016». 2016. С. 351-356.

2. Белинский А. В. Интенсификация рабочих процессов мобильных сельхозмашин [Текст] / А. В. Белинский // Тракторы и с.-х. машины. - 2000. - N 9. - С. 34-35.

3. Белинский А. В. Кулачковое устройство зерноуборочного комбайна для динамического выравнивания слоя зернового вороха на очистке при работе на склонах / А.В. Белинский, А.В. Милюков, Р.А. Жильцов // Патент РФ № 252 1667 от 10.07.2014 Бюл. №19 С.13.

4. Ященко Е. М. Устройство зерноуборочного комбайна для выравнивания по ширине зернового вороха на решете при работе на склонах / Е.М. Ященко, Ю.А. Песков, И.К. Мещеряков, А.Р. Распопов, Е.Ф. Водянникова, Н.Е. Кузнецов // Патент РФ № 2041594 Заявка 92001222/15, 20.10.1992. Опубл. 20.08.1995. - 6 с.

5. Belinsky A. V. Theoretical investigation of increasing efficiency of combine harvester operation on slopes / Belinsky, A., Ziganshin, B., Valiev, A., Haliullin, D., Galiev, I., Adigamov, N. // Paper presented at the Engineering for Rural Development, 18 206-213. doi:10.22616/ERDev2019.18.N252.

6. Ibyatov R. I. Mathematical modeling of the grain trajectory in the workspace of the sheller with rotating decks / R.I. Ibyatov, A.V. Dmitriev, B.G. Ziganshin, D.T. Khaliullin, A.N. Zinnatullina // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). 2020. С. 00093.

7. Rajko Miodragovic, Milan Djevic. Cotemporary combine harvesters in corn harvesting. Annalis of faculty of Igineering Hunedoarara, 2006. Tome IV, Fasiccole 3, P.199-206.

8. Хафизов Р. Н. Энергетическая математическая модель зерноуборочного комбайна на прямом обмолоте зерновых культур / Р.Н. Хафизов, Д.К. Самигуллин, А.А. Тухватуллин, К.А. Хафизов// Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2011. - № 4 (22). – С. 94 – 98.

9. Хафизов К. А. Методика и результаты экспериментальных исследований потерь зерна на уборке / К.А. Хафизов, Д.К. Самигуллин, А.А. Тухватуллин, Р.Н. Хафизов// Вестник Казанского государственного аграрного университета – Казань, 2011. - № 4 (22). – С. 98 – 102.

УДК 621.793.79

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЭИО КОМПОЗИТНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

А. А. Евсюков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
г. Москва, Россия

В настоящее время остро стоит вопрос с восстановлением изношенных деталей сельскохозяйственных машин. При износах менее 100 мкм в агрегаты выходят из строя. Чаще всего детали при достижении максимально допустимого износа детали гидромашин притирают или бракуют и заменяют новыми. В качестве примеров можно рассмотреть, какие износы встречаются при дефектации гидропривода ГСТ-90 и аксиально-поршневых насосов.

Детали объемного гидропривода ГСТ-90 имеют различную интенсивность изнашивания, так втулка изнашивается в 3,8 раз интенсивнее чем поршень, отверстие корпуса изнашивается в 5,14 раз интенсивнее чем золотник, латунный распределитель изнашивается в 2,32 раза интенсивнее чем стальной распределитель. При этом детали ГСТ-90 имеют малые линейные износы. Основными причинами выхода из строя объемного гидропривода ГСТ-90 являются износы распределительных, поршневых и золотниковых пар трения, приводящие к увеличению зазоров в сопряжениях [1].

Наблюдение за парком высоконагруженных машин проведенное автором [2] позволило установить, что на долю аксиально-поршневых гидромашин пришлось 102 отказа или около 20%, причем на долю отказов по причине износа распределительной пары пришлось 40%, износ поршневых пар 24,5%, износ пары поршень – шатун – вал 12%.

В работе [3] показано, что частицы загрязнений, с размерами, близкими к размеру зазора, являются наиболее опасными, особенно при их твердости, превосходящей твердость материала деталей. Попав в зазор, частицы перемещаются относительно рабочих поверхностей со скольжением многократно воздействуя на поверхности, что приводят в конечном итоге к абразивному и гидроабразивному износу поверхностей трения и сопровождается появлением глубоких царапин и задиров на поверхностях.

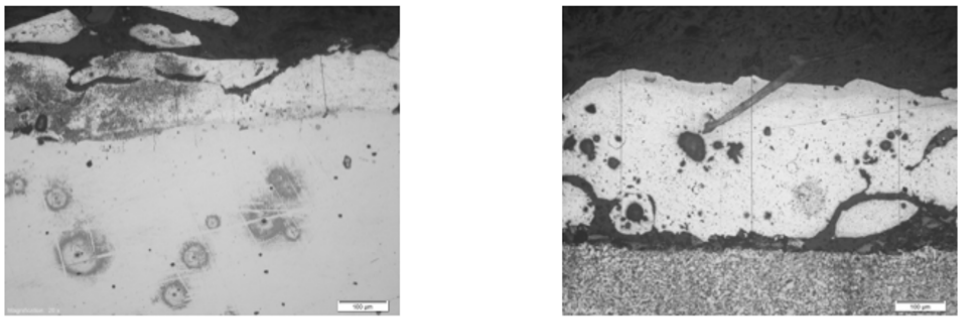
Одной из рекомендаций при ремонте деталей гидравлических механизмов является нанесение мягкий антифрикционных покрытий.

Учитывая, что максимально допустимые износы составляют не более 150 мкм, необходим способ, с помощью которого можно наносить тонкослойные покрытия. В качестве такого способа подходит метод электроискровой обработки (ЭИО) [4]. Данный способ получил распространение в ремонте деталей гидромашин, в том числе аксиальных насосов, гидрораспределителей, топливных насосов.

И все же в некоторых случаях необходимо увеличить толщину электроискровых покрытий, в том числе для последующей механической обработки для обеспечения требуемых точности и шероховатости покрытий, а также улучшить антифрикционные свойства покрытий. Тем не менее, вопрос в повышении толщины электроискровых покрытий является актуальным. Существуют несколько способов увеличения толщины электроискровых покрытий, такие как обработка в инертных газах, поверхностное пластическое деформирование нанесённых покрытий, чередование энергии искровых импульсов [5]. Но некоторые методы позволяют лишь немного увеличить толщину покрытий, а другие требуют дополнительное оборудование.

Одним из способов увеличения толщины электроискровых покрытий предлагается электроискровая обработка композитными легированными электродами. В настоящее время идёт активное развитие нанотехнологий и композиционных материалов. Причём одним из наиболее перспективных наноматериалов для композитов является углеродные нанотрубки, так как они обладают большой прочностью и повышенной электропроводностью. Известны композиты на основе алюминиевых сплавов с углеродными нанотрубками [6]. Предложено создать композиционные электроды из бронзовых сплавов, легированные углеродными нанотрубками, для повышения толщины и износостойкости электроискровых покрытий.

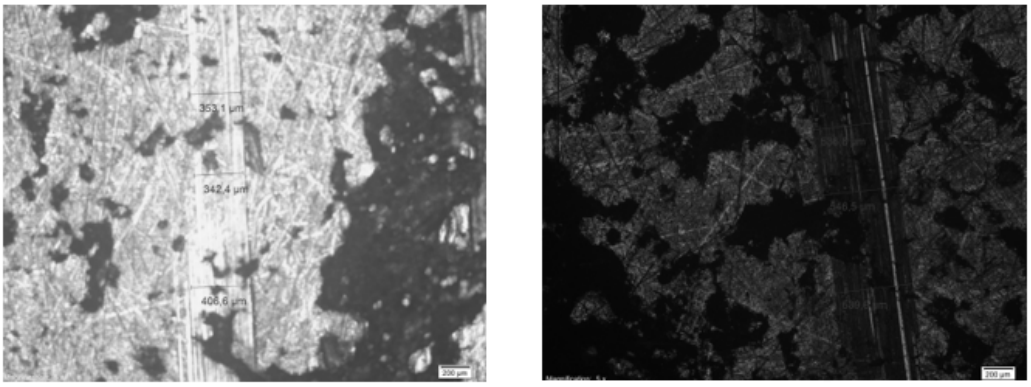
В работе [7] представлены электроискровые покрытия, нанесенные композитными электродами из бронзы БрО10С10. На рис. 1 представлены покрытия, нанесенные бронзовым и композитным электродом.



а б

Рис. 1 – Микроструктура электроискровых покрытий: а – покрытие из электрода БрО10С10; б – покрытие из электрода БрО10С10+УНТ

В некоторых случаях удается повысить толщину покрытий до 2 раз, при этом покрытие обладало большей сплошностью. Также покрытия из композитных электродов обладают лучшими антифирикционными по сравнению с покрытиями, нанесенными бронзовыми электродами. На рис. 2 показаны покрытия после испытаний на износ.



а б

Рис. 2 – Покрытия после испытаний на износ: а – покрытие из электрода БрО10С10; б – покрытие из электрода БрО10С10+УНТ

При неизменной глубине внедрения контртела в покрытие ширина дорожки износа уменьшилась на 30%, что говорит о повышении износостойкости.

Таким образом, применение композитных электродов помогает получать покрытия с улучшенными трибологическими свойствами. Кроме того, электроды на основе УНТ позволяют получать покрытия большей толщины. Это приводит к повышению эффективности электроискрового напыления и сокращению времени обработки. Данные покрытия можно применять не только при восстановлении изношенных деталей, но и наносить на новые детали с целью увеличения их срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галин Д. А. Оценка работоспособности и повышение долговечности объемного гидропривода ГСТ-90: диссертация... кандидата технических наук : 05.20.03 Саранск, 2007 224 с. РГБ ОД, 61:07-5/2657

2. Добринский Г. К. Исследование деталей и узлов аксиально-поршневых гидромашин с целью повышения их долговечности. Автореф. дис. канд. техн. наук. Одесса, 1975. – 19 с.

3. Никитин О. Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. // Никитин О.Ф. - Учеб.пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007.-312 с.: ил.

4. Бурумкулов Ф. Х. Ремонт гидрораспределителей восстановлением и упрочнением изношенных деталей соединения "золотник-корпус" методом электроискровой обработки [Текст] / Ф. Х.

Бурумкулов, С. А. Величко, А. Е. Калякин// Труды ГОСНИТИ - 2007. - № 100. - С. 149-155

5. Иванов В. И. Электроискровые толстостенные покрытия повышенной сплошности: монография / В.И. Иванов; под ред. В.И. Черноиванова. – Москва; Вологда : Инфа-Инженерия, 2020. – 228с

6. Влияние добавок углеродных нанотрубок и оксидных нановолокон на механические свойства композита на основе алюминия / А. В. Алексеев, М. А. Есиков, В. И. Мали [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 416-426.

7. Lyalyakin V. P. Physical and Mechanical Properties of Electrospark Coatings Applied by Electrospark Treatment with a Composite Electrode / V. P. Lyalyakin, V. A. Denisov, A. A. Evsyukov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2024. – Vol. 53, No. 3. – P. 203-207. – DOI 10.1134/S1052618824700122. – EDN NZVYYD.

УДК 631.363.2

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РЕЗЧИКОВ РУЛОНОВ ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ

Э. В. Дыба[1], А. И. Пунько[2], Е. А. Рацкевич[2]
[1]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021 – 2025 годы предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 8959,5 тыс. т., выращивания крупного рогатого скота – 700,7 тыс. т. [1]. Производство намеченных объёмов молока и мяса немыслимо без гарантированного обеспечения животных кормами. Наличие кормов и их качество являются основными факторами, определяющими продуктивность животных и эффективность производства.

В хозяйствах республики ежегодно заготавливается более 25 млн. т. кормов в виде сенажа, силоса из провяленных трав и силосных культур. Массовое распространение получил сенаж. Качественный корм этого вида приготавливают при строгом соблюдении технологии его заготовки: провяливания до влажности 50…55 %, уплотнения до плотности не менее 600 кг/м^3, экспозиции загрузки хранилища не более 2-3 дней и герметизации корма [2].

В последние годы разработаны и применяются новые методы закладки на хранение предварительно спрессованной до заданной плотности растительной массы с герметизацией специальными полимерными материалами. Провяленную растительную массу запрессовывают с помощью пресс-подборщиков в крупногабаритные тюки или рулоны и герметизируют путем обмотки полимерной пленкой. Упакованные подобным способом тюки и рулоны складываются под навесом или на открытой площадке и хранятся так до момента использования на корм КРС. Данная технология является весьма эффективной и востребованной.

В соответствии с Программным комплексом мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы предусматривается к 2025 г. обеспечить заготовку травяных кормов с использованием полимерных материалов сельскохозяйственного назначения (стрейч-пленки) в объеме 1090,0 тыс. т. Производство отечественной стрейч-пленки сельскохозяйственного назначения освоили ОАО «Могилевский завод

искусственного волокна» и ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий».

Стрейч-пленка относится к материалам, подлежащим вторичной переработке. В зарубежных странах новые упаковочные материалы продаются при условии сдачи использованных упаковочных материалов в объеме до 70 % от вновь закупаемых. Такой порядок использования упаковочных материалов позволяет снизить стоимость их производства, решает проблемы утилизации полимерных материалов и уменьшает риск попадания упаковочных материалов в корм животным.

В связи с тем, что машин для отделения упаковочных материалов, а также специальных устройств к фронтальным погрузчикам в Республике Беларусь нет, снятие полимерных материалов осуществляется вручную, что, в свою очередь, требует дополнительно вспомогательного рабочего на погрузочных работах либо осуществляется непосредственно механизатором, что сказывается на производительности данного вида работ.

За рубежом уже более 10 лет проводятся работы, направленные на освоение в производстве машин и оборудования, позволяющих производить отделение упаковочных полимерных материалов в процессе погрузки рулонов в кормораздатчики. В 2010 г. инвестиционная компания «IDOUGH INVEST COMPANY» (Ирландия) одной из первых запатентовала конструкцию резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов, предназначенного для захвата, разрезания рулонов запрессованных кормов, загрузки их в кормораздатчик и выгрузки полимерной упаковки в месте складирования.

Анализ информации из различных интернет-источников, показал, что фирмами «KELTEC ENGINEERING» (Ирландия), «HLA ATTACHMENTS» (Канада), «MANIP SAS» (Франция), «CASHELS ENGINEERING LTD» (Ирландия), «GOWEIL» (Австрия) и др., разработаны и широко применяются в сельскохозяйственном производстве резчики запрессованных травяных кормов. Предлагаемые устройства представляют собой сельскохозяйственные вилы, оснащенные ножом и гидрофицированным захватом упаковочных материалов (рис. 1). Технологический процесс работы перечисленных машин следующий: при накалывании тюка происходит зажим полимерных упаковочных материалов гидрофицированным захватом, надрезание упаковочных материалов в верхней части рулона и зажим его ножом. Производится транспортирование рулона к месту разгрузки, где происходит разрезание рулона ножом с удалением упаковочных материалов.

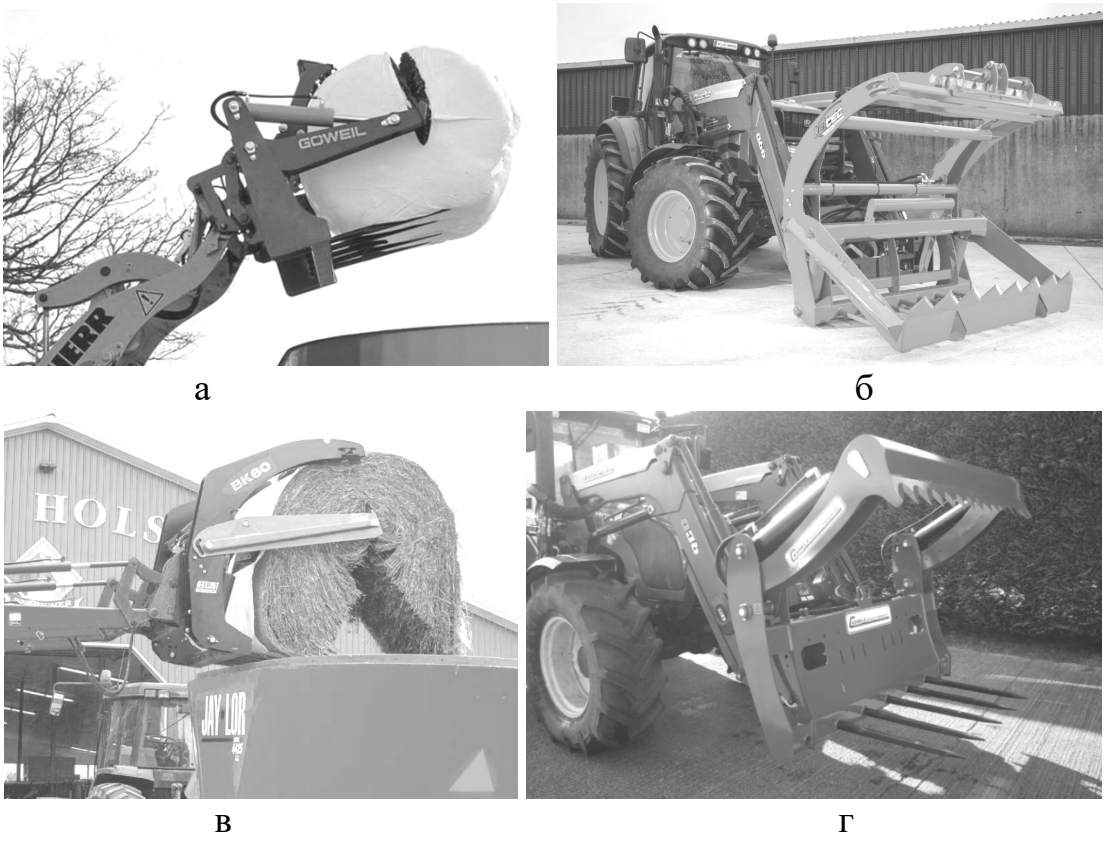


Рис. 1 – Резчики запрессованных травяных кормов: а – RBS «GOWEIL» (Австрия); б – КТ-44 («Keltec Engineering» (Ирландия); в – ВК-60 «HLA Attachments» (Канада); г – 5FT «Cashels Engineering Ltd» (Ирландия)

Общим недостатком данных устройств является необходимость агрегатирования с телескопическими погрузчиками, так как у обычных фронтальных погрузчиков недостаточная высота подъема рабочих органов для исключения попадания упаковочных материалов в кормораздатчик. Кроме того, данные устройства эффективны только при снятии полимерных материалов с рулонов, и их использование на тюках не представляется возможным [3].

Учитывая отсутствие отечественных машин в этой области и острую потребность их использования, разработка данного устройства является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить эффективность погрузочно-разгрузочных работ.

Конструкция устройства к фронтальным погрузчикам для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов с учетом опыта ведущих зарубежных разработок должна исключать недостатки, приведенные выше, и способствовать совершенствованию технологического процесса подготовки к скармливанию запрессованных кормов путем механизации операции снятия полимерных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021 – 2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // КонсультантПлюс. Беларусь / «ООО ЮрСпектр», Нац центр. правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2024.

2. Результаты исследований технологии заготовки и хранения в полимерных рукавах крупногабаритных тюков из провяленных трав, обработанных консервантами, на качество и сохранность кормов / Э. В. Дыба [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 234–240.

3. Официальный сайт компании «Keltec» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://keltec.ie/product/bale-slice/. – Дата доступа: 22.09.2024.

УДК 620.178.4

ОБ АНАЛОГИИ КРИВЫХ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ОБЪЕМНОЙ УСТАЛОСТИ

С. А. Тюрин, М. О. Прядко
УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В основе процессов трения и изнашивания [1] и механической усталости [2] лежит циклическое деформирование материала, то есть явление усталостного разрушения (поверхностного – при трении; объемного – при повторно-переменном нагружении). Необходимо отметить, что именно эти процессы лимитируют работоспособность наиболее ответственных узлов современных машин и оборудования. Следовательно, познание закономерностей разрушения и их особенности в обоих указанных случаях носит фундаментальный характер.

Механическая усталость. Процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторно-переменных напряжений, приводящий к изменению его строения и свойств, образованию и развитию трещин и к объемному разрушению, называют механической усталостью. Наиболее полную информацию о сопротивлении усталости элементов конструкции дает кривая усталости, которую получают обычно экспериментально – в результате длительных испытаний большого количества идентичных образцов.

Полной кривой усталости (рис. 1) называют зависимость между амплитудой (или максимальным значением) напряжения σ и циклической долговечностью (число циклов до разрушения) N_σ во всем диапазоне их возможного изменения. Критерием предельного состояния при оценке долговечности служит либо объемное разрушение испытуемого образца (разделение его на две части), либо момент достижения усталостной трещиной некоторой длины (поверхностное повреждение).

Фрикционная усталость (трение скольжения). При трении скольжения критическим и предельным состоянием называем достижение допустимого $[i]$ или предельного $i_{\lim}$ износа соответственно. Эти величины определяем либо расчетным методом, либо экспериментально – по кинетической кривой изменения износа во времени (рис. 2). В общем случае по характеру она аналогична кривой накопления остаточных деформаций при циклическом нагружении. Это подтверждает единую – усталостную природу разрушения при трении и при циклическом деформировании. Следовательно, критические или предельные состояния пары трения в широком диапазоне изменения контактной нагрузки можно

описать графиком (рис. 2), аналогичным полной кривой механической усталости (рис. 1).

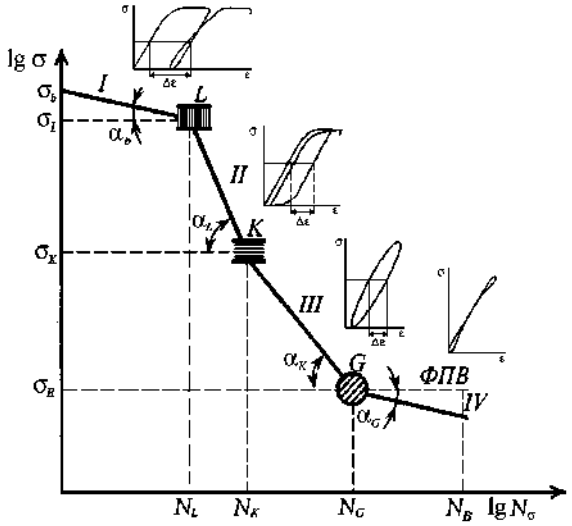


Рис. 1 – Схема полной кривой механической усталости

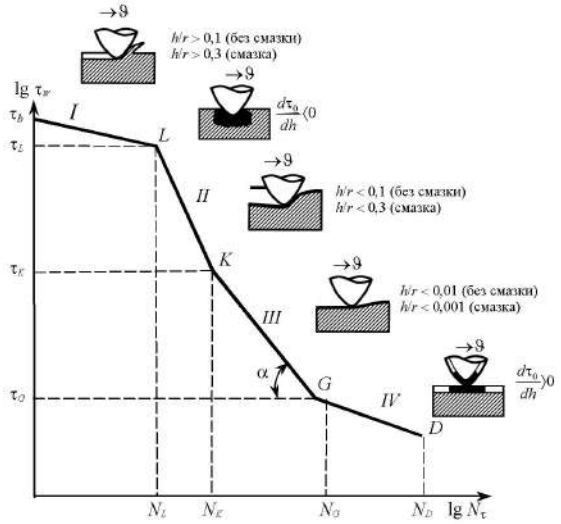


Рис. 2 – Схема полной кривой фрикционной усталости

Основные виды разрушения при трении схематически (рис. 2) иллюстрируют движение (со скоростью ϑ) единичной неровности, внедренной в плоскость. На рис. 3 даны соответствующие микрофотографии типичного характера повреждения поверхности трения.

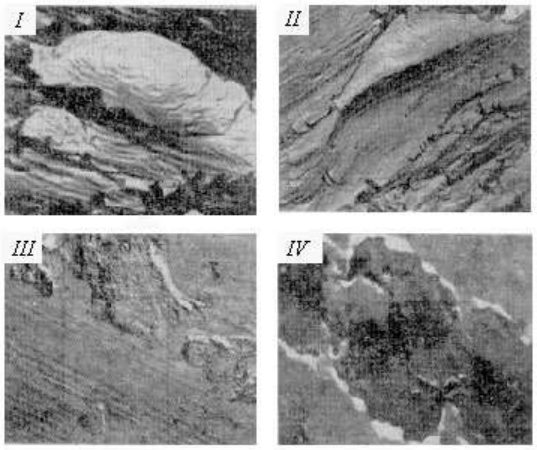


Рис. 3 – Типичные микрофотографии (×5000) повреждения и разрушения поверхностей трения (*I, II, III* и *IV* соответствуют областям *I, II, III* и *IV* на рис. 2)

Термину «фрикционная усталость» здесь придается общий смысл поверхностного повреждения и разрушения при трении скольжения независимо от его механизмов (рис. 2) – подобно тому, как термину механическая усталость придается общий смысл объемного повреждения и разрушения при циклическом деформировании независимо от его механизмов (рис. 1).

Результаты проведенных исследований показали справедливость изложенной выше теории. Проведены испытания пары трения сталь 45 / полимер Ф4-ВМ при трении скольжения [3]. Всего испытано 12 узлов трения при различных контактных нагрузках в диапазоне от 10 до 440 Н. По результатам испытаний построена кривая фрикционной усталости (рис. 4). Оказалось, что эта кривая имеет четыре характерных участка: *I* – область квазистатического разрушения (примерно до $N = 4 \cdot 10^5$ циклов), *II–III* – область мало- и многоциклового разрушения ($N = 4 \cdot 10^5$ ... $5 \cdot 10^6$ циклов), *IV* – область высокоресурсного разрушения ($N > 5 \cdot 10^6$ циклов).

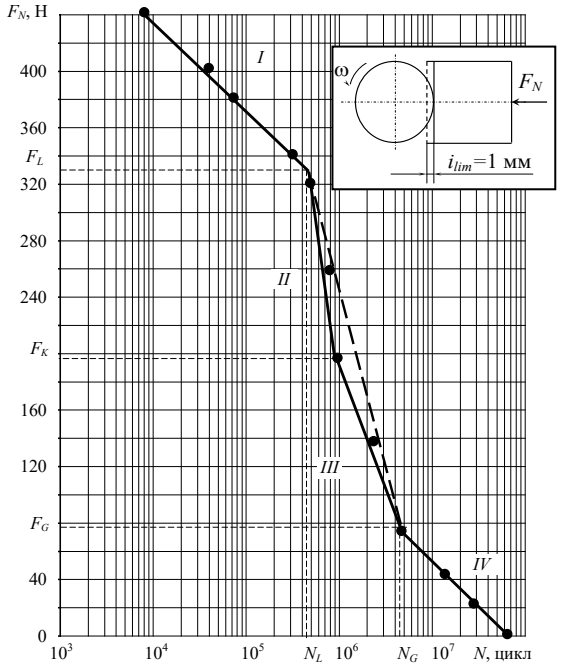


Рис. 4 – Кривая фрикционной усталости для трибосопряжения сталь 45/полимер Ф4-ВМ

Выводы. Общие основные закономерности повреждения и разрушения при трении и при циклическом деформировании (рис. 1 и 2) открывают перспективы разработки единых методов анализа и расчета в исследованиях в области трения и механики усталостного разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 528 с.

2. Bathiar C. GigaCycle Fatigue in Mechanical Practice / C. Bathiar, P. C. Paris. – New York : Marcel Dekker Inc, 2005. – 304 p.

3. Сосновский Л. А. Фрикционная усталость полимера при трении по стали / Л. А. Сосновский, А. В. Марченко // Проблемы прочности. – 2001. – № 1. – С. 48–61.

СОДЕРЖАНИЕ

ПНЕВМОСЕПАРАЦИЯ ЛЕГКИХ КОМПОНЕНТОВ ОЧЕСАННОГО ВОРОХА В КОРПУСЕ АДАПТЕРА
В.Ю. Савин, В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин…….. 3

БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (БИНС) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ
А.В. Уксусов……. 8

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА В ОБЛАСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
В.К. Липская……... 14

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УПРОЧНЕННЫХ МИКРО И МАКРОЧАСТИЦАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВТУЛОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ
В.А. Калиниченко…….. 18

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СКЛЕЕННЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАБОТАЮЩИХ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ
М.Л. Калиниченко……. 24

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ АГРЕГАТОВ СЕЛЬХОЗМАШИН
И.А. Попов, В.М. Медведев, И.А. Попов-мл., Ю.В. Жукова…… 30

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КПД ГИДРОМАШИН
Н.М. Костров…….. 36

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА КОМПАНИИ АСКОН ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»
Д.А. Галецкий, И.А. Кольцова…….. 40

САНКЦИИ ВРЕМЯ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ. СИНЕРГИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ КОМПАС АСКОН
И.А. Кольцова, Д.А. Галецкий, М.В. Павлусевич…….. 53

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ И САМОХОДНЫХ КОСИЛОК НА УБОРКЕ ТРАВ
Д.Ю. Барсуков……. 74

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ И РЕМОНТА ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВТУЛОК СКОЛЬЖЕНИЯ
С.А. Мацинов, В.А. Калиниченко……. 80

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И КОБАЛЬТА
А.Н. Швецов, С.В. Шишков, А.Д. Степаньков…….. 85

РАЗРАБОТКА ДВУХСКОРОСТНОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МОСТОВ ВЕДУЩИХ КОЛЕС САМОХОДНЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ И КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ
К.А. Грабок, Ю.Ю. Наливайко…….. 88

ОТКЛЮЧАЕМЫЙ ПРИВОД ПИТАЮЩЕГО АППАРАТА И ПРИВОДА АДАПТЕРОВ В КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКЕ
Е.П. Панько, А.В. Вишняков……. 95

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ АЛЮМИНИЕМ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
Б.М. Неменёнок, Л.В. Трибушевский, Г.А. Румянцева …… 100

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ
В.С. Голубев, И.И. Вегера, В.Е. Ходюш, О.В. Дьяченко, К.В. Протасевич 103

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МЕТОДЕ ЭМН
С.В. Рогов…… 108

КОМБАЙН ПОЧАТКОУБОРОЧНЫЙ СО СМЕННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ
Е.И. Прохоренко, Э.М. Черноокий, Д.В. Божок…….. 114

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ ОАО «БЕЛШИНА» - ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА «УЛЬТРАМЯГКИХ» ШИН – ULTRAFLEX
С.Н. Каюшников……. 120

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТЕРМОДИФФУЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ и 16CrMNS5
Е.П. Поздняков, И.Н. Степанкин, А.Д. Левкина, Д.В. Куис, С.Н. Лежнев….. 123

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ И ПРОБЛЕМЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
А.В. Хаданович…… 129

ПОДБОР ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ДИЗЕЛЯ MMZ-2.5 DTI
А.В. Предко, С.Г. Беть…….. 134

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ
В.П. Самусев, М.С. Захаренко…….. 139

ВЛИЯНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРУТИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ
А.А. Никишев, А.Н. Петрученко…….. 143

ПАРАМЕТРЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЯ ПОРШНЕВОЙ МОЩНОСТЬЮ 55 кВт/дм^2
А.В. Предко, А.Н. Петрученко…….. 146

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
В.Г. Гаврилин …… 150

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ УДАРОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА
В.Д. Мельников, М.В. Шкуратов……. 155

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВОАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИЛ РЕЗАНИЯ
Д.М. Маханов, П.П. Огур……. 158

АНАЛИЗ НОВЕЙШИХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ
М.А. Карпенко, А.Н. Скороходов, А.А. Даниленко…….. 162

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ
К.С. Шатило, Е.Г. Акунец, Е.Н. Демиденко…… 167

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ
А.И. Патеев, С.И. Красюк, К.Д. Михальцев……. 170

ПРОБЛЕМЫ ПРИМИНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ
П.В. Ковалёва, Н.Н. Колбик…….. 174

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОЕНИЯ
Ф.А. Карчевский, Ю.М. Кривогуз, Г.К. Корнеевец…… 178

СЕТЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
Л.П. Долгий, А.М. Михальцов, И.Г. Раков, С.В. Марцева……. 182

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ДИСПЛЕЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ ОНЛАЙН-СЕРВИСА FIGMA
Д.Н. Костунова, П.А. Москаленко……. 186

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ШЕСТИЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
А.С. Куцак…….. 192

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ СПЛОШНЫХ СРЕД НА ПРИМЕРЕ ЭТАЛОННЫХ ЗАДАЧ
А.С. Куцак…….. 199

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА: ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ
И.М. Сераков, А.Д. Афанасьев……. 205

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ
Е.Г. Акунец, И.В. Царенко, В.Н. Панфилов……. 208

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
К.А. Никитин, Н.А. Мордус, М.В. Евстратенко……. 211

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЗАКАЛКЕ СКАНИРОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА
М.Ю. Целуев, С.Н. Целуева…….. 215

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ РАСКЛАДНЫХ КОНСОЛЕЙ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ПОДВИЖНОСТИ
В.В. Напрасников, Ван Цзыжуй, Чжан Цзыхан…….. 220

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА СКЛОНАХ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ КРЕНЕ
Д.Т. Халиуллин, И.Х. Гайфуллин, А.В. Белинский…… 224

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЭИО КОМПОЗИТНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ
А.А. Евсюков……. 229

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РЕЗЧИКОВ РУЛОНОВ ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ
Э.В. Дыба, А.И. Пунько, Е.А. Рацкевич…….. 233

ОБ АНАЛОГИИ КРИВЫХ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ОБЪЕМНОЙ УСТАЛОСТИ
С.А. Тюрин, М.О. Прядко…….. 237

Для заметок

Научное издание

8-ая международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра»

В 2 частях
Часть 1

Сборник научных статей

Статьи изданы в авторской редакции

Оригинал-макет: Качанова А.В., Романьков С.А.
Обложка: Шландыкова Н.И.

Подписано в печать 24.01.2025. Формат издания 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 28,2. Тираж 50 экз. Заказ №. 01-25
Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»
Регистрация № 1/244 от 25.03.14
246050 г. Гомель, Беларусь, Кирова, 32а

ОАО «Гомсельмаш»
Научно-технический
центр комбайностроения

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра

Сборник научных статей восьмой международной научно-практической конференции

Часть 2



15 ноября 2024 года
г. Гомель, Республика Беларусь

Министерство промышленности РБ
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
Национальная академия наук РБ
Государственный комитет по науке и технологиям РБ
Министерство образования РБ

8-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ - СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

15 ноября 2024 г.

Сборник научных статей 8-ой международной научно-практической конференции

В 2 частях
Часть 2

Гомель, Республика Беларусь

УДК 631.3:620.22:001895

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 8-ой международной научно-практической конференции: В 2ч. Ч.2 - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2024. - 224 с.

ISBN 978-985-6477-68-6 (ч.2)
ISBN 978-985-6477-66-2

В сборнике опубликованы научные статьи участников 8-ой международной научно-практической конференции **«Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра»,** посвященные состоянию, тенденциям и направлениям развития сельскохозяйственного машиностроения в области создания тракторов, универсальных энергетических средств, навесных и прицепных машин, машин для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов, новых материалов, методов проектирования с использованием компьютерных технологий, методов повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных машин, включая критерии надежности и безопасности.

© ОАО «Гомсельмаш», 2024

УДК 631.354.2.076

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БАЛКЕ УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА ПРИ СЛОЖНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ

П. Е. Родзевич
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В настоящее время отечественные колесные тракторы, энергетические средства и самоходные кормо- и зерноуборочные комбайны различной мощности выполняют в основном в виде универсальных моделей с широко расставленными колесами управляемых мостов. Управляемые мосты и оси таких тракторов, энергосредств и комбайнов имеют балки, состоящие из труб круглого или прямоугольного сечения.

Мост управляемых ведущих колес энергосредства УЭС-2-250А состоит из балки моста, поворотных кулаков, гидромотор-колес, рулевой тяги и двух гидроцилиндров. Поворот колес моста осуществляется гидроцилиндрами. Поперечная рулевая тяга служит для синхронизации поворота колес.

Энергосредство может работать на полях с уклоном до 8° и при движении по горизонтальной поверхности ($\alpha = 0^\circ$) на него и на управляемый мост будут действовать следующие силовые факторы: в вертикальной плоскости на балку действует вес энергосредства G_y, приходящийся на управляемый мост, а также вес самого моста, распределенный по длине. Сила F_1, которая соответствует весу энергосредства, приходящегося на одно колесо. В горизонтальной плоскости – сила сопротивления перекатыванию $F_2 = fF_1$ с коэффициентом сопротивления качению $f = 0{,}1$ (для стерни).

При движении энергосредства на поперечном склоне с углом $\alpha = 8^\circ$ со стороны почвы будет возникать сила F_3, создающая изгибающий момент на плече R колеса и вызывающая сжатие и растяжение условно левой (нижней) части моста и растяжение правой (верхней), соответственно.

Балка моста энергосредства (рис. 1) выполнена в виде трубы прямоугольного поперечного сечения, к которой приварена косынка переменного поперечного сечения, что обеспечивает увеличение геометрических характеристик по длине балки от колес к центру моста.

Для определения геометрических характеристик поперечное сечение A балки упрощалось и разбивалось на пять простых фигур,

причем учитывалось изменение геометрических характеристик по длине балки ввиду того, что косынка имеет коробчатый П-образный профиль переменного поперечного сечения. Реальное и упрощенное сечение балки представлено на рис. 1.

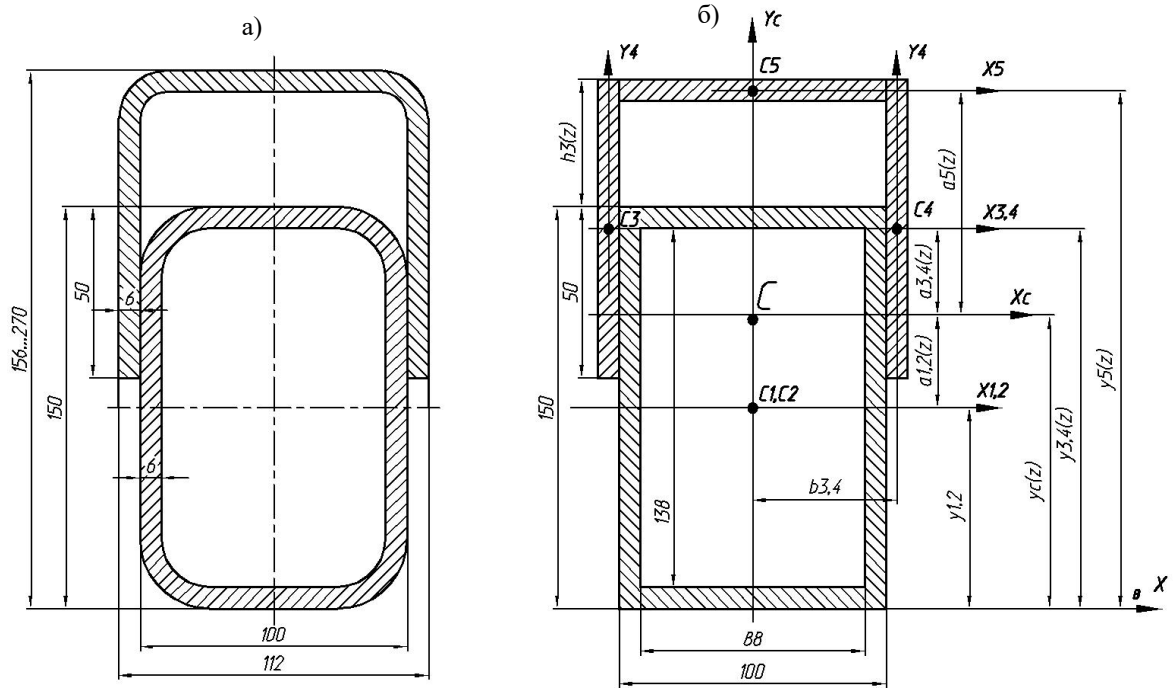


Рис. 1 – Реальное (а) и упрощенное (б) поперечное сечение балки

Осевые моменты инерции сечения определяются по формулам:

$$I_x(z) = \left[(I_{x1} + A_1 a_1(z)^2) - (I_{x2} + A_2 a_2(z)^2) + 2(I_{x3} + A_3 a_3(z)^2) + (I_{x5} + A_5 a_5(z)^2)\right]$$

$$I_y(z) = \left[I_{y1} - I_{y2} + 2(I_{y3}(z) + A_3(z) b_3^{\,2}) + I_{y5}\right]$$

где: $I_{x1,x2,x3,x4,x5}$, $I_{y1,y2,y3,y4,y5}$ – моменты инерции простых фигур площадью $A_{1,2,3,4,5}$;

$a_1(z), a_2(z), a_3(z), a_4(z), a_5(z)$ – координаты центральных осей X_i простых фигур относительно главной центральной оси X_C всего сечения;

b_3 - координаты центральных осей Y_3, Y_4 простых фигур 3, 4 относительно главной центральной оси Y_c всего сечения.

При определения нормальных напряжений необходимо учитывать, что балка моста работает в условиях сложного сопротивления – неплоский изгиб и простое растяжение-сжатие (от продольной силы F_3).

Тогда нормальные напряжения могут быть определены в соответствии по формуле:

$$\sigma_{\max}^{C,P}(z) = \pm\frac{F_3}{A(z)} + \frac{M_x(z) y_{\max}^{C,P}(z)}{I_x(z)} + \frac{M_y(z) x_{\max}}{I_y(z)},$$

где: $M_{x,y}(z)$ – изгибающие моменты, приведенные к балке моста;

$y_{\max}^{P,C}, x_{\max}$ – координаты точек (в областях сжатия и растяжения) в системе главных центральных осей.

Изгибающие моменты M_x и M_y относительно главных центральных осей x и y могут быть вычислены в любом поперечном сечении балки, но наиболее опасным является сечение, в котором эти моменты достигают своих наибольших значений и с учетом силы F_3 будут равны:

для левой части – $M_x(z) = M_1 + F_1 z - F_3 R$,

для правой части – $M_x(z) = M_1 + F_1 z + F_3 R$,

для левой и правой части – $M_y(z) = M_2 + F_2 z$,

где: M_1, M_2 – изгибающие моменты от сил F_1 и F_2, приведенные к балке моста;

z – переменная функции изгибающего момента.

При движении на горизонтальном участке и на склоне силы F_1 и F_3 будут определяться выражениями:

для левой (нижней) части – $F_{1H} = \dfrac{G \cdot \cos\alpha \cdot l - G \cdot \sin\alpha \cdot (a + R)}{2 \cdot l}$;

для правой (верхней) части – $F_{1B} = \dfrac{G \cdot \cos\alpha \cdot l + G \cdot \sin\alpha \cdot (a + R)}{2 \cdot l}$;

$$F_3 = \frac{G_y}{2} \sin\alpha ,$$

где: l – половина длины балки моста, l = 0,71 м;

a – смещение оси крепления кузова энергосредства относительно оси моста (колес), l = 0,12 м;

Результаты расчетов напряжений балки моста представлены на рис. 2-5.

Статические напряжения, возникающие в балке моста, изменяются в широких пределах. Для растянутой зоны правой и левой части моста они изменяются от 79,1 МПа до 167,9 МПа и для сжатой зоны правой и левой части моста они изменяются от 85,5 МПа до 201,1 МПа.

Ввиду действия боковой силы F_3 напряжения в правой части моста оказались больше при малых значениях переменной z, однако, к середине моста при z = 1,2 м происходит перераспределение максимальных напряжений и более нагруженной становится левая часть балки.

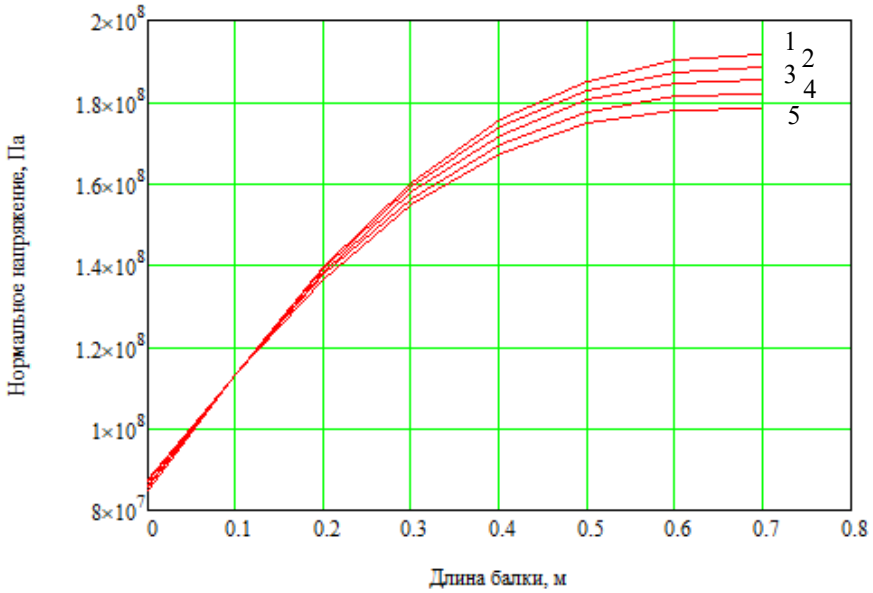


Рис. 2 – График изменения напряжений при растяжении по длине балки моста для правой части в зависимости от угла на склоне α: 1 - α=0°; 2 - α=2°; 3 - α=4°; 4 - α=6°; 5 - α=8°.

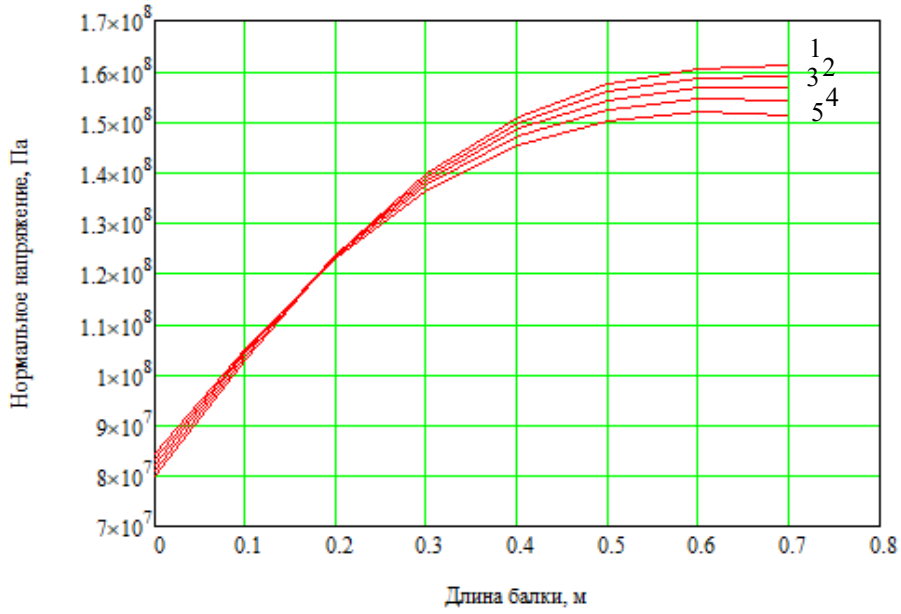


Рис. 3 – График изменения напряжений при сжатия по длине балки моста для правой части в зависимости от угла на склоне α: 1 - α=0; 2 - α=2°; 3 - α=4°; 4 - α=6°; 5 - α=8°.

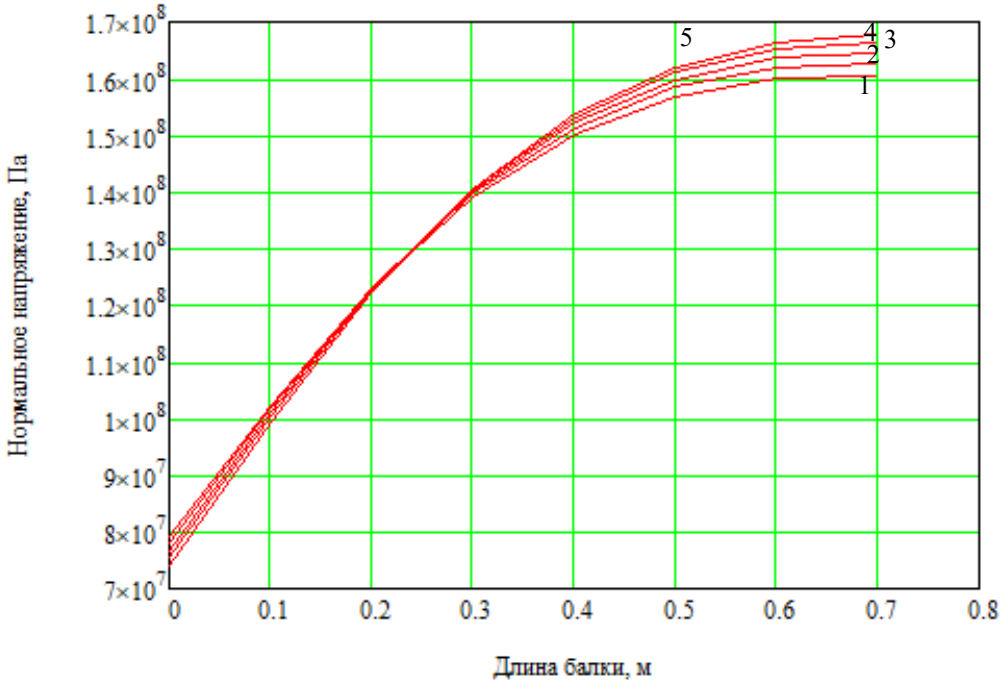


Рис. 4 – График изменения напряжений при растяжения по длине балки моста для левой части в зависимости от угла на склоне α: 5 - α=0; 4 - α=2°; 3 - α=4°; 2 - α=6°; 1 - α=8°.

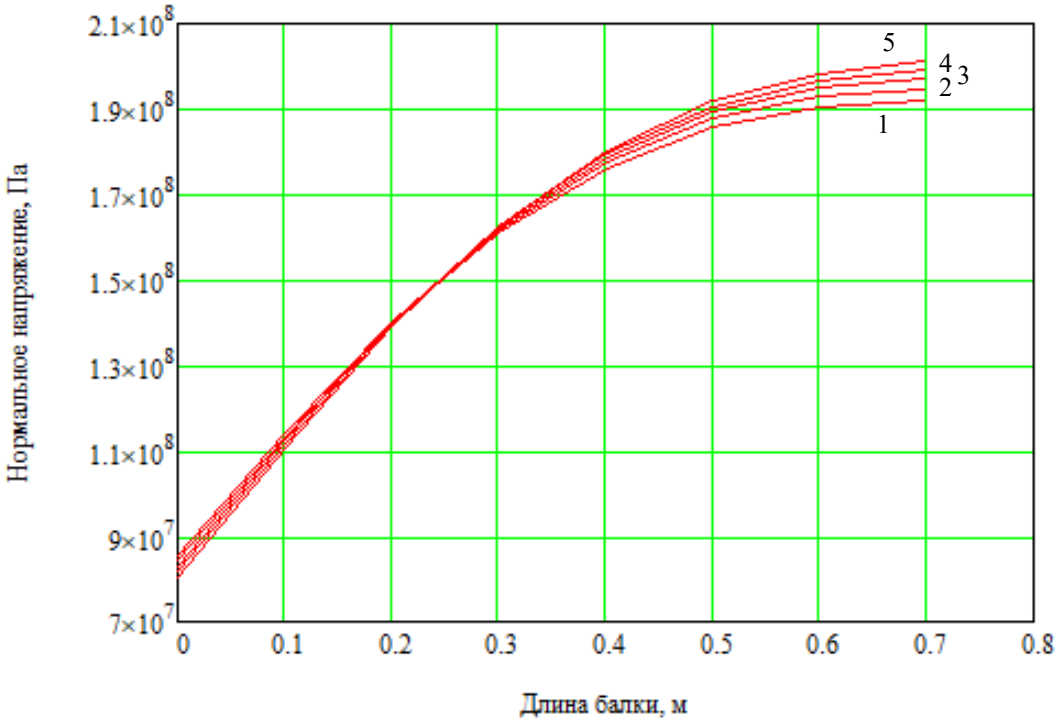


Рис. 5 – График изменения напряжений при сжатия по длине балки моста для левой части в зависимости от угла на склоне α: 5 - α=0; 4 - α=2°; 3 - α=4°; 2 - α=6°; 1 - α=8°.

По результатам расчета напряжений в условиях сложного сопротивления можно сказать, что наибольшие напряжения возникают в области сжатия, т.е. сечение расположено рационально (наиболее удаленные точки сечения располагаются в области сжатия). При движении энергосредства или комбайна по полю в условиях динамической нагруженности в балке моста будут возникнуть динамические напряжения и деформации, значительно увеличивающие статические величины, и привести к появлению пластических деформаций и усталостному разрушению балки моста, особенно в местах сварочных швов.

УДК 631.171:004

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Т.Ю. Ким[1], В.В. Голдыбан[2], В.А. Сычёв[1]
[1]Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства,
г. Минск, Республика Беларусь

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы, подпрограмма «Механизация агропроцессов и «точное» сельское хозяйство» НИР 1 «Создание прототипа мобильной роботизированной платформы для ухода за посадками овощных культур» задания 6.9 «Научное обоснование применения элементов цифровых технологий и роботизированных систем при возделывании овощей и картофеля». Работа выполнена во взаимодействии с НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства.

Введение. Применение мобильных робототехнических аппаратов в сельском хозяйстве является перспективным направлением развития точного земледелия. В частности, использованием мобильных роботов для автономного внесения удобрений или средств защиты растений позволяет исключить человека из вредных и опасных условий труда. Дальнейшая автоматизация процессов позволит также снизить расход химических веществ благодаря точечному и дозированному их внесению только на тех участках, где в этом существует необходимость [1]. Внедрение робототехники в сельскохозяйственное производство соответствует стратегии Национальной академии наук Беларуси «Наука и технологии до 2040 года» [2].

Отдельно следует отметить, что технологии точного земледелия и автоматизации в сельском хозяйстве развиваются уже много лет, позволяя достичь значительных успехов. Однако чаще всего речь идёт об автоматизации сельскохозяйственных машин, построенных на «классических» принципах – тракторов, комбайнов. Однако развитие технологий робототехники, электроники, управления, электропитания позволяет внедрять методы робототехники в те области, в которых ранее они не применялись, и в данном случае – в автоматизацию производства сельскохозяйственной продукции [3]. В частности, подходы к построению

транспортных роботов для функционирования на складах могут быть полезны в сфере проектирования сельскохозяйственных роботов.

Система управления роботизированной платформой. Задачей настоящей работы является разработка системы управления движением роботизированной платформы (транспортного робота), шасси и навесное оборудование которого оптимизировано для выполнения сельскохозяйственных операций в посадках пропашных культур как под полным управлением оператора, так и с использованием системы автоматической корректировки направления движения по рядкам культур. Внешний вид платформы представлен на рис. 1. Платформа представляет собой четырёхколёсное шасси с дифференциальным приводом и четырьмя ведущими колёсами. Полезной нагрузкой платформы является система внесения удобрений.

Управление осуществляется дистанционно с помощью пульта оператора. Кроме того, реализована система автоматической корректировки положения робота относительно рядка пропашной культуры с помощью системы технического зрения, являющейся развитием системы, описанной в [4]. В настоящей работе нейросетевая система распознавания рядков культуры была оптимизирована для работы на одноплатном компьютере Raspberry Pi4. Нижним уровнем системы управления является разработанное для управления платформой микроконтроллерное устройство, управляющее драйверами электромоторов.



Рис. 1 – Внешний вид транспортного робота

Вывод. Разработанная система управления позволяет использовать транспортную платформу для точечного внесения удобрений, а кроме того, для исследований, направленных на внедрение робототехники в сельскохозяйственное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Garcia F. P., Cortés Ascencio S.Y., Gaytan Oyarzun J.C., Ceruelo Hernandez A., Vazquez Alavarado P. (2012). Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. Journal of Research in Environmental Science and Toxicology. 1, 279–293.

2. Стратегия «Наука и технологии: 2018-2040 / Национальная академия наук Беларуси / http://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf.

3. Albiero D., Garcia, A. P., Umezu, C. K., and de Paulo, R. L. (2022). Swarm robots in mechanized agricultural operations: a review about challenges for research. Computers and Electronics in Agriculture, 193, 106608.

4. Азаренко В. В. Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме / В.В. Азаренко, Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан, И.А. Барановский, Г.А. Прокопович // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021, Том 59, №2. – С. 232-242.

УДК 631.354.2

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕНЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Л. В. Гринцевич
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Современные рынки сельскохозяйственной техники характеризуются динамичностью и инновационным подходом. Конкурентное преимущество будет иметь тот производитель, который предложит потребителю товар, удовлетворяющий потребность и обладающий уникальными функциональными качествами. Конкурентоспособность сложной технической продукции зависит от множества факторов: ее качественных характеристик, уровня затрат на ее приобретение и эксплуатацию, уровнем сервиса и маркетингового продвижения. Для потребителя сельскохозяйственной техники важным элементом является как цена, так и условия приобретения (возможность лизинга, кредитные программы, рассрочки) и эксплуатационные затраты, которые отражаются на эффективности деятельности сельского хозяйства.

При проектировании сельскохозяйственной, как и любой сложной технической продукции, важным является обоснование цены исходя из условий конкуренции на рынке и затратах производителя. Обоснование планируемой (лимитной) цены должно производиться на стадии технического задания на разработку новой продукции. Лимитная цена новой сельскохозяйственной техники определяется как среднее значение между рыночной ценой и нижним пределом цены, рассчитанным, исходя из планируемой себестоимости. Схема формирования лимитной цены сельскохозяйственной техники представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Определение лимитной цены новой сельскохозяйственной техники на стадии технического задания

Лимитная цена, установленная на стадии технического задания, остается, как правило, неизменной на всех последующих стадиях проектирования нового изделия, за исключением случаев, когда по требованию заказчика или по согласованию с ним изменяются исходные требования к новой продукции. При изменении исходных требований ранее согласованное техническое задание (включая лимитную цену) пересматривается и утверждается заново.

В лимитную цену могут быть внесены уточнения на стадии технического проекта, если изменяются ценностные факторы, существенно влияющие на ее уровень (изменение цены базисного изделия, изменения цен на сырье и материалы, тарифов на электроэнергию, упорядочение тарифных систем оплаты труда).

Верхний предел цены сельскохозяйственной техники рассчитывается из условий ее конкурентоспособности на конкретном рынке. При этом могут быть использованы различные методы определения конкурентоспособной цены: сравнительный, экспертный, корреляционный с применением различных математических моделей.

Методика определения конкурентной цены (Црын) исходя из сравнения моделей техники имеет следующие этапы:

1 этап. Сбор информации о рынке, конкурентах, их продукции. Если разрабатываемая техника имеет конкретные качественные характеристики

(технические, эргономические, эксплуатационные и т.п.), аналогичные конкурентам, помодельно оцениваются характеристики, которые будут важны для потребителя.

2 этап. Свод и структуризация данных. Для упрощения процесса анализа полученной информации ее необходимо структурировать и свести в таблицы, графики.

3 этап. Для более получения более точного результата необходимо свести в таблицу как минимум 10 конкурентных товаров. Далее для расчета уровня конкурентоспособности товаров нужно определить базу, с которой будут сравниваться все данные. Как правило, за базовое изделие принимается наиболее сильный конкурент.

4 этап. Путем расчета соотношений характеристик оцениваемого изделия к базовому рассчитывается уровень качества по формуле 1:

$$УК_i = \frac{К_i}{К_{баз.}}, \quad (1)$$

где $УК_i$ – уровень качества изделия i-го производителя;
$К_i$ – итоговый коэффициент изделия i-го производителя;
$К_{баз.}$ – итоговый коэффициент изделия, взятого за базу.

5 этап. Определяется уровень конкурентоспособности конкретного технического изделия относительно базового по формуле 2:

$$УКС_i = \frac{УК_i \times Ц_{баз.}}{Ц_i}, \quad (2)$$

где $УКС_i$ – уровень конкурентоспособности изделия i-го производителя;
$УК_i$ – уровень качества изделия i-го производителя;
$Ц_{баз.}$ – цена изделия, взятого за базу, тыс. $;
Цi – цена изделия i-го производителя, тыс. $.

6 этап. Уровни конкурентоспособности сравниваются между различными производителями. Чем выше коэффициент, тем соответственно выше конкурентоспособность товара на рынке.

7 этап. Уменьшая или увеличивая величину характеристики, можно проследить зависимость уровня конкурентоспособности от каждой из характеристик.

8 этап. Величина цены также влияет на конкурентоспособность товара на рынке. Величину цены корректируется на основе уровня конкурентоспособности согласно ценовой стратегии предприятия.

Методика обоснования цены (Цмат), основанная на математической модели, имеет следующие этапы:

1 этап. Определение параметров (факторов) корреляционной модели, изменение которых оказывать существенное влияние на цену.

2 этап. Выбор математической модели: однофакторная или многофакторная.

3 этап. Выбор уравнения: линейное, гиперболическое, квадратное и т.д.
4 этап. Расчет коэффициентов регрессии.
5 этап. Определение числа наблюдений.
6 этап. Выбор программу для расчета математической модели.
7 этап. Определение математической модели и моделирование цены исходя из прогнозируемых характеристик сложной техники.

Последовательность обоснования цены исходя из затрат (Цзатр) производителя сложной техники:
1 этап. Определение себестоимости единицы продукции, с учетом постоянных и переменных затрат, соответствующих действующим положениям по составу затрат, входящих в себестоимость.
2 этап. Определение нормы прибыли на единицу продукции, включаемую в цену.
3 этап. Расчет цены сложной техники исходя из затрат, необходимой нормы прибыли, торговых наценок и налогов.

После расчёта всех цен тремя методами, цены сравниваются по схеме, представленной на рис. 2.

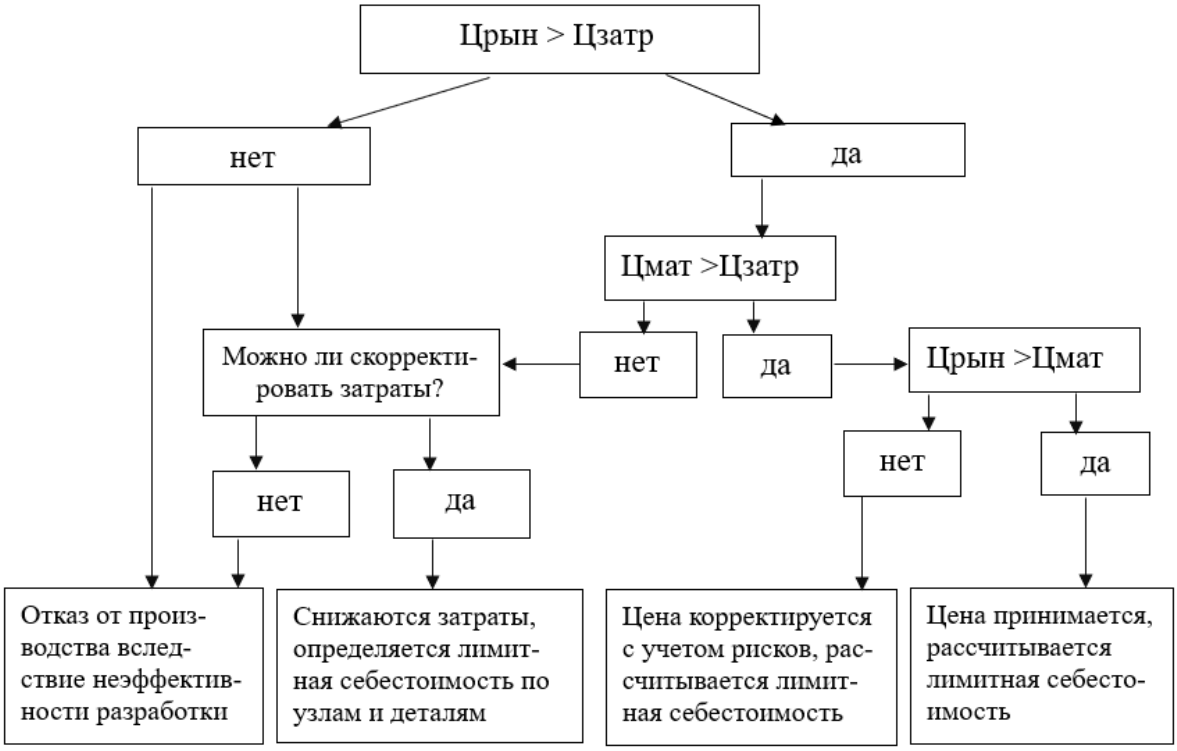


Рис. 2 – Схема принятия решения о рациональности производства новой сельскохозяйственной техники и обоснования лимитной цены

Предложенный алгоритм является универсальным инструментом для определения и регулирования цены сложного технического изделия. При необходимости алгоритм может быть скорректирован в зависимости от сферы применения.

УДК 629.114

МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Ч.И. Жданович[1], Н.В. Калинин[2]
[1]Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение. Согласно [1], передаточное отношение механической части трансмиссии (МЧТ) высшей (n-ной) передачи $u_{МЧТ(n)}$ трактора выбирается таким, чтобы было обеспечено заданное значение максимальной скорости трактора. Если взять значение $u_{МЧТ(n)}$ большим, чем нужно по формуле [1, (1)], то не будет обеспечена максимальная скорость трактора, а если — меньшим, то при максимальных оборотах тягового асинхронного электродвигателя (ТАД) будет превышена допустимая скорость трактора. Передаточное отношение (n-1)-ой передачи трактора $u_{МЧТ(n-1)}$ может быть выбрано из диапазона значений, определяемого по методике [2]. Теоретически оценить, какое же $u_{МЧТ(n-1)}$ обеспечит наиболее эффективную работу трактора и ТАД в составе электромеханической трансмиссии трактора, можно по методике [2, 3, 4]. Важно также провести экспериментальную оценку эффективности силовой установки трактора с различными значениями передаточных чисел МЧТ. Изготовление же МЧТ с каждым возможным значением $u_{МЧТ(n-1)}$ только для того, чтобы сравнить их эффективность, весьма затратно.

Цель работы — разработка методики стендовых исследований эффективности силового агрегата трактора, включающего в себя ДВС, тяговый асинхронный генератор (ТАГ) и ТАД, с учётом различных значений $u_{МЧТ(n-1)}$, но без изготовления МЧТ.

Эффективность работы силовой установки при различных значениях $u_{МЧТ(n-1)}$ можно определять для различных операций. В данной работе представим методику для случаев, когда трактор должен развивать момент на колёсах, ограниченный: допустимым буксованием, заданным режимом работы ТАД (номинальным или предельным) и возможностями ДВС, то есть аналогично методике [4]. При работе трактора на операциях, требующих меньшего значения момента на колёсах, методика оценки эффективности силовой установки трактора будет несколько иной.

Схема стенда. Берём ДВС с электромеханической трансмиссией без МЧТ. Нагрузочное устройство (НУ), оборудованное встроенными датчиками момента и оборотов, будет создавать требуемый момент

непосредственно на валу ТАД $M_{ТАД}$. Обороты ТАД будем регулировать при помощи частоты f_1, изменяя её значение при помощи преобразователя частоты. Зависимость действительной скорости $v_Д$ от частоты f_1 приведена в [4, рис. 2], формулы зависимости $v_Д$ от f_1 также приведены в [4]. Схема стенда представлена на рис. 1, где ДВС — это двигатель внутреннего сгорания; ТАГ — тяговый асинхронный генератор; ПЧ — преобразователь частоты и другое необходимое оборудование; ТАД — тяговый асинхронный электродвигатель; НУ — нагрузочное устройство, создающее необходимый момент на валу ТАД.



Рис. 1 — Схема стенда

Требуемые известные зависимости.

Зависимость для определения силы тяги на крюке трактора $F_{кр}$ от момента ТАД $M_{ТАД}$ при известных значениях силы сопротивления качению трактора F_f, передаточном отношении МЧТ трактора $u_{МЧТ}$, КПД МЧТ $\eta_{МЧТ}$ и динамическом радиусе $r_д$

$$F_{кр} = M_{ТАД} u_{МЧТ} \eta_{МЧТ} / r_д - F_f . \quad (1)$$

Зависимость для определения действительной скорость трактора $v_Д$ при известном буксовании δ и частоте вращения ротора ТАД n_2

$$v_Д = \frac{\pi n_2 r_д}{30 u_{МЧТ}} (1 - \delta). \quad (2)$$

Момент ТАД и частота напряжения ТАД при различных значениях $u_{МЧТ(n-1)}$. Из графиков [4] видно, что требуемые значения $F_{кр}$ при одних и тех же скоростях $v_Д$ могут быть при различных значениях $u_{МЧТ(n-1)}$, допустимый диапазон $u_{МЧТ(n-1)}$ для требуемой операции определяется по [2]. Рассмотрим работу трактора на пахоте и выберем из диапазона $u_{МЧТ(n-1)}$, определённого в [2], два значения: $u_{МЧТ(n-1)}$=71,83 и $u_{МЧТ(n-1)}$=87,70.

Выполним расчёт по методике [4] для передаточных отношений механической части трансмиссии $u_{МЧТ(n-1)}$=71,83 и $u_{МЧТ(n-1)}$=87,70 для случая, когда момент ТАД ограничен номинальным скольжением ТАД, допустимым буксованием колёс трактора и максимальным значением активной мощности, которую ТАД может получить от дизель-генераторной установки при наличии возможности для получения ТАД

всей необходимой ему реактивной мощности. На рис. 2 представим график зависимости силы тяги на крюке $F_{кр}$ от действительной скорости $v_Д$. Для примера возьмём плуг [5]. Для него указана максимальная скорость 10 км/ч. Как видно из рис. 2, для обеспечения работы на пахоте можно использовать обе передачи, причём при работе на обеих передачах можно обеспечивать максимально возможные тяговые усилия в диапазоне скоростей пахоты. На рис. 3 покажем, какими при этом должны быть момент на валу ТАД $M_{ТАД}$ и задаваемая частота напряжения f_1. Как видно из рис. 3, для большего $u_{МЧТ}$ ТАД трактора на пахоте должен будет работать при большем значении f_1 и развивать меньший момент $M_{ТАД}$.

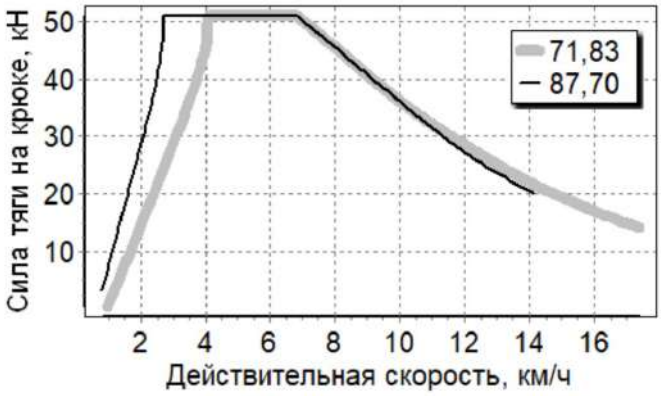


Рис. 2 — Графики $F_{кр}(v_Д)$ для $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$=71,83 и $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$=87,70

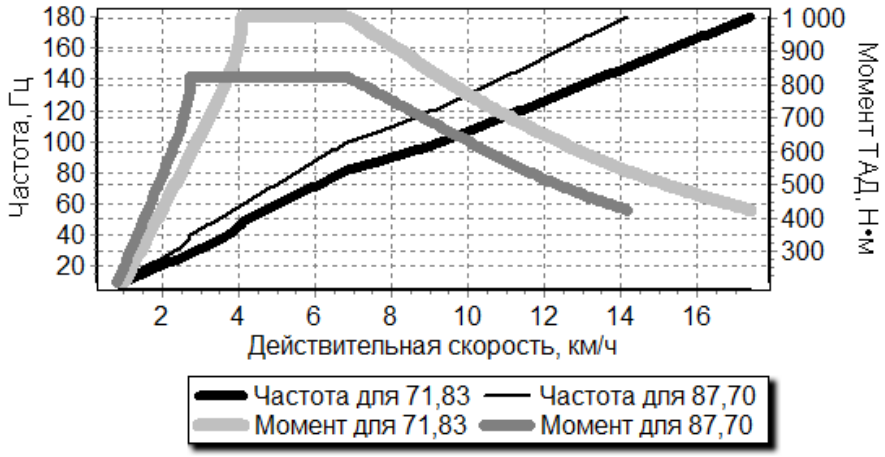


Рис. 3 — Графики $M_{ТАД}(v_Д)$ и $f_1(v_Д)$ для $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$=71,83 и $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$=87,70

Последовательность действий.

1. Выполняется расчёт по [4] во всём диапазоне частот ТАД f_1 для требуемого значения $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$. Находятся значения $M_{ТАД}$, n_2, $v_Д$, $F_{кр}$. Момент на ТАД $M_{ТАД,сц}$ при допустимом буксовании для заданного $u_{МЧТ(n\text{-}1)}$ также определяется по [2].

2. Из диапазона скоростей $v_Д$ выбираются значения $v_{Д,i}$ (с определённым шагом или произвольно). Для каждого $v_{Д,i}$ уже известны

$F_{кр,i}$, $M_{ТАД,i}$ и $n_{2,i}$, а рассчитаны все эти значения при частоте $f_{1,i}$. Устанавливается частота $f_{1,i}$ при помощи преобразователя частоты, нагрузочным устройством устанавливается момент $M_{НУ}=M_{ТАД,i}$.

3. Если не может быть обеспечен момент $M_{НУ}=M_{ТАД,i}$ (превышена мощность, которую ТАД может получить от генератора, либо ТАД не может развить такой большой момент), то устанавливается максимально возможный момент $M_{НУ}=M_{ТАД(э),i}$, при котором силовая установка может работать. Момент $M_{ТАД(э),i}$ определяется опытным путём (постепенным уменьшением $M_{НУ}$).

Не следует устанавливать $M_{НУ}>M_{ТАД,сц}$ при заданном $u_{МЧТ(n-1)}$ ни для какого значения $f_{1,i}$, так как при работе ТАД с таким моментом при таком значении $u_{МЧТ(n-1)}$ было бы превышено допустимое буксование трактора.

Если для i-ой точки момент ограничен по номинальному скольжению, то измеренная частота $n_{2(э),i}$ для i-ой точки должна соответствовать расчётной частоте $n_{2,i}$. Если они не равны, то это значит, что для $f_{1,i}$ при номинальном скольжении момент ТАД будет отличаться от расчётного значения $M_{ТАД,i}$. Если $n_{2(э),i} > n_{2,i}$, то это нужно увеличить $M_{НУ}$ до достижения $n_{2(э),i} = n_{2,i}$, а если $n_{2(э),i} < n_{2,i}$, то уменьшить.

Если бы выполнялся расчёт для предельного режима работы ТАД, то в i-той точке, где ТАД должен развить предельный момент, ограниченный критическим скольжением, нужно было бы устанавливать предельное значение $M_{НУ}$ для ТАД, при превышении которого он остановится, и определять $n_{2(э),i}$ и $M_{ТАД(э),i}$ при нём — в случае $n_{2(э),i} \neq n_{2,i}$ фактическое критическое скольжение будет отличаться от своего расчётного значения для $f_{1,i}$.

Если расчётное ограничение момента в i-той точке по мощности, которую ТАД может получить от ТАГ, а силовая установка может дать мощность несколько большую расчётной, то устанавливается $M_{НУ}$ такой, который будет на пределах возможности установки. Но момент допускается увеличивать так, чтобы он не превысил другие ограничения.

4. При установленных значениях $f_{1,i}$ (и напряжении, соответствующему $f_{1,i}$ [6]) и $M_{НУ}$ выполняется измерение всех требуемых параметров силового агрегата.

5. Для $M_{ТАД(э),i}$ определяется $F_{кр(э),i}$ по формуле (1). Для $F_{кр(э),i}$ по кривой буксования определяем буксование $\delta_{(э)}$. Определяем действительную скорость $v_{Д(э)}$ по формуле (2) для $n_{2(э)}$.

Для сравнения эффективности работы на различных передачах можно строить зависимости различных параметров ТАД и других агрегатов силовой установки, показывающих эффективность работы силовой установки при разных значениях $u_{МЧТ(n-1)}$, от $v_{Д(э)}$ аналогично рис. 3. Отличие данной методики от методики [4] в том, что значения параметров ТАД получены экспериментальным путём. Однако остаётся теоретически определённым КПД МЧТ и кривая буксования — проверить

практически кривую буксования и КПД МЧТ данная методика не позволяет.

Выводы

Разработана методика стендовых исследований эффективности силовой установки трактора с электромеханической трансмиссией при работе с различными передаточными отношениями МЧТ, не требующая изготовления МЧТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович Ч. И. Определение передаточных отношений механической части электромеханической трансмиссии трактора / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Наука и техника. — 2016. — Т. 15, № 1. — С. 29–36. — DOI: https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-1-29-36.

2. Жданович Ч. И. Выбор диапазона передаточных отношений механической части электромеханической трансмиссии трактора / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2021. — № 3(60). — С. 52–60. — DOI: https://doi.org/10.46864/1995-0470-2022-3-60-52-60.

3. Жданович Ч. И. Тяговый КПД трактора с электромеханической трансмиссией / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Актуальные вопросы машиностроения: сб. научн. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2020. — Вып. 9. — С.131–135.

4. Жданович Ч. И. Реализация тяговых возможностей трактора с электромеханической трансмиссией / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2021. — № 1(54). — С. 5–14. — DOI: https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-1-54-5-14.

5. Плуг полунавесной FINIST ПП-9-35 с предплужниками [Электронный ресурс] // ООО «Белагро Бел». — Режим доступа: — https://belagrobel.by/catalog/selskohozjajstvennaja-tehnika/pochvoobrabotka/plugi/24234/#specificationsTab. Дата доступа: 30.09.2024.

6. Жданович Ч.И. Выбор способа регулирования тягового асинхронного электродвигателя трактора и построение механической характеристики / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Наука и техника. — 2015. — № 3. — С. 60–64.

УДК 631.354

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАМКИ КРЕПЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА

А.И. Козлов, А.Н. Кондрашова, Н.Л. Прокопенко
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния вибрационного отклика на усталостную прочность элементов конструкции рамки вентилятора охлаждения двигателя. Авторами проиллюстрирован подход к созданию расчетной модели для исследования влияния возмущающих нагрузок, возникающих от работы ременной передачи и дисбаланса вентилятора, на нагруженность конструкции рамки крепления вентилятора. По результатам созданной модели предложено техническое решение, позволяющее снизить вибро-нагруженность элементов конструкции до оптимально допустимых значений.

Введение. Повышение виброустойчивости элементов конструкции рамки крепления вентилятора, находящейся под действием вибрационных нагрузок, вызванных ременной передачей в процессе работы, является важной задачей по обеспечению ее работоспособности на весь срок службы сельскохозяйственной машины.

Ниже авторами проиллюстрирован подход к созданию расчетной модели для исследования влияния возмущающей нагрузки, возникающей от работы ременной передачи на нагруженность конструкции рамки крепления вентилятора.

Объект исследования*:* конструкция рамки крепления вентилятора кормоуборочного комбайна FS80.

Предмет исследования*:* зона установки редуктора на конструкцию рамки установки вентилятора.

Цель исследования*:* создание расчетной математической модели, ее анализ и выработка рекомендаций по обеспечению виброустойчивости и усталостной прочности элементов конструкции.

Методология исследования: Для исследования возникшей научно-технической проблемы была создана расчетная модель конструкции рамки установки вентилятора на комбайне с использованием программного обеспечения Ansys Workbench [2]. В частности, для данного расчета использовалась система динамического расчета Transient Structural с применением метода суперпозиций, который заключается в предварительном расчете модальных форм и собственных частот конструкции установки вентилятора, а также учитывает предварительное

нагружение и демпфирование конструкции [3]. Данный метод при достаточно высоком качестве конечно-элементной сетки позволяет определить локальное повышение действующих напряжений, связанное с особенностями геометрии конструкции. Поэтому при назначении расчетных коэффициентов концентрации напряжений необходимо учитывать только технологические факторы, оказывающие влияние на локальное повышение напряжений (сварные швы, шероховатость поверхности, переходы зон с различной твердостью, натяг, и т.д.).

Для того, чтобы процесс моделирования возмущающего отклика от ременной передачи был более точен, необходимо учесть моменты инерции редуктора и установленных элементов на рамке крепления вентилятора, а также точечных сосредоточенных масс рабочих органов с учетом их инерционных характеристик. Важным параметром для определения виброускорения в исследуемой зоне является коэффициент демпфирования, который представляет собой отношение коэффициента модального затухания к круговой частоте свободных колебаний. Для расчета принят коэффициент демпфирования 2%, определенный ранее экспериментально на аналогичной конструкции рамки.

Имитационная модель элементов конструкции рамки вентилятора была создана на основе конструкторской 3D-модели, выполненной в Windchill и преобразованной в Design Modeler [3].

На рис. 1 представлена расчетная схема нагружения конструкции рамки крепления вентилятора.

Расчет отклика (Transient Structural) с учетом форм собственных колебаний конструкции рамки проведен с учетом следующих условий:

– нагрузка от силы дисбаланса 18,45Н (вращающийся вектор по гармоническому закону) рассчитанной при вращении вентилятора на частоте 38,7Гц с дисбалансом по КД - 0,312 гм;

– окружная сила, изменяющаяся по гармоническому закону от 0 Н до 1045,9 Н (пульсирующая нагрузка) при частоте 33,3 Гц;

– постоянная действующая сила от ременной передачи по несущей способности ремня 767,45 Н.

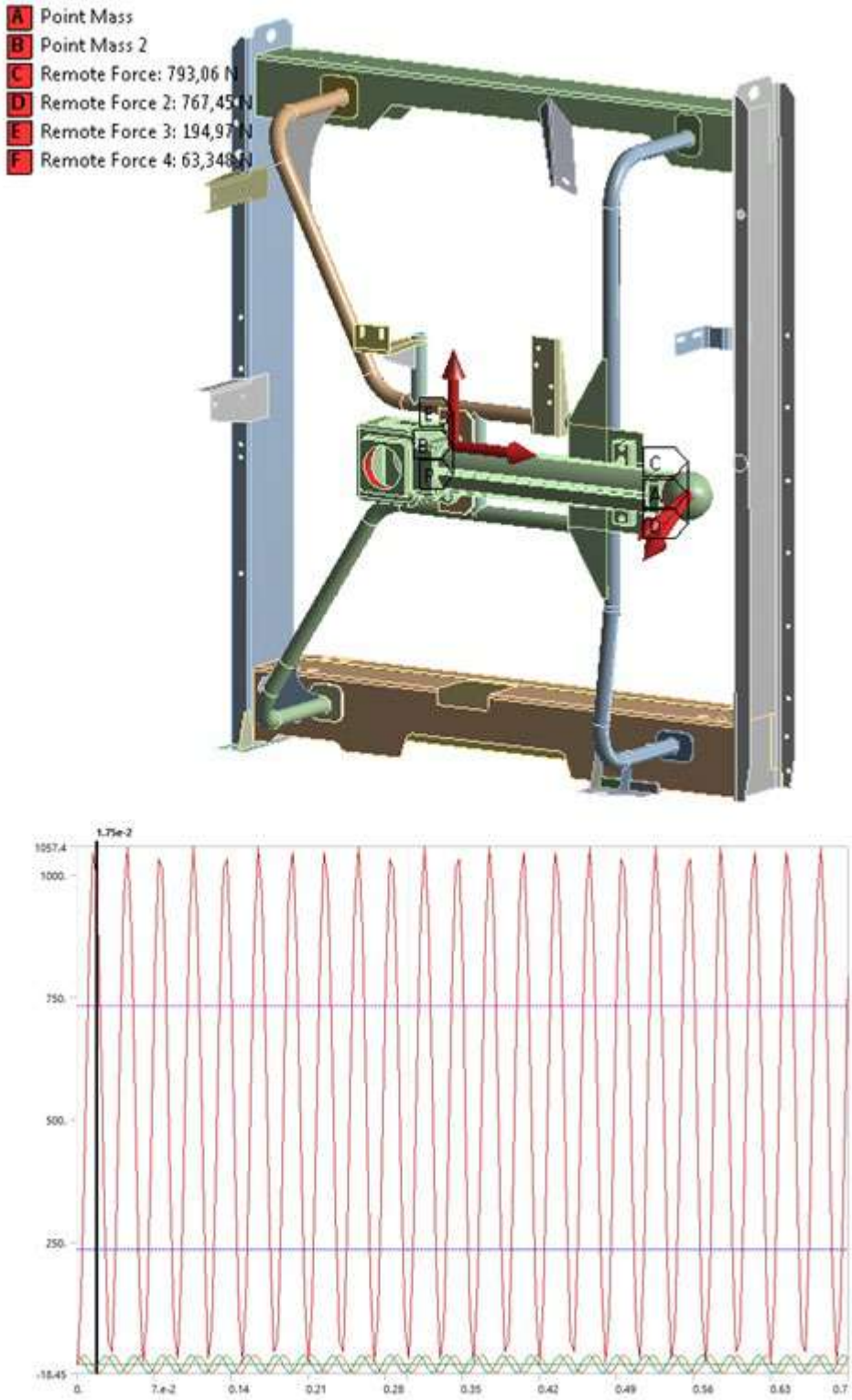


Рис. 1 – Расчетная схема конструкции рамки вентилятора для рассмотренного режима нагружения

Анализ переходных процессов предназначен для нахождения динамической реакции системы при действии некоторых нагрузок, зависящих от времени. Мы используем этот тип анализа для определения временной зависимости перемещений, деформаций, напряжений и сил в

системе, как реакцию на некоторую комбинацию статических, переходных и гармонических сил. Расчет во временной шкале означает, что эффекты инерции и демпфирования являются важными.

Основное уравнение движения имеет вид (1).

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + c \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F(t) \quad (1)$$

где m – матрица масс;
c – матрица коэффициентов радиального или осевого демпфирования конструкции;
k – матрица коэффициентов радиальной или осевой жесткости конструкции;
x – обобщенная координата системы;
$F(t)$ – вектор нагрузок.

В каждый текущий момент времени это уравнение может интерпретироваться как набор статических уравнений равновесия с учетом сил инерции и сил демпфирования. Использует метод Ньюмарка в процедуре интегрирования по времени [4]. Приращение по времени задается временными шагами.

На основе геометрической 3D модели (рис.2) построена конечно-элементная сетка. Для уменьшения количества элементов сетки и соответственно ускорения расчета были применены четырехузловые элементы с шестью степенями свободы. Для получения более качественной картины в зоне появления усталостной трещины, было выполнено локальное разбиение с более мелким размером сетки [2].

Результаты исследования. Процент «отстройки» от резонансной частоты (Р) и динамический коэффициент усиления внешнего воздействия при приближении к зоне резонанса (k_d), рассчитываем по формулам 2 и 3 [5, 6]:

$$P = (1 - \frac{f_s}{f}) \cdot 100\% \quad (2)$$

$$k_d = \frac{1}{1 - \frac{f_s^2}{f^2}} \quad (3)$$

где: f_s – собственная частота конструкции, Гц;

По результатам модального анализа собственная частота пятой формы колебаний для исходной конструкции составила 34,07Гц в соответствии с рис. 2. Отстройка от резонансной частоты работы двигателя

на рабочей частоте ($\nu_в$=33,3Гц) составила $\Delta_с$=2,2601%, что не удовлетворяет условиям виброустойчивости (минимально допустимая отстройка $[\Delta]_{min} \geq 20\%$ [5]).

В связи с тем, что характер деформаций рамки крепления вентилятора для пятой формы колебаний соответствует направлению действия окружной силы ременной передачи, было принято решение о проведении дополнительных расчетов по определению отклика конструкции на гармоническое воздействие от вышеизложенного режима нагружения. А также были определены главные напряжения в конструкции рамки крепления вентилятора, возникающие от гармонического воздействия ременной передачи и дисбаланса вентилятора.

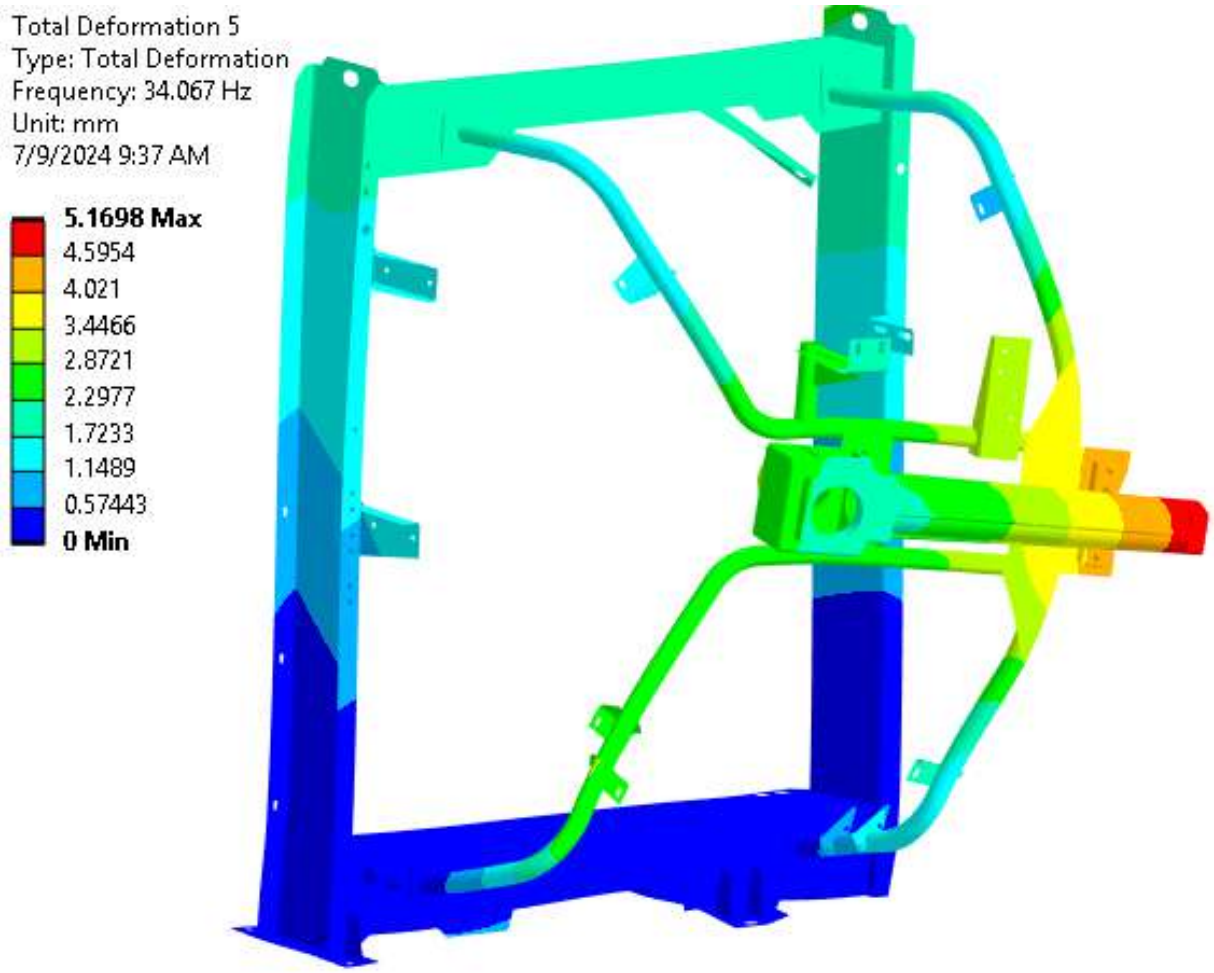


Рис. 2 – 5-я форма собственных колебаний исходной конструкции.

На рис. 3-6 представлены поля главных максимальных напряжений с учетом одновременного действия пульсирующей окружной силы и силы дисбаланса вентилятора по КД с максимальными и минимальными напряжениями цикла.

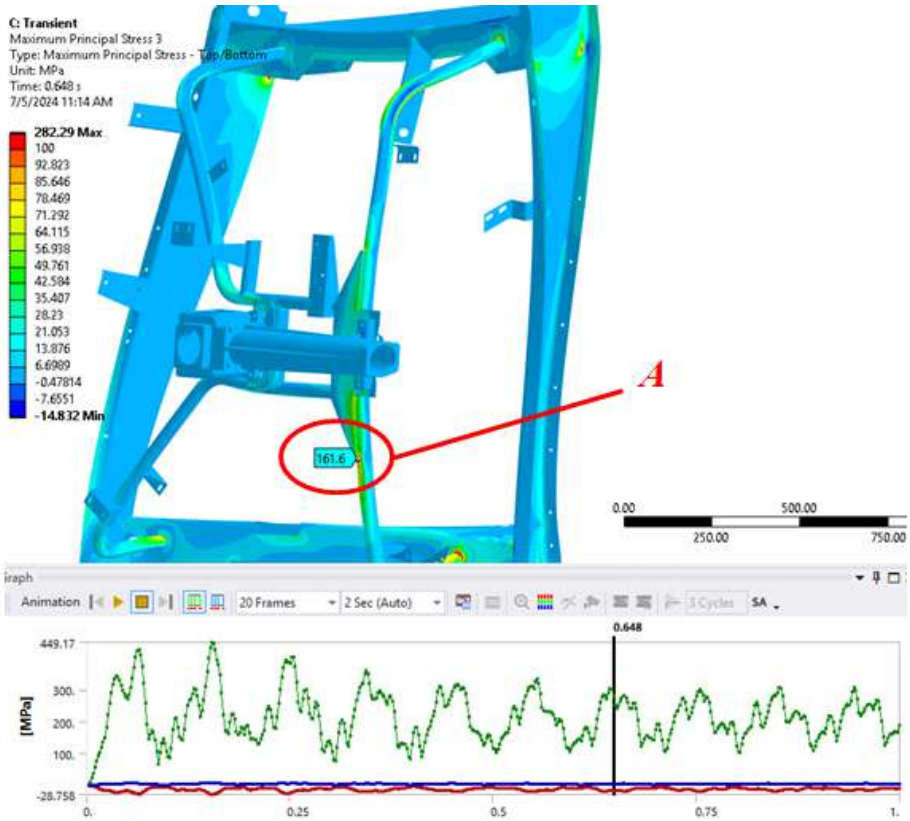


Рис. 3 – Поля главных максимальных напряжений в исходной конструкции рамки (максимальные напряжения цикла)

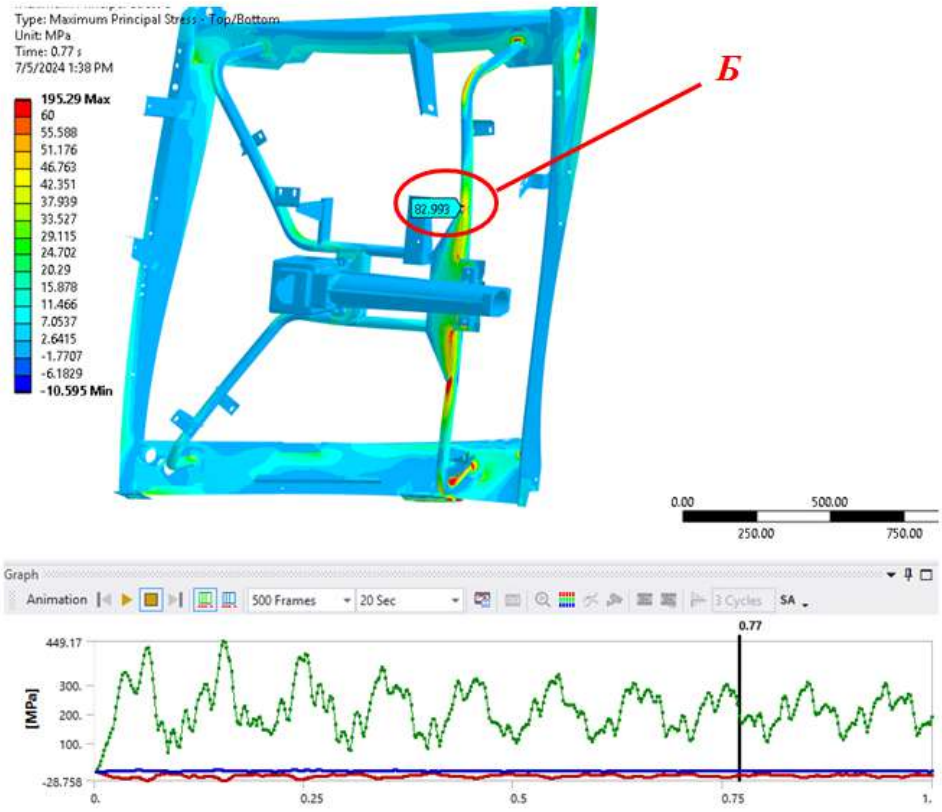


Рис. 4 – Поля главных максимальных напряжений в исходной конструкции рамки (максимальные напряжения цикла)

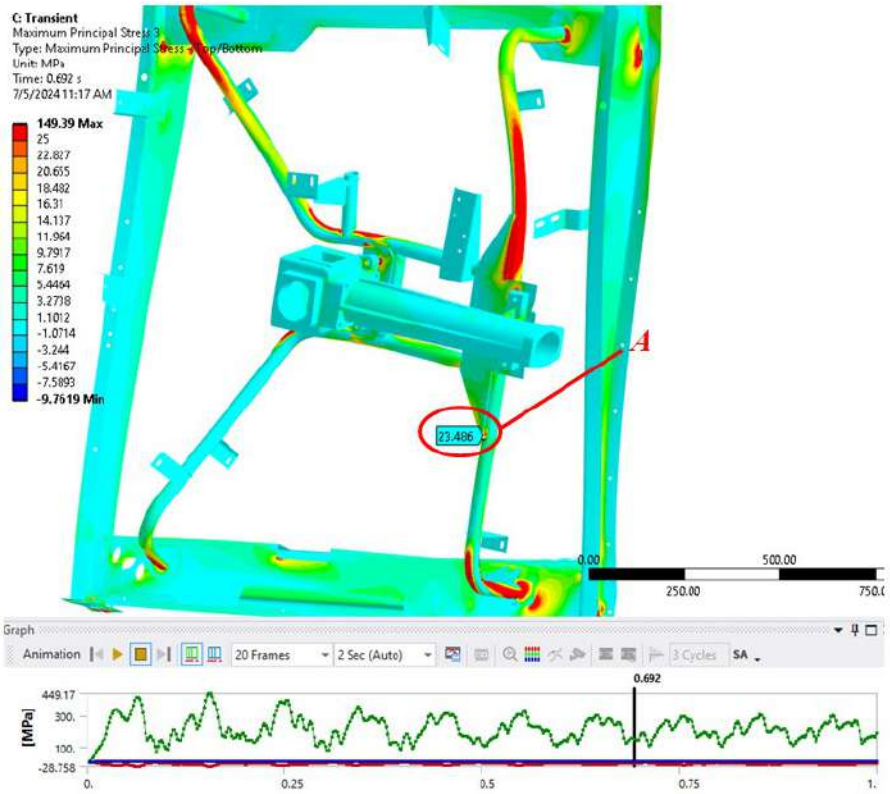


Рис. 5 – Поля главных максимальных напряжений в исходной конструкции рамки (минимальные напряжения цикла)

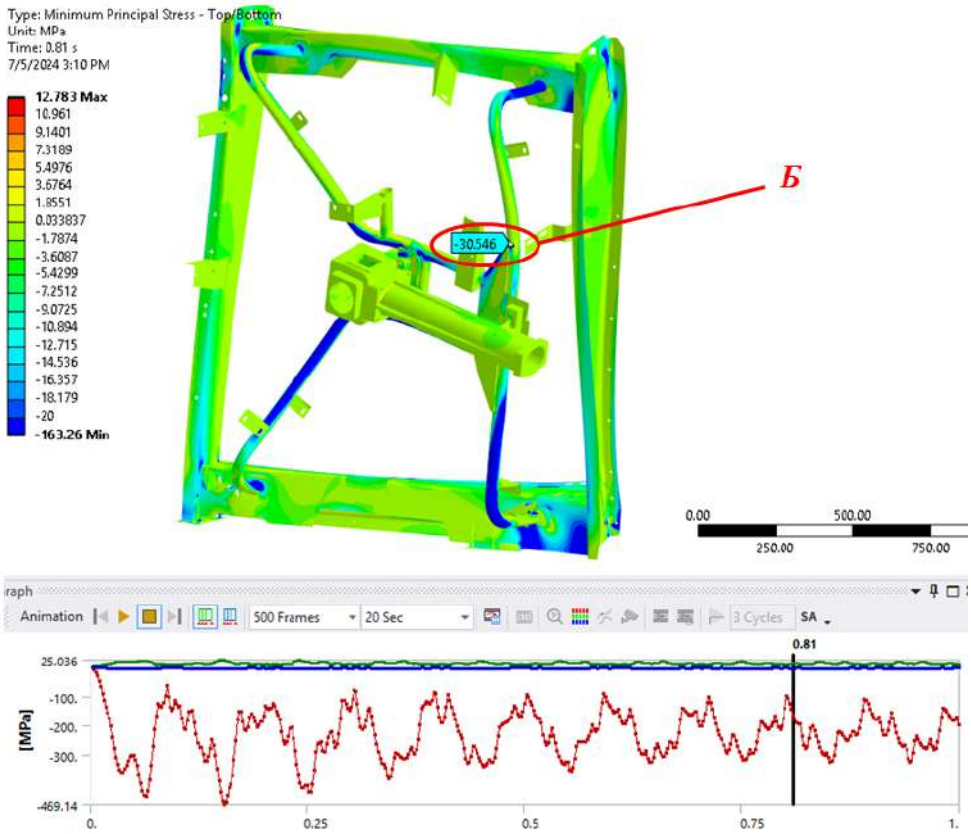


Рис. 6 – Поля главных минимальных напряжений в исходной конструкции рамки (минимальные напряжения цикла)

Запас усталостной прочности в зонах А, Б (материал трубы сталь 20), рассчитан по проведенному ниже алгоритму:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_a \cdot K_\sigma}{\beta \cdot \varepsilon_\sigma} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} \quad [4]$$

где: σ_{-1} – предел выносливости для материала, МПа;
σ_{max} – максимальное напряжение цикла, МПа;
σ_{min} – минимальное напряжение цикла, МПа;
$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$ - амплитуда напряжений цикла, МПа;
K_σ– эффективный коэффициент концентрации напряжений
$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$ - среднее напряжение цикла, МПа;
ψ_σ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла материала;
β – коэффициент поверхностного упрочнения;
ε_σ – масштабные факторы, учитывающие размеры сечения.

Результаты расчета запаса усталостной прочности исходной конструкции по алгоритму (4) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Зона	Исходные данные							Результат		
	σ_{-1}	σ_{min}	σ_{max}	K_σ	ψ_σ	β	ε_σ	σ_a	σ_m	n_σ
А	180	23,48	161,6	3	0,15	1	1	69,06	92,54	0,81
Б	180	-30,5	83,0	3	0,15	1	1	56,78	26,23	1,03

Как видно из таблицы 1, запасы усталостной прочности для рассматриваемого режима нагружения не удовлетворяют условиям усталостной прочности (n<1,5). Для обеспечения достаточной усталостной прочности рекомендуем изменить конструкцию в соответствии с рис. 7.

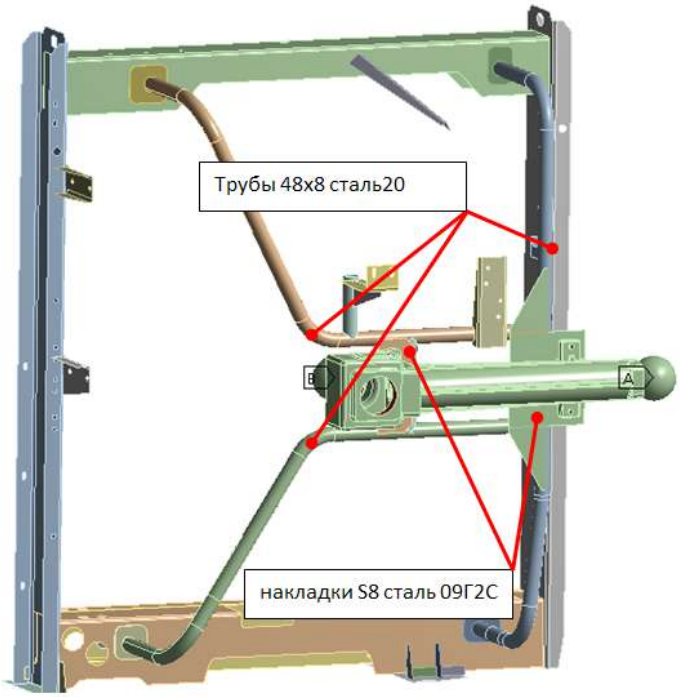


Рис. 7 – Предлагаемое изменение конструкции.

Расчет на виброустойчивость предлагаемой конструкции.

На рис. 8 изображена наиболее опасная 4-я форма собственных колебаний конструкции с частотой 34,56Гц.

Отстройка от рабочей частоты двигателя ($\nu_в$=33,3Гц) составляет Δ_c=3,6458% , что недостаточно.

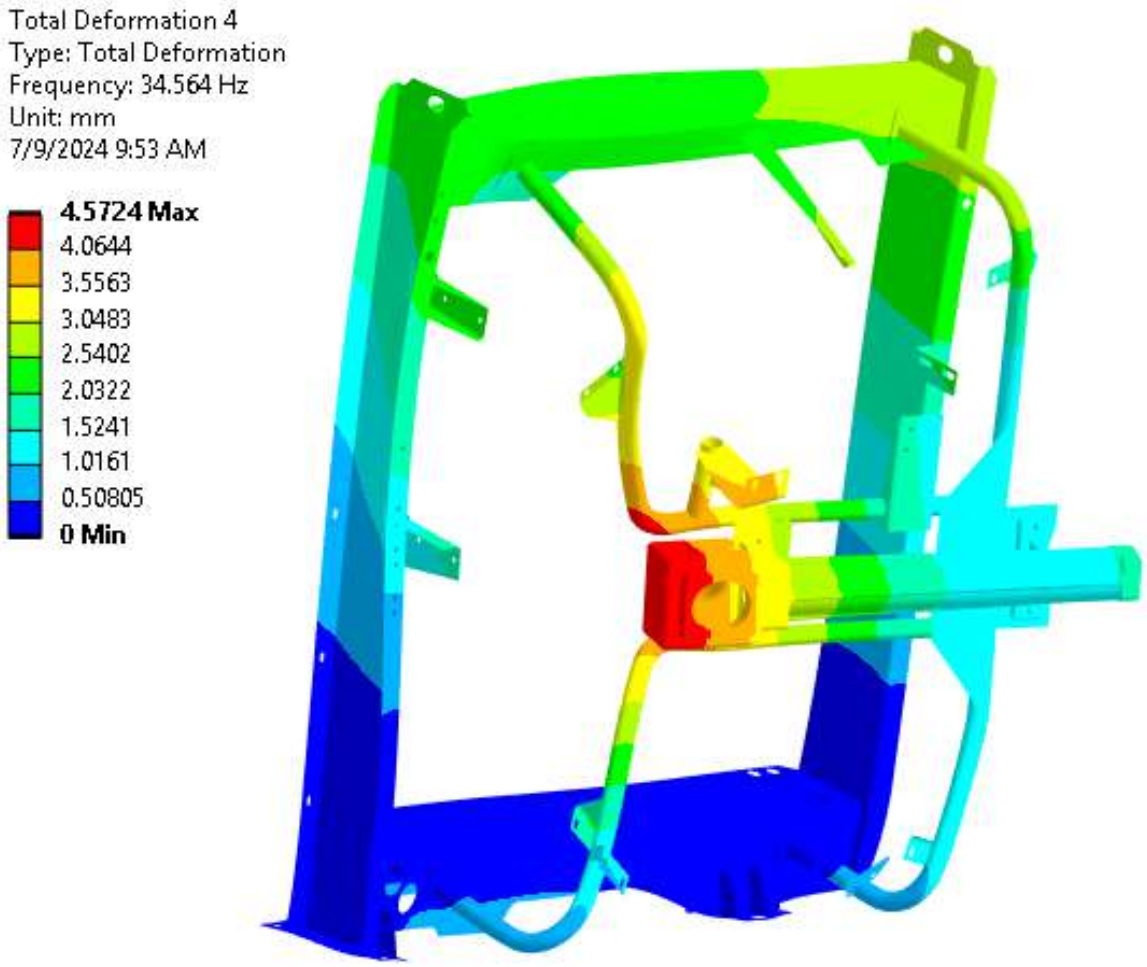


Рис. 8 – 4-я форма собственных колебаний исходной конструкции.

Так как исходная конструкция рамы крепления вентилятора не удовлетворяет условиям виброустойчивости (минимально допустимая отстройка $[\Delta]_{min} \geq 20\%$), определим напряжения возникающие от гармонического воздействия ременной передачи и дисбаланса вентилятора.

На рис. 9-12 представлены поля главных максимальных напряжений с учетом одновременного действия пульсирующей окружной силы и силы дисбаланса вентилятора по КД с максимальными и минимальными напряжениями цикла.

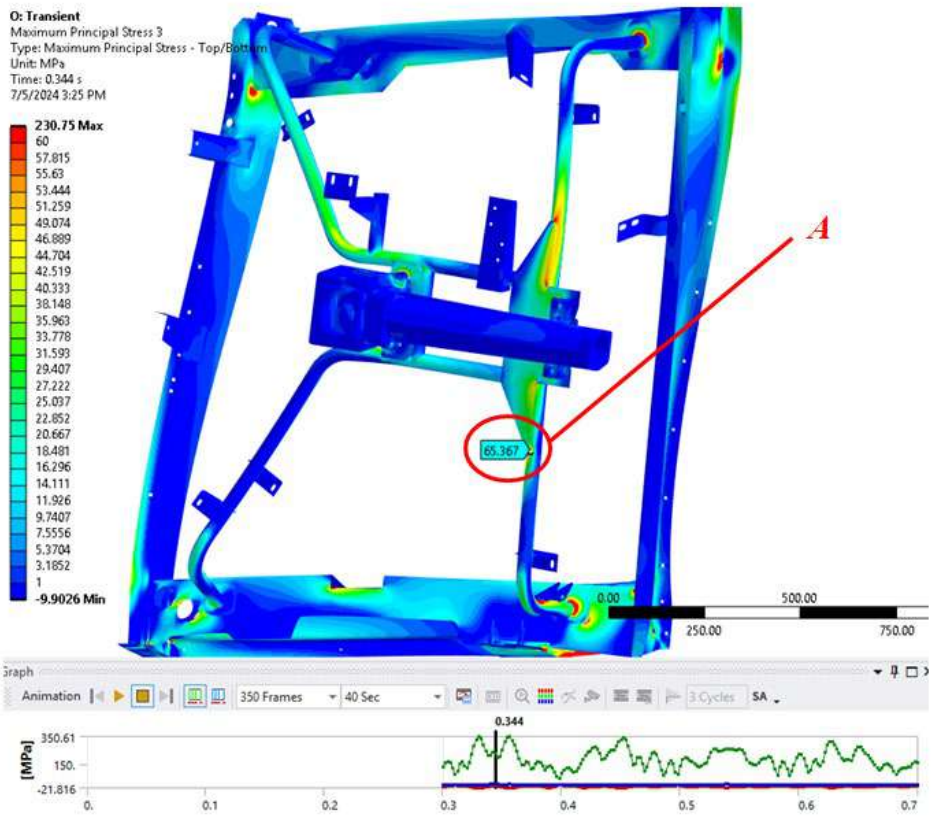


Рис. 9 – Поля главных максимальных напряжений в предлагаемой конструкции рамки (максимальные напряжения цикла)



Рис. 10 – Поля главных максимальных напряжений в предлагаемой конструкции рамки (максимальные напряжения цикла)

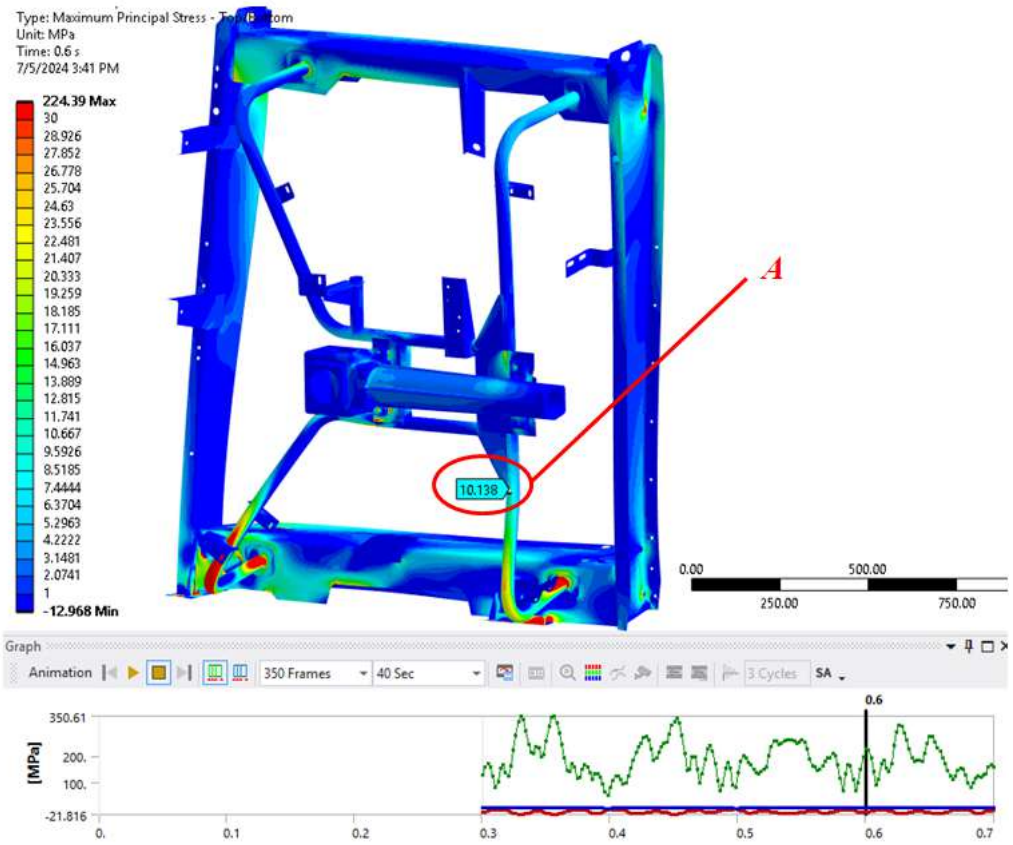


Рис. 11 – Поля главных максимальных напряжений в предлагаемой конструкции рамки (минимальные напряжения цикла)

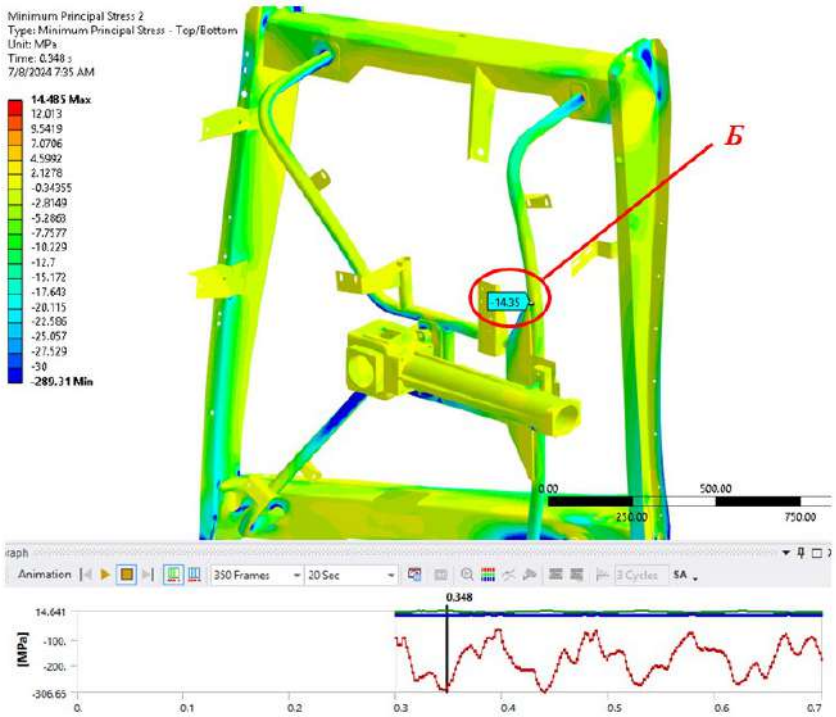


Рис. 12 – Поля главных минимальных напряжений в предлагаемой конструкции рамки (минимальные напряжения цикла)

Результаты расчета запаса усталостной прочности предлагаемой конструкции по алгоритму (4) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

Зона	Исходные данные							Результат		
	σ_{-1}	σ_{min}	σ_{max}	K_σ	ψ_σ	β	ε_σ	σ_a	σ_m	n_σ
А	180	10,14	65,36	3	0,15	1	1	16,5	25,5	3,38
Б	180	-14,3	38,45	3	0,15	1	1	26,4	12,05	2,22

Выводы. Авторами разработана методика, позволяющая при помощи конечно-элементного пакета ANSYS Workbench получить отклик конструкции рамки крепления вентилятора на гармоническое воздействие от работы ременной передачи. В частности использование модулей Modal и Transient Structural позволило получить расчетным путем значения вибрационных характеристик (виброускорений, виброперемещений) и обеспечить с учетом этих характеристик достаточный запас усталостной прочности.

По результатам расчета виброустойчивости, исходная и предлагаемая конструкция рамки крепления вентилятора не обладает необходимой отстройкой ($[\Delta]_{min} \geq 20\%$) от вынужденной частоты двигателя 33,3Гц. Однако проведенные дополнительно расчеты в модуле Transient Structural позволили наиболее глубоко исследовать околорезонансные колебания, определить цикл изменения главных напряжений и на основании результатов расчета дать рекомендации по изменению конструкции с целью обеспечения необходимых запасов усталостной прочности.

С учетом предлагаемых изменений усталостная прочность увеличивается: зоне А в 4,17 раза, зоне Б в 2,15 раза.

Приведенный подход позволил сократить время на поиск варианта конструкции, обеспечивающей допустимый уровень амплитуды виброускорений, а также необходимый запас усталостной прочности на этапе проектирования. Приведенная методика внедрена и успешно используется на ОАО «Гомсельмаш» при проектировании самоходных сельскохозяйственных уборочных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев Н .В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 101 с.

2. Басов К. А. ANSYS справочник пользователя/ К.А Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

3. Reddy J. N. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis/ J.N. Reddy. – Oxford University Press, 2004. – 488 с.

4. Клочков А. В. Зерноуборочные комбайны / А.В. Клочков, А.В. Адась, В.А. Попов. – Мн: Дизайн ПРО , 2004. – 240с.

5. Штейнвольф Л. И. Динамические расчеты машин и механизмов / Л.И. Штейнвольф. – М.: Машгиз, 1961. – 339 с.

6. Иванов Н. И. Основы виброакустики / Н.И. Иванов, А.С. Никифоров – М.: Политехника, 2000. – 482 с.

7. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И. А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г. Б. Иоселевич – М.: Машиностроение, 1979.– 702 с.

УДК 631.354.23

БУНКЕР С УВЕЛИЧЕННЫМ ОБЪЕМОМ ДЛЯ КОМБАЙНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО САМОХОДНОГО GS200

А. М. Ховпун, А. В. Ермак
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В работе представлена и рассмотрена новая конструкция бункера, которая обеспечивает увеличение объёма бункера. При этом сохраняя габариты машины в транспортном положении.

Введение: На современном этапе развития сельскохозяйственного машиностроения перед сельскохозяйственной техникой стоит задача разработки и выпуска машин, позволяющих обеспечить максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов на этапах производства, переработки и использования сельскохозяйственной продукции. В условиях современного производства растет производительность, экономичность и надежность сельскохозяйственной техники, снижается их масса на единицу мощности, повышается точность изготовления изделий[1]. Современные машиностроительные предприятия выпускают изделия с высокими эксплуатационными качествами при минимальных затратах общественного труда. Очень важно при проектировании сельскохозяйственных машин учесть такие факторы как их надежность, долговечность и низкую себестоимость. На эти стороны производства в настоящее время обращается особое внимание. Достижение поставленных задач происходит на этапах проектирования, производства и эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Объект исследования: Бункер комбайна зерноуборочного самоходного GS200.

Цель исследования: Увеличить производительность комбайна путем увеличения объема бункера, снижением времени простоя комбайна при его работе, повысить конкурентоспособность.

Методы исследования: Теоретический, расчетно-конструктивный, метод сравнительного анализа.

Результаты исследования: На минимизацию потерь так называемого вспомогательного времени нацелена преобладающая тенденция в конструктивных особенностях машин: увеличение емкости зернового бункера. Это, в свою очередь, приводит к увеличению производительности зерноуборочных комбайнов. обычная практика уборки состоит в том, что комбайн, заполнивший бункер, включает сигнал (световой индикатор на крыше) и останавливает процесс уборки. После

чего к нему подъезжает грузовик, ожидающий на краю поля, и зерно перегружается в него. Нередко возникает ситуация, когда комбайн за 15–20 минут набирает полный бункер, а затем еще 30–40 минут ожидает выгрузки с включенной «мигалкой».

Это зачастую связано с нехваткой автотранспорта: мощностные характеристики комбайна позволяют ему довольно быстро набрать полный бункер, тогда как машины за этот промежуток не успевают отвезти зерно на ток.

Бывает и так, что заминку в процесс уборочной кампании вносят особенности рельефа: если комбайн работает за холмом, в низине его сигнал о наполнении бункера плохо виден стоящему на краю поля автотранспорту. И таких примеров недоразумений, несогласованных действий можно привести много. Отсюда — потери рабочего времени, ведущие к снижению эффективности использования техники[2].

Таким образом, сокращение потерь вспомогательного времени с помощью конструктивных решений, и дополнительного оборудования открывает новые резервы для оптимизации всего процесса уборки и производительности.

Зерноуборочный комбайн GS200 имеет бункер объемом 2 м^3 и брезентовую крышу (рис. 1).

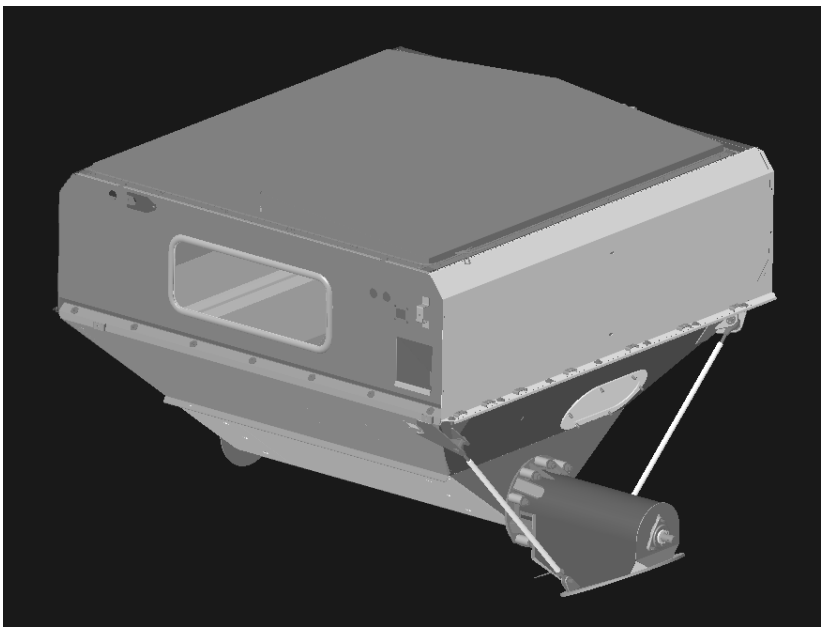


Рис. 1 – Бункер комбайна GS200 с брезентовой крышей.

Для увеличения объёма бункера была разработана конструкция раскладной крышей которая при открытии увеличивает объем бункера на 0,7 м^3 это примерно 500кг зерновой массы (рис. 2).

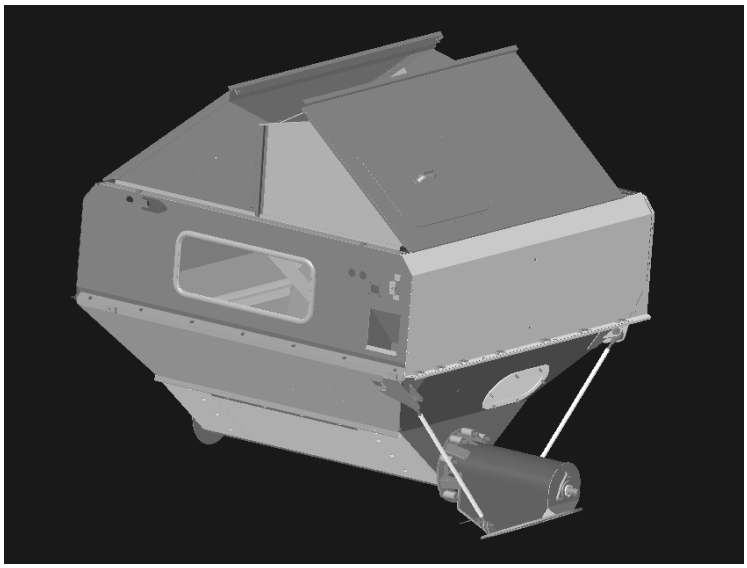


Рис. 2 – Бункер комбайна GS200 с раскладной крышей.

Взяв за основу конструкцию серийной крыши бункера комбайна GS10 позволило достичь высокого уровня унификации и минимизировать затраты на подготовку производства. Бункер большего объёма позволяет сократить количество остановок на выгрузку за смену, а также увеличить время наполнения бункера, что позволяет автотранспорту отвезти зерно на ток, тем самым сократив время ожидания транспорта для выгрузки. Данные факторы позволяют увеличить производительность комбайна за смену.

Увеличения массы комбайна с полным бункером требует проведения оценки работоспособности шин ведущих и управляемых колес. Зная проектировочные нагрузки на колёса комбайна представленные в таблице 1 и нагрузочный ряд для шин ведущих колес представленных в таблице 2.

Таблица 1 - Проектировочные нагрузки на колеса комбайна GS-200 с увеличенным объемом бункера

Наименование		Нагрузка на левое ведущее, кг.	Нагрузка на правое ведущее, кг.	Нагрузка на управляемый мост, кг.	Процент нагрузки на управляемый мост от масс агрегата, %
GS-200+жатка ЖЗК-4 (1370 кг)	Пустой бункер	3815	3177	2902	29,5
	Бункер полный	4620	3982	3433	29

Таблица 2 - Нагрузочныйряд для шин ведущего моста 18.4R34 модели NORTEK TA-03, ТУ 38.304-177-2018

	Давление воздуха в шине (кПа)										Изменение нагрузки,%	Мах. скорость, км/ч
Нагрузка, кг	120	140	150	160	200	220	240	260	280	300		
	3615	3915	4050	4200	4740	4980	5220	5460	5850	6187	+50	10
	2964	3210	3321	3444	3887	4084	4280	4477	4797	5074	+23	20
	2675	2897	2997	3108	3508	3685	3863	4040	4329	4579	+11	25
	2410	2610	2700	2800	3160	3320	3480	3640	3900	**4125**	0	40

Для рабочего режима максимальная нагрузка на шину ведущего колеса комбайна GS-200 с жаткой ЖЗК-4 и полным бункером составляет 4620 кг. Следовательно, согласно нагрузочному ряду, приведенному в таблице 2, для обеспечения работоспособности шин на рабочем режиме (не более 10 км/ч) необходимо обеспечить внутреннее давление в ней не менее 200 кПа (допускаемая нагрузка 4740 кг). Нагрузка на шину управляемого моста составляет 1717кг. Следовательно, для обеспечения работоспособности необходимо обеспечить внутреннее давление в ней не менее 170 кПа (допускаемая нагрузка 1750 кг.).

Заключение: Разработали конструкцию бункера увеличив его объем на 0,7 $м^3$ при этом сохранив габариты комбайна в транспортном положении, снизили время простоя, тем самым повысили сменную производительность, а также повысили конкурентоспособность комбайна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лонцева И. А. Пути повышения эксплуатационной производительности зерноуборочных комбайнов / И.А. Лонцева // Дальневосточ. аграр. вестн. – 2017 – № 4 (44). – С. 175–181.

2. Казанский В. В. Справочное пособие по зерноуборочным комбайнам.- Гомель: РПУП «Полеспечать», 2000. - 388 с.

УДК 631.3.024/.028

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ТРАКТЕ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А.А. Дакука
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрены преимущества и недостатки применения подпресовывающих вальцов питающего аппарата на самоходной кормоуборочной технике производства ОАО «Гомсельмаш».

Введение. В современном сельскохозяйственном машиностроении всё чаще на смену металлическим деталям и узлам, приходят изделия, при производстве которых использованы различные полимерные и композитные материалы, обладающие различными свойствами.

К достоинствам изделий из пластика [1], по сравнению с изделиями из различных металлов и сплавов, можно отнести следующее:
– более низкая масса;
– износостойкость;
– антифрикционные свойства;
– устойчивость к вредным воздействиям;
– низкие расходы энергии при обработке;
– наличие богатого цветового спектра.

К недостаткам изделий из пластика [2], по сравнению с изделиями из различных металлов и сплавов, можно отнести следующее:
– ограниченный температурный диапазон использования.
– более сложная конфигурация деталей из-за необходимости использования усиливающих элементов;
– сложность изменения формы готового изделия.

Благодаря применению материалов с определенными свойствами стала возможной замена, частично или полностью, металлических изделий на пластиковые [2]. К таким изделиям можно отнести следующие:
– емкости для различных жидкостей (топливные баки; расширительные бачки для тормозных и охлаждающих жидкостей, емкости для хранения консервантов и т.п.);
– лопасти вентиляторов;
– подшипники и втулки скольжения;

– шкивы ременных передач;
– зубчатые колеса;
– исполнительные механизмы;
– щитки и ограждения;
– элементы верхнего строения комбайнов.

Существуют и иные элементы конструкции, где замена металлов и сплавов на полимерные и композитные материалы является целесообразной и обоснованной. Так, например металлические детали, изготовленные из материалов с ярко выраженными магнитными свойствами, могут создавать помехи в работе датчиков или иных элементов электрической схемы машины.

Объект исследования: Кормоуборочный комбайн FS80 с детекторным вальцом, изготовленным из полимерных материалов.

Цель исследования: Определить эффективность применения полимерных материалов, при изготовлении детекторного вальца питающего аппарата в сравнении с вальцом, изготовленным из нержавеющей стали.

Методология исследования. Проведение сравнительного анализа технологий изготовления вальцов с применением полимерных материалов и нержавеющей стали.

В конструкции кормоуборочных комбайнов, для защиты рабочих органов, применяется датчик металлодетектора (МД), реагирующий на попадание в рабочую зону посторонних металлических предметов. Для его установки было выбрано самое удаленное от ножей измельчающего аппарата расположение – нижний передний валец питающего аппарата. Это позволяет, в случае обнаружения посторонних предметов в зоне действия датчика, остановить вращение вальцов питающего аппарата, предотвратив повреждение рабочих органов. Нижний передний валец представляет собой полый цилиндр с приваренными фланцами для крепления приводной цапфы и бичами для обеспечения транспортировки убираемой зеленой массы к измельчающему барабану.

Для уменьшения влияния на работу датчика МД все подвижные детали, попадающие в его зону действия, изготавливаются из немагнитной стали. Помимо этого, применяемая сталь должна обладать достаточной свариваемостью и хорошо поддаваться механической обработке и обработке под давлением. Одним из таких материалов является нержавеющая сталь 20Х23Н18 [3].

Однако, несмотря на то, что эта сталь обладает всеми перечисленными свойствами, также имеются и недостатки изготовления деталей способом сварки из стали 20Х23Н18 или ее аналогов:

– проведение дополнительной проверки стали на отсутствие магнитных свойств;
– применение специализированной сварочной проволоки;
– применение операций травления и размагничивания изготовленных узлов и деталей;
– использование специального инструмента при сборке деталей;
– использование специальной тары из немагнитных материалов при транспортировке и хранении;
– высокая вероятность изготовления готовой сборочной единицы с неудовлетворительными показателями магнитных свойств.

Можно сделать вывод, что изготовление деталей и сборочных единиц из немагнитной нержавеющей стали, требует значительных затрат средств и времени, в то же самое время не гарантирует получение готового изделия с требуемыми характеристиками.

Одним из вариантов решения проблемы является применение различных полимерных материалов для изготовления вальца для установки датчика МД. Не смотря на то, что полимеры лишены магнитных свойств, что значительно снизит влияние на работу датчика МД, при выборе подходящего материала, исходя из условий работы, нужно руководствоваться следующими требованиями:
– стойкость к УФ излучению
– стойкость к атмосферным явлениям
– стойкость к кислой среде
– твердость
– устойчивость к механическому воздействию (удары)
– износостойкость.

Одним из материалов удовлетворяющим этим требованиям является Капролон Б [4] и схожий с ним по характеристикам Аркаим 1006 [5], являющийся разработкой НПО «УРАЛ».Характеристики указанных материалов приведены в таблице 1

Таблица 1 - Физико-механические свойства

Параметр	Капролон Б	Аркаим 1006
Плотность, г/см^3	1,145	1,150
Температура плавления, °С	+220	+225
Рабочая температура, °С	-60..+120	-60..+120
Прочность при растяжении, Мпа	80	75..85
Относительное удлинение,%	>20	15..30
Твердость по Шору, ед	84	80..85

Как видно из таблицы 1 данные материалы очень похожи по своим физико-механическим свойствам, и могут стать альтернативными

материалами при производстве детекторного вальца комбайна FS80. Также эти вальцы будут обладать значительно меньшей массой, в отличие от серийного детекторного вальца из нержавеющей стали.

В настоящее время на ОАО «Гомсельмаш» проводятся испытания детекторных вальцов, изготовленных из материала Капролон Б, предоставленных компанией ОДО «Завод инженерных пластмасс» (РБ) и вальцов из материала Аркаим 1006, предоставленных компанией НПО «УРАЛ» (РФ).

Для изготовления детекторного вальца из указанных материалов использовалась пресс-форма, что требует выполнения некоторых требований, одно из которых, простая геометрия готового изделия. Кроме этого из-за невозможности нарезать резьбу в теле пластиковой детали возникла необходимость применения дополнительных закладных металлических элементов, обеспечивающих прочность резьбового соединения крепления фланцев.

По этой причине конструкция вальца и, в частности, его ребер, которые необходимы для транспортировки убираемой массы от адаптера к измельчающему аппарату, претерпела изменения (рис. 1).



Рис. 1 – Внешний вид опытного детекторного вальца

Представленная форма ребер отличается от варианта сварной конструкции детекторного вальца, серийно используемой, на технике ОАО «Гомсельмаш» (рис. 2).

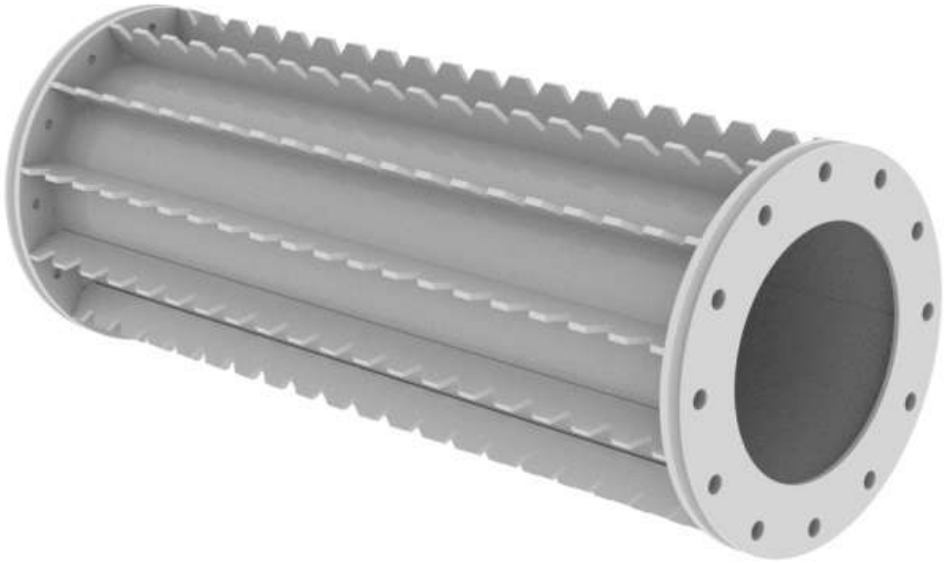


Рис. 2 – Внешний вид серийного сварного детекторного вальца

Однако, как показывают испытания пластиковых вальцов в реальных полевых условиях, новая форма ребер не повлияла на протекание технологического процесса, и не способствует проскальзыванию убираемой массы и ее налипанию на валец.

В результате движения убираемой массы по питающему аппарату неминуемо воздействие посторонних предметов на вальцы и их ребра, например, камней, которые способны нанести повреждения элементам конструкции подающих вальцов, а именно замятие ребер, что может негативно сказаться на качестве протекания технологического процесса. Одним из вариантов решения в сварной конструкции вальца может стать увеличение толщины ребер и повышение качества сварного соединения. При изготовлении вальца из пластика замятие ребер исключено.

Анализируя конструкцию вальцов, применяющихся на импортной технике видно, что для минимизации влияния попадания посторонних предметов, а также уменьшения наматывания убираемой массы, на приварных ребрах используются сменные накладки из нержавеющей стали (рис. 3).



Рис. 3 – Внешний вид детекторного вальца применяемого на импортной технике (John Deere)

Как показывают предварительные результаты испытаний детекторных вальцов, изготовленных из пластика, имеет место интенсивный износ кромок ребер по всей длине рабочей зоны вальцов в первые часы работы. Однако интенсивность износа при дальнейшей работе снижается. После полутора лет эксплуатации пластикового детекторного вальца был проведен анализ его состояния, который показал, что на вальце присутствуют незначительные сколы от попадания посторонних предметов, что не влияет на работоспособность вальца. Трещины и критические повреждения отсутствуют, имеется износ до 1,5 мм на всех ребрах по их наружной кромке в средней части вальца, где проходит наибольшее количество массы. При проведении аналогичного обследования в уборочном сезоне 2024 г. было обнаружено, что износ ребер остался на том же уровне и не влияет на протекание технологического процесса. Это говорит о том, что ресурса данного вальца будет достаточно для использования его во время всего срока эксплуатации комбайна.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что применение цельнолитого детекторного вальца из пластика с требуемыми параметрами и характеристиками готового изделия, взамен сварного варианта

конструкции из немагнитной нержавеющей стали является приемлемым т.к. решает ряд вопросов имеющихся в настоящее время в серийном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tehnology-pro.ru/preimushhestva-plastika. Дата доступа: 08.07.2024

2. MPlast.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mplast.by/encyklopedia/primenenie-polimerov-v-mashinostroenii/. Дата доступа:08.07.2024

3. Metalinox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metalinox.ru/marochnik-stali/nerzhaveyushchaya-stal/stal-20kh23n18/?ysclid=m0nsxebr9r86106758. Дата доступа: 10.07.2024

4. Plastics.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://plastics.by/upload/iblock/618/CAPROLON_TU_BY_190526813.001_2015_.pdf. Дата доступа: 13.07.2024

5. НПО «Урал» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://npoural.ru/about/materials/?ysclid=m0nt6hfo9p953113324. Дата доступа: 13.07.2024

УДК 62.761

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМ КАПОТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. В. Желдак
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В работе рассмотрены преимущества и недостатки схем капотирования с раздельными и цельными боковыми капотами с использованием композитных материалов, применяемых на кормоуборочных комбайнах производства ОАО «Гомсельмаш».

Введение. В настоящее время при производстве сельскохозяйственной техники всё чаще применяются полимерные и композитные материалы в различных узлах и агрегатах. Их широкое применение становится возможным благодаря:

- более качественным и доступным материалам;
- их хорошим физико-механическим свойствам, которые легко можно модифицировать добавлением необходимых элементов в материал для конкретных задач;
- развитию 3-D моделирования и проектирования с последующим изготовлением оснастки на высокоточных ЧПУ-станках, позволяющим изготавливать детали сложных форм и профиля.

Полимерные и композитные материалы, в отличие от металлов имеют меньшую массу, более химически устойчивы, и порой прочнее, а так же позволяют снизить затраты на изготовление изделий сложных форм и больших размеров и их оснастку.

Именно благодаря этим преимуществам в настоящее время при проектировании и разработке новых кормоуборочных комбайнов в верхнем строении применяются капоты из полимерных и композитных материалов. В сравнении с металлическими капотами, капоты из полимерных и композитных материалов имеют более современный внешний вид, более долговечны и устойчивы к механическим и прочим воздействиям, способствуют уменьшению шума от двигателя при работе и снижению шума на рабочем месте оператора.

Объект исследования. Кормоуборочный комбайн FS450 с цельными и раздельными боковыми капотами.

Цель исследования. Определить оптимальный вариант типа капотирования кормоуборочной техники

Методология исследования. Проведение сравнительного анализа схем капотирования с раздельными боковыми капотами и цельными боковыми капотами.

При проектировании и разработке кормоуборочного комбайна элементы капотирования должны быть разработаны с учётом ряда технических, дизайнерских, функциональных и эксплуатационных особенностей. Определяющее значение имеет выбор принципиального решения композиционного образа машины, организации ее верхнего строения. Это решение определяет необходимость проработки соответствующего конструктивного воплощения, рассмотрения различных вариантов решений узла и его составляющих элементов. При этом должны быть учтены существующие технологии, возможности предприятия-изготовителя, обеспечено выполнение обязательных требований ТНПА по безопасности.

Разработка конструкции новых капотов и облицовочных компонентов машины должна вестись в тесном взаимодействии с дизайнерами, разработчиками смежных узлов и технологами. Дизайн, верхнее строение машины является результатом работы всего коллектива – от руководителя, дизайнера, конструктора до технолога и сборщика. А значит, дизайн не может быть изменен отдельно от изделия, без изменения конструкции и технологии изготовления.

Капоты и облицовки формируют не только внешний вид, но и внешнее строение моторного отделения самоходной машины, они являются оболочкой, образующей воздушный тракт системы охлаждения. Прямого участия в работе системы охлаждения капоты не принимает, но от их конструкции зависит эффективность отвода теплоты от теплопередающих устройств системы охлаждения и обеспечения теплового состояния двигателя. Кроме того, капоты ограждают двигатель и обслуживающие его агрегаты и узлы, устройства системы охлаждения от атмосферных осадков и пыли; способствует уменьшению внешнего шума от двигателя при работе и снижению шума па рабочем месте оператора.

Тепловое состояние двигателя в значительной степени зависит от организации воздухообмена в подкапотном пространстве моторного отделения. Таким образом, полное капотирование предполагает организацию выхода воздуха из-под капота в моторном отсеке. Данные, полученные при исследованиях тепловой характеристики моторной установки кормоуборочных комбайнов, свидетельствуют, что полное капотирование моторной установки комбайна ухудшает мощностные показатели двигателя, повышает температурный режим системы охлаждения по жидкости и смазочному маслу. Это является следствием увеличения давления под капотом, исключения вентиляции подкапотного пространства, снижения расхода воздуха через радиаторы, повышения температуры топлива в топливном насосе, воздуха под капотом,

рециркуляции потока воздуха из моторного отсека в предрадиаторную зону. С учетом указанного капотирование моторного отсека предполагает обязательное разделение предрадиаторной зоны и моторного отсека путем тщательного уплотнения радиатора по контуру и защиты его в нижней плоскости.

Вентиляция подкапотного пространства предполагает обеспечение выхода нагретого воздуха из моторного отсека, формирование движения потока воздуха вокруг поверхностей двигателя с наименьшим аэродинамическим сопротивлением путем выравнивания скоростей воздушных потоков в различных точках подкапотного пространства вокруг двигателя. Продувочные окна или жалюзи на боковых поверхностях капота или верхней панели снижают давление в моторном отсеке. Снижение динамического давления под капотом позволяет уравнять скорости воздушных потоков в подкапотном пространстве, исключить зоны перетекания, застоя и завихрения воздушных потоков, что снижает общую температуру моторной установки и позволяет двигателю работать с его расчётными параметрами.

Основное внимание в работе будет направлено на боковые капоты. Они могут быть изготовлены из стали, а также с применением композитных и полимерных материалов. Капоты представляют собой узел, состоящий из декоративной накладки (стальной или композитной оболочки), выполняющей роль элемента экстерьера кормоуборочного комбайна и силовой конструкции (каркаса) (рис. 1, рис. 2). Силовой каркас необходим для реализации механизма навешивания капота на комбайн, механизма фиксации капота в закрытом положении и механизма подъема капота при открывании.

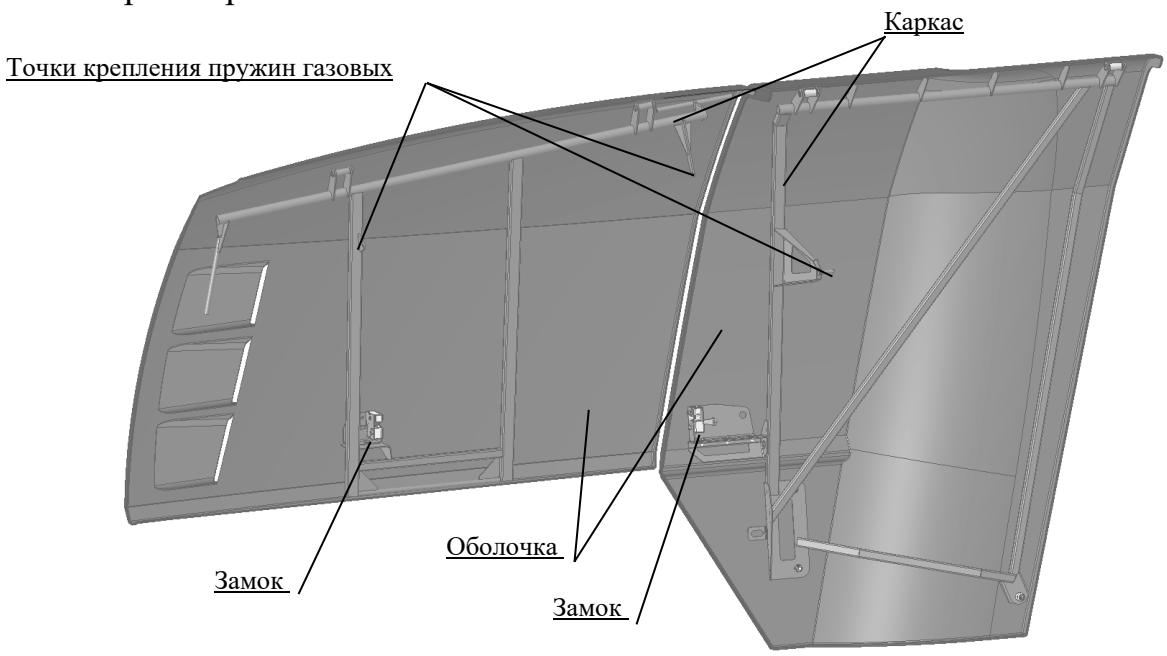


Рис. 1 – Левые передний и задний боковые капоты FS450.

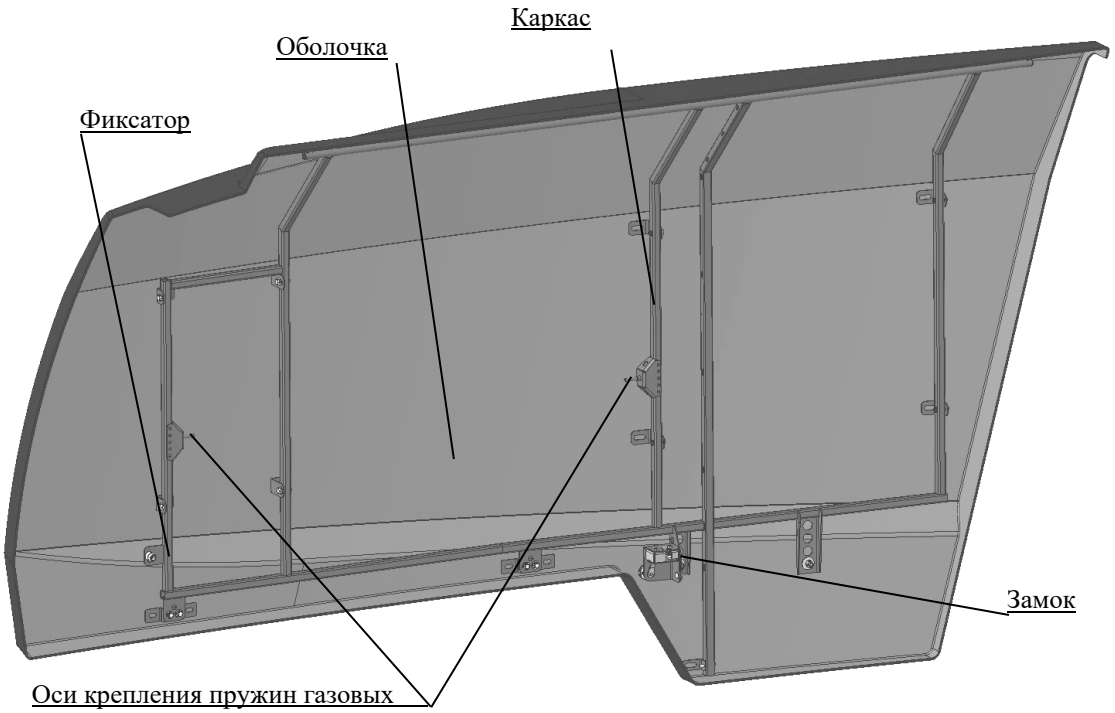


Рис. 2 – Цельный левый боковой капот FS450.

Учитывая вышесказанное при разработке кормоуборочных комбайнов возможно применение следующих схем капотирования: с цельными боковыми капотами, открывающимися вверх; с раздельными боковыми капотами, открывающимися вверх; с раздельными боковыми капотами и открыванием вверх и в бок.

Рассмотрим вариант применения раздельных (переднего и заднего) боковых капотов с применением композитного материала открывающихся вверх (рис. 3). В настоящее время данный вариант капотирования применяется на кормоуборочных комбайнах КВК-8060, КВК-8060-2, FS450, FS650 производства ОАО «Гомсельмаш» и зарубежных аналогах.

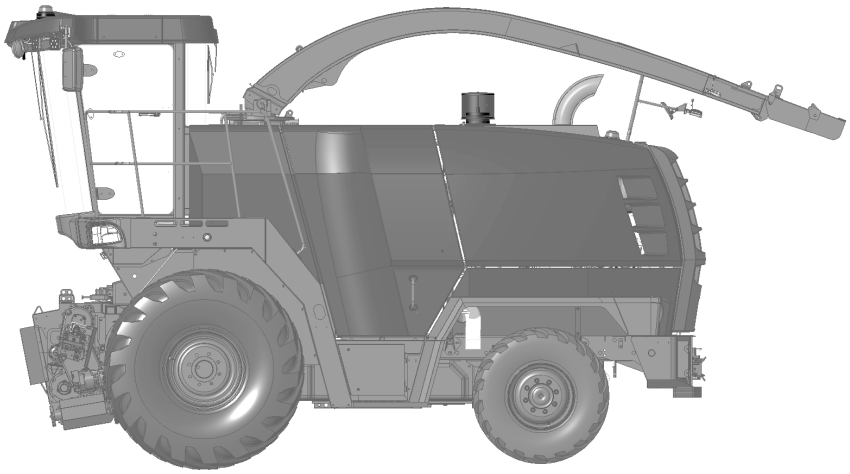


Рис. 3 – Раздельные боковые капоты FS450.

При применении раздельных боковых капотов к недостаткам можно отнести:

– увеличенная номенклатура ДСЕ для изготовления переднего и заднего боковых капотов и их установки на машину, включающие в себя детали каркасов, пружины газовые, петли для навешивания, замки капотов, рукоятки открывания, фиксаторы и упоры, а так же необходимые для фиксаторов замков опоры и стойки на машине;

– трудоёмкая установка комплекта капотов, требующая больших трудозатрат по выставлению смежных поверхностей и плоскостей капотов, а также на контроль допустимых зазоров между капотами в закрытом состоянии;

– трудоёмкая регулировка замков, упоров и фиксаторов, которую необходимо выполнить отдельно на передних и задних боковых капотах после предварительного выставления их поверхностей и плоскостей;

– при открывании задних боковых капотов меньше места для доступа и обслуживания узлов и агрегатов в подкапотном пространстве из-за наклонной части крыши и большой кривизны капота (рис. 4);

– стык переднего и заднего боковых капотов усложняет реализацию уплотнения пространства до блока радиаторов с правой по ходу движения стороны, а также увеличивает количество исходящего от моторной установки шума.

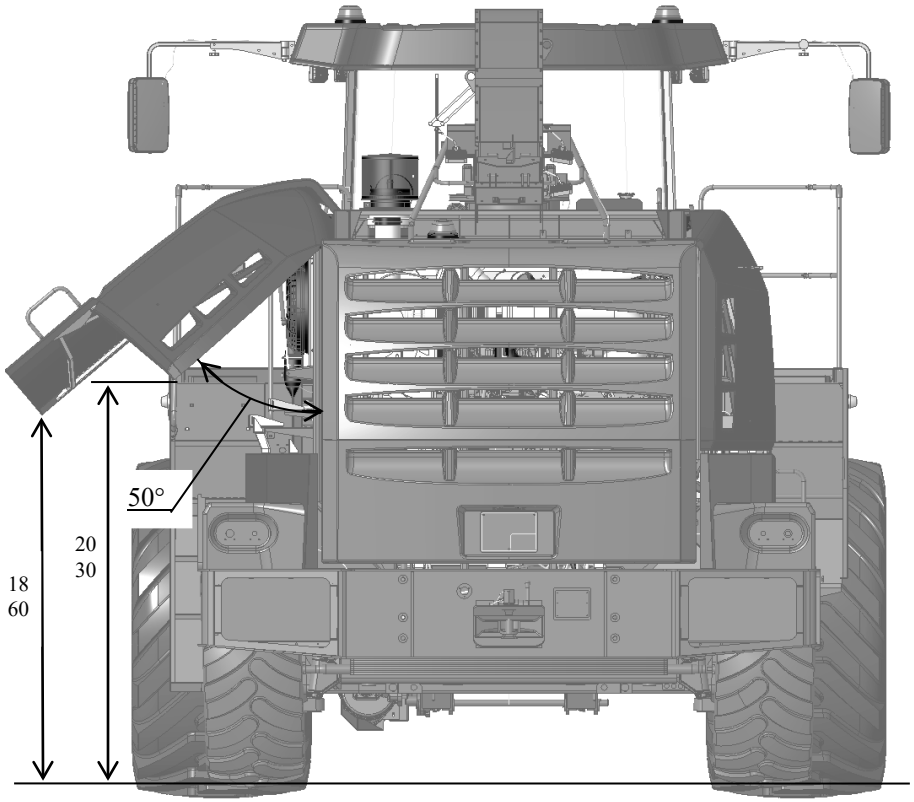


Рис. 4 – Высота открывания раздельных боковых капотов FS450.

К преимуществам данной компоновки можно отнести:

– меньший габарит и массу каждого отдельного капота, что упрощает их изготовление, транспортировку, хранение и монтаж;

– применение пружин газовых с меньшим развиваемым усилием, что позволяет делать их крепление на машине и капоте не громоздким и с меньшей металлоёмкостью.

Рассмотрим вариант применения цельных боковых капотов применением композитного материала с открыванием вверх. Данный вариант капотирования применяется на модернизированном кормоуборочном комбайне FS450 и в большинстве зарубежных кормоуборочных комбайнов (рис. 5).

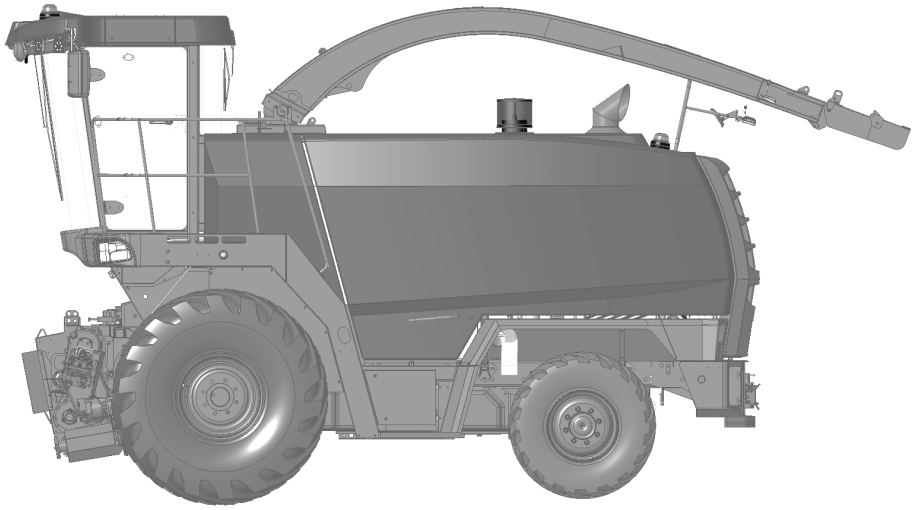


Рис. 5 – Цельный боковой капот FS450.

При применении цельных боковых капотов к недостаткам можно отнести:

– большие габариты и массу готовых капотов, усложняющие их транспортировку, хранение и монтаж;

– трудоёмкий процесс изготовления капота, требующий крупногабаритной оснастки;

– необходимость применения большого количества пружин газовых небольшой мощности (3 пружины по 1000N или 4 пружины по 700N) либо применение 2-х импортных пружин газовых с усилием 1300N;

К преимуществам данной компоновки можно отнести:

– улучшенный вид экстерьера кормоуборочного комбайна из-за меньшего количества зазоров и стыков между смежными ДСЕ;

– силовые каркасы состоят из меньшего количества ДСЕ, конструкция каркаса позволяет изготавливать его на универсальных слесарных и сварочных приспособлениях с необходимой точностью;

– меньше масса (~20%) одного капота (64кг) в сравнении с двумя (передний 52,9кг и задний 26,7кг);

– простая установка, выставление поверхностей и плоскостей капота со смежными ДСЕ;

– меньшая трудоёмкость регулировки замка и фиксаторов (упоров), выполняемая только на одном капоте;

– при открывании одного капота предоставляется удобный доступ для обслуживания и ремонта узлов и агрегатов в подкапотном пространстве (рис. 6);

– простота реализации уплотнения блока радиаторов при помощи щитка с уплотнением простой формы, прилегающего к внутренней поверхности капота;

– ниже уровень шума в сравнении со схемой с двумя капотами из-за меньшего количества зазоров и неплотностей при закрытом капоте.

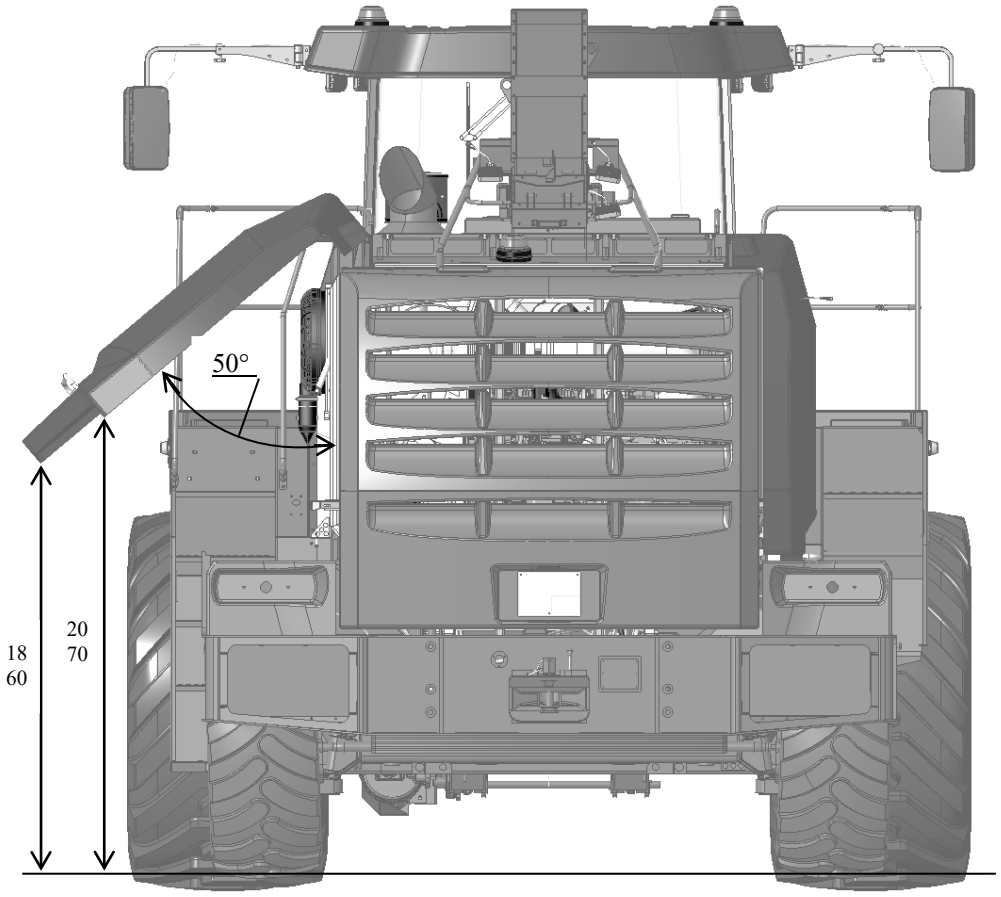


Рис.6 – Высота открывания цельного бокового капота FS450.

Результаты исследования. С целью определения оптимального варианта капотирования на кормоуборочных комбайнах были проанализированы различные типы установок капотов. Для применения в современных кормоуборочных комбайнах, отвечающим самым актуальным тенденциям, приоритетным является применение цельных боковых капотов из полимерных или композитных материалов. Их

применение позволяет снизить массу капотов, номенклатуру используемых ДСЕ, упростить процесс монтажа капотов на комбайн, улучшить вид экстерьера кормоуборочного комбайна, снизить шумность моторной установки и улучшить её температурный режим.

Применение раздельных боковых капотов может быть оправданным в случае необходимости изготовления металлических капотов, имеющих простые формы и небольшие габариты. При этом внешний вид таких капотов значительно хуже, чем полимерных и композитных. Так же возможно изготовление раздельных капотов с применением композитных материалов в случае, когда нет возможности изготовления технологической оснастки для такого же цельного капота; в задние боковые капоты интегрированы крылья, что значительно усложняет технологическую оснастку и процесс изготовления.

Выводы. Анализ возможных вариантов капотирования кормоуборочных комбайнов позволил определить, что наиболее оптимальным вариантом является применение цельных боковых капотов с применением композитных материалов. Их применение позволяет снизить массу капотов, улучшить вид и долговечность экстерьера комбайна, снизить трудозатраты на изготовление и монтаж капотов на кормоуборочный комбайн, улучшить эксплуатационные характеристики.

При этом поиск новых решений и улучшение существующих конструкций капотов непрерывно продолжается. Так на данный момент перспективным направлением по разработке новых конструкций капотов может стать применение схемы открывания капота вверх с возможностью открывания его в бок, что позволит многократно улучшить доступ к узлам и агрегатам для обслуживания и ремонта. Так же перспективы имеет схема открывания капота как вверх, так и в бок с помощью параллелограммного механизма, которая позволит увеличить угол открывания капотов и улучшить доступ к узлам и агрегатам подкапотного пространства.

УДК 631.354.2

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ПРУЖИН НА ПРИМЕРЕ КАПОТА

Н. М. Костров
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Широкое распространение среди механизмов уравновешивания получили механизмы с использованием газовых пружин. Такие механизмы применяются при уравновешивании элементов конструкций, которые в процессе эксплуатации или обслуживания механизатору необходимо руками переводить в другое положение с преодолением силы тяжести для снижения усилия на рукоятке до комфортной величины и фиксации устройства в крайних положениях.

В данной работе представлен метод оптимизации точек крепления газовых пружин механизма уравновешивания, в системе MCAD.

Основная часть.

Газовая пружина – разновидность пружины, представляющие собой устройство, которое предназначено для уравновешивания и удержания в открытом положении различных устройств (капотов, дверей и др.) используя сжатый газ (например, азот) под давлением для создания подъемной силы.

Иллюстрация типовой газовой пружины показана на рис. 1.

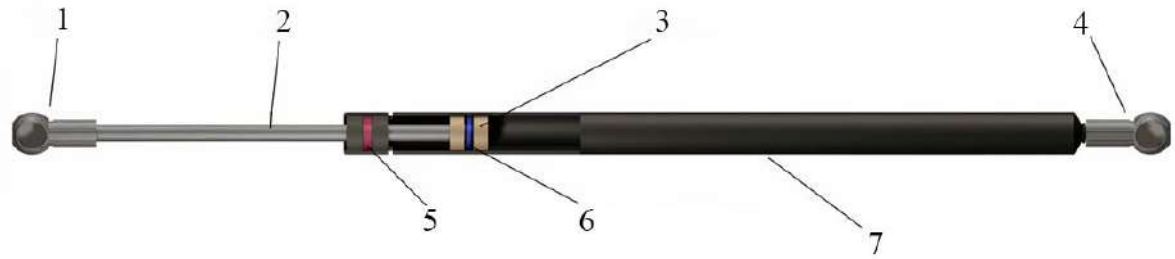


Рис. 1 – Иллюстрация устройства типовой газовой пружины: 1,4 – фитинг; 2– шток; 3– поршень; 5 –узел сальника; 6 – уплотнительная прокладка; 7 – цилиндр.

Характеристика работы газовой пружины в общем виде показана на рис. 2.

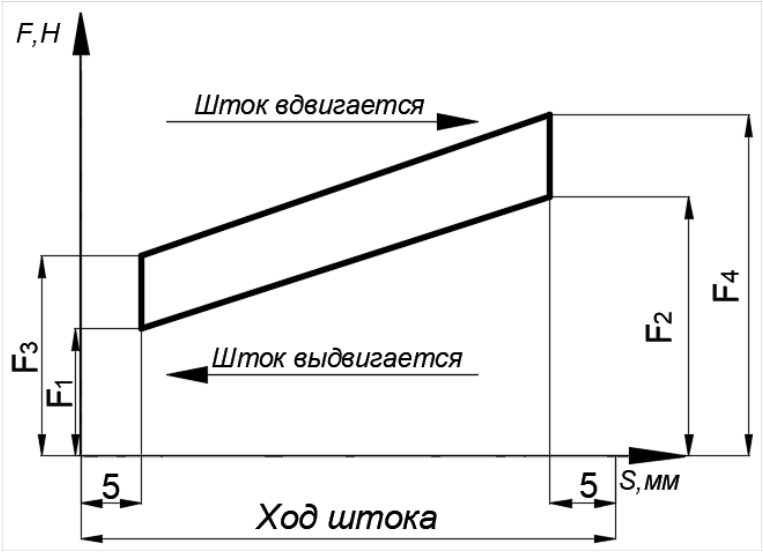


Рис. 2 – Характеристика работы газовой пружины в общем виде

Где: F1 и F2 – силы на газовой пружине при ее растяжении в коротком и длинном состоянии соответственно;

F3 и F4 – силы на газовой пружине при ее сжатии в коротком и длинном состоянии соответственно.

Рассмотрим метод синтеза подобных механизмов с использованием векторного анализа на примере капота сельскохозяйственной машины. Расчетная схема механизма уравновешивания показана на рис. 3.

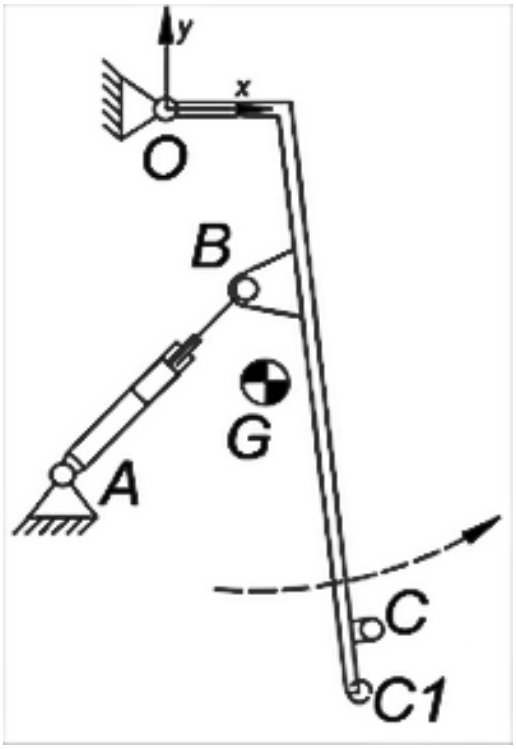


Рис. 3 – Расчетная схема механизма

Основой данного метода является система аналитического преобразования координат исходного вектора в вектор, который может

быть получен из исходного путем поворота его на некоторый угол в заданном направлении в рассматриваемой плоскости XY

$$\overrightarrow{V1} = povXY(\vec{V},\alpha) = \begin{pmatrix} \vec{V}_X \cdot \cos(a) + \vec{V}_Y \cdot \sin(a) \\ \vec{V}_Y \cdot \cos(a) - \vec{V}_X \cdot \sin(a) \\ \vec{V}_Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

где $\vec{V}$ – поворачиваемый вектор;
α – угол поворота исходного вектора.

Для получения, повернутого в плоскости вектора, имеющего заданную длину необходимо полученный с помощью выражения (1) вектор умножить на его длину и разделить на модуль исходного вектора. Это преобразование можно записать в виде выражения (2).

$$\overrightarrow{V1} = pov_V(\vec{V},a,l) = povXY(\vec{V},a) \cdot \frac{l}{|\vec{v}|} \quad (2)$$

где l – длина нового вектора

В качестве исходных данных для описания кинематики механизма выступают координаты неподвижных точек, неизменные длины звеньев, углы между отрезками на жестких звеньях. В частности, для механизма, показанного на рис. 3, это координаты неподвижных точек O, A и E длины звеньев L_{OC}, L_{OC1}, L_{OG}, L_{OA} , углы BOG, BOC и BOC1. Так же для описания кинематики исходными данными являются длина выбранной газовой пружины в сжатом состоянии L_{min} , ее полный ход L_{max} и минимальный необходимый зазор до полного смыкания газовой пружины в закрытом состоянии капота Lh_{max}.

В качестве обобщенной координаты для описания кинематики примем угол поворота капота вокруг точки качания O равный 34.5˚.
φ_{min} – минимальный угол открытия капота.
φ_{max} – максимальный угол открытия капота.

Формула определение угла треугольника по теореме косинусов можно записать в виде выражения

$$ABC = ug_tcos(a,b,c) = arcos(\frac{a^2+b^2-c^2}{2 \cdot a \cdot b}) \quad (3)$$

где a,b и c – длинны сторон треугольника.

Орт вектора (направляющие косинусы)

$$ort(V) = \frac{v}{|v|} \quad (4)$$

Переводные коэффициенты

$$gr = \frac{\pi}{180} \qquad rg = \frac{180}{\pi} \quad (5)$$

где gr – перевод градусов в радианы, rg – перевод радианов в градусы.

Положение точек A, B, G, C и C1 капота при его переводе в верхнее положение будет описываться следующими зависимостями.

$$\overrightarrow{OG0} = \overrightarrow{G0} - \vec{O} \quad (6)$$

$$\overrightarrow{OC0} = \overrightarrow{C0} - \vec{O} \quad (7)$$

$$\overrightarrow{OC10} = \overrightarrow{C10} - \vec{O} \quad (8)$$

$$\overrightarrow{OA0} = \overrightarrow{A0} - \vec{O} \quad (9)$$

$$\overrightarrow{OB0} = \overrightarrow{B0} - \vec{O} \quad (10)$$

$$\overrightarrow{OB}(\varphi) = povXY(\overrightarrow{OB0}, -\varphi) \quad (11)$$

С учетом выражения (10) и (11) относительное и абсолютное положение точки B опишется выражением (12).

$$\vec{B}(\varphi) = \vec{O} + \overrightarrow{OB}(\varphi) \quad (12)$$

Аналогичным путем выражения (13) – (18) описывают положения центра тяжести капота G и точек приложения силы для открывания C и закрывания капота C1.

$$\overrightarrow{OG}(\varphi) = povXY(\overrightarrow{OG0}, -\varphi) \quad (13)$$

$$\vec{G}(\varphi) = \vec{O} + \overrightarrow{OG}(\varphi) \quad (14)$$

$$\overrightarrow{OC}(\varphi) = povXY(\overrightarrow{OC0}, -\varphi) \quad (15)$$

$$\vec{C}(\varphi) = \vec{O} + \overrightarrow{OC}(\varphi) \quad (16)$$

$$\overrightarrow{OC1}(\varphi) = povXY(\overrightarrow{OC10}, -\varphi) \quad (17)$$

$$\overrightarrow{C1}(\varphi) = \vec{O} + \overrightarrow{OC1}(\varphi) \quad (18)$$

Ход пружины в зависимости от заданного угла поворота капота описывается следующими зависимостями.

$$\overrightarrow{AB(\varphi)} = \overrightarrow{B(\varphi)} - \overrightarrow{A0} \quad (19)$$

$$L(\varphi) = \left|\overrightarrow{AB(\varphi)}\right| - lo \quad (20)$$

В результате синтеза механизма должна быть получена требуемая характеристика изменения уравновешивающего усилия на рукоятке, а именно: пружина должна гарантированно удерживать капот в открытом положении, в нижнем положении капот должен прижиматься к нижнему ограничителю, а во всем диапазоне подъема уравновешивающее усилие на рукоятке не должно превышать предельно допустимой величины, например 100 Н, что условно соответствует зоне комфорта.

Силовые параметры газовой пружины характеризуются силами в коротком и длинном состоянии при движении в сторону сжатия и растяжения. С учетом этих параметров сила на пружине при растяжении в каждом положении может быть описана выражением (31), при сжатии выражением (32).

$$F_pr1(\varphi) = Fpr1 - \frac{L(\varphi)\cdot(Fpr1\cdot kpr1 - Fpr1)}{L_{max}} \quad (21)$$

$$F_pr2(\varphi) = (Fpr1 + Ftr) - \frac{L(\varphi)\cdot(Fpr2\cdot kpr2 - Fpr2)}{L_{max}} \quad (22)$$

Где $Fpr1$ и $Fpr2$ сила на газовой пружине при ее растяжении в коротком и длинном состоянии соответственно;

Ftr – Внутренние усилие пружины.

$kpr1$ и $kpr2$ – Коэффициенты усиления.

С учетом выражений (21) – (22), можно рассчитать потребно количество пружин при открывании/закрывании капота, учитывая характеристику пружины, следующими выражениями.

$$kol_pr_treb_otkr = \frac{G_g(|G(\varphi_{min})_1 - G(\varphi_{max})_1|)}{\frac{Fpr1\cdot kpr1 + Fpr1}{2}\cdot L_{max}} \quad (23)$$

$$kol_pr_treb_zakr = \frac{G_g(|G(\varphi_{min})_1 - G(\varphi_{max})_1|)}{\frac{Fpr2\cdot kpr2 + Fpr2}{2}\cdot L_{max}} \quad (24)$$

где G_g – масса капота; $kol_pr_treb_otkr$ – потребное количество пружин при открывании капота; $kol_pr_treb_zakr$ – потребное количество пружин при закрывании капота.

Момент от силы тяжести вокруг точки качания капота определяется выражением (25). Здесь в качестве плеча используется горизонтальная

составляющая вектора $\overrightarrow{OG(\varphi)_X}$, определяющего положение точки G относительно O.

$$M_g(\varphi) = -G_g \cdot \overrightarrow{OG(\varphi)_X} \quad (25)$$

Плечо силы пружины вокруг оси качания капота можно определить из выражения (26) как составляющую по оси Z векторного произведения вектора OB(φ) на орт вектора AB(φ).

$$h_{AB}(\varphi) = (OB(\varphi) \times ort(AB(\varphi)))_Z \quad (26)$$

Момент от силы пружины вокруг оси качания капота при движении вверх и вниз будет определяться выражениями (27) и (28) соответственно.

$$M_{pr}1(\varphi) = h_{AB}(\varphi) \cdot F_{pr1(\varphi)} \cdot kol_prl \quad (27)$$

$$M_{pr}2(\varphi) = h_{AB}(\varphi) \cdot F_{pr2(\varphi)} \cdot kol_prl \quad (28)$$

Суммарный момент силы от пружины и силы тяжести вокруг точки качания капота при движении вверх и вниз будет определятся выражениями (29) и (30) соответственно.

$$M_{Sum1}(\varphi) = M_g(\varphi) + M_{pr}1(\varphi) \quad (29)$$

$$M_{Sum2}(\varphi) = M_g(\varphi) + M_{pr}2(\varphi) \quad (30)$$

Тогда уравновешивающая сила на рукоятке, которая является необходимой силой для подъема капота, будет определяться при движении вверх выражением (31) и выражением (32) при движении вниз.

$$R_{c1}(\varphi) = \frac{M_{sum1}(\varphi)}{L_{OC1}} \quad (31)$$

$$R_{c2}(\varphi) = \frac{M_{sum2}(\varphi)}{L_{OC2}} \quad (32)$$

В качестве положительного направления уравновешивающей силы на рукоятке в выражениях (31) и (32) принято направление, совпадающее с направлением перемещения точек C и C1 при подъеме капота. Если величина уравновешивающей силы станет отрицательной, это означает, что для опускания капота необходимо приложить силу вниз. Для простоты визуальной интерпретации результатов и удобства подбора требуемой характеристики изменения уравновешивающей силы на рукоятке

целесообразно иметь характеристику потребной величины этой силы. Для формирования такой характеристики примем, что в верхнем положении необходимо приложить силу 50 Н для опускания, в нижнем положении необходимо приложить силу 50 Н для подъема, а во всем диапазоне подъема абсолютная величина этой силы не должна превышать 50 Н. Наиболее простым выражением, формирующим подобную зависимость, является выражение (33).

$$F_{pr_tr}(\varphi) = 50 - \frac{100}{(\varphi_{max} - \varphi_{min})} \cdot (\varphi - \varphi_{min}) \qquad (33)$$

На рис. 4 для одного из возможных вариантов механизма показана характеристика изменения уравновешивающей силы на рукоятке при перемещении капота вниз и вверх совместно с требуемой характеристикой этой силы. Как видно из рис. 4, линия требуемой характеристики уравновешивающей силы на графике проходит в «коридоре» между реальными линиями характеристик изменения этой силы при перемещении капота вверх и вниз. Это говорит о том, что параметры этого механизма подобраны достаточно рационально с точки зрения обеспечения величины уравновешивающей силы. В данном проиллюстрированном примере была выбрана газовая пружина и для нее были адаптированы параметры механизма.

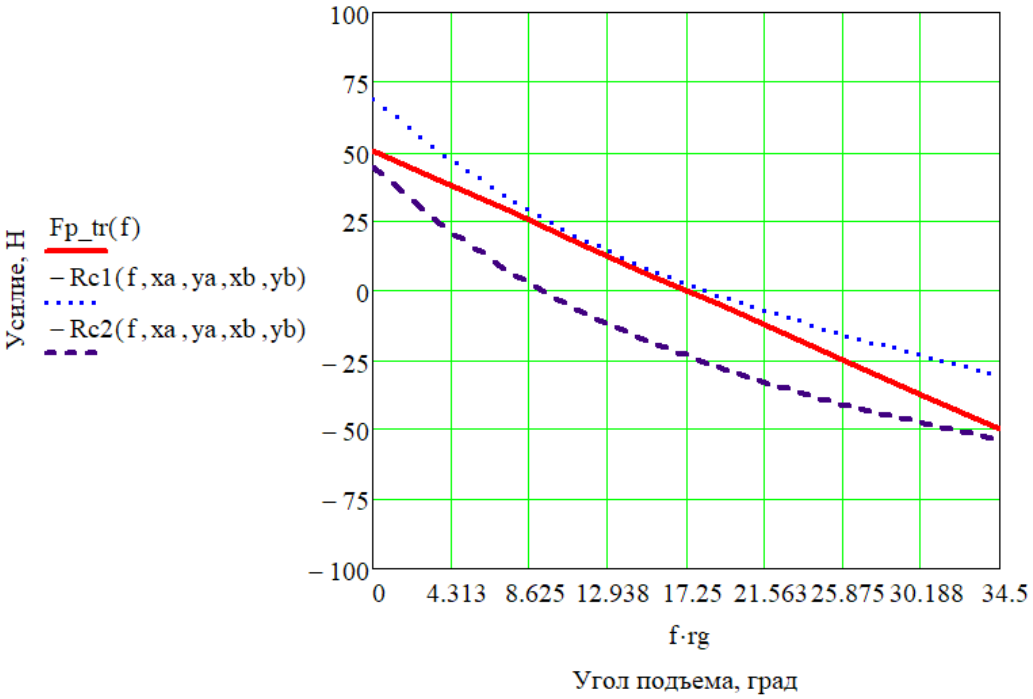


Рис. 4 – Характеристика изменения уравновешивающей силы на рукоятке при перемещении капота вверх (*Rc1(f,xa,ya,xb,yb)*) и вниз (*Rc2(f,xa,ya,xb,yb)*) совместно с требуемой характеристикой этой силы (*Fp_tr(f)*)

На рис. 5 для одного из возможных вариантов механизма показана характеристика изменения момента от силы тяжести и пружины вокруг точки качания капота при перемещении капота вниз и вверх. Как видно из рис. 5 линия изменения момента от силы тяжести при угле открывания в 0˚не преодолевает момент от силы пружины, следовательно, момент от силы пружины прижимает капот в закрытом положении, зеркально противоположное происходит при угле открывания капота 34.5˚, что позволяет удерживать капот в верхнем положении при полном выдвижении штока газовой пружины.

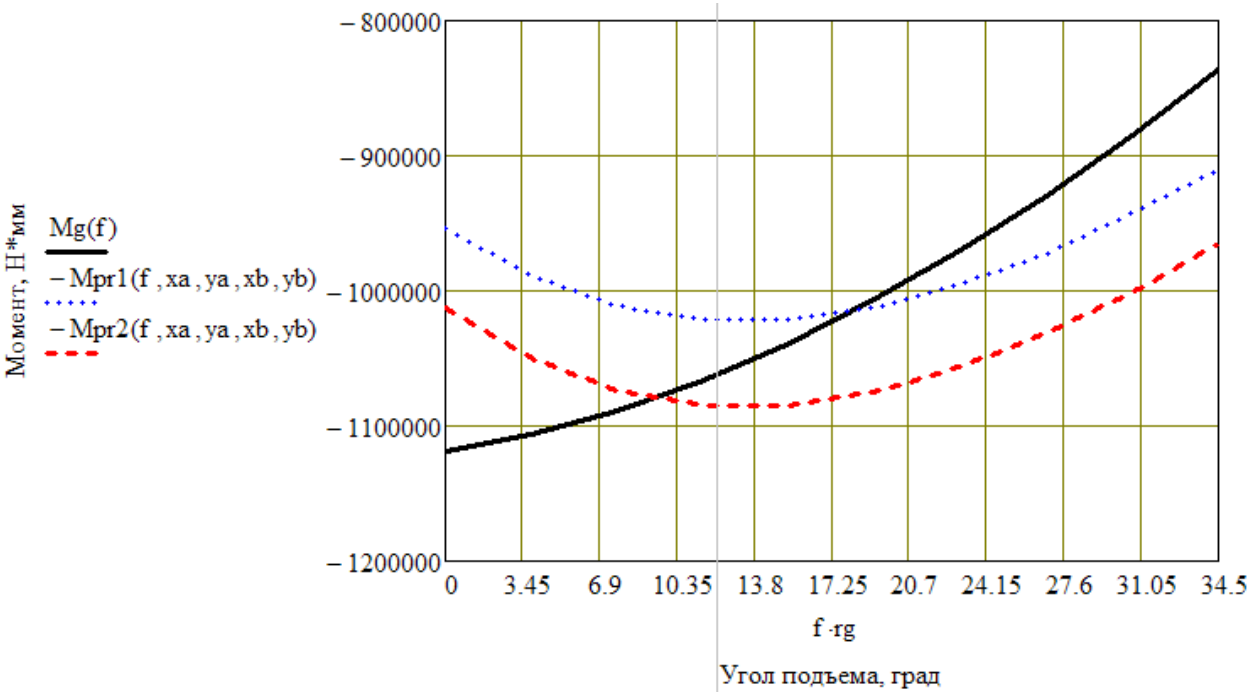


Рис. 5 – Характеристика изменения момента от силы тяжести (Mg(f)) и пружины вокруг точки качания капота при перемещении капота верх (Mpr1*(f,xa,ya,xb,yb)*) и вниз (*Mpr2(f,xa,ya,xb,yb)*)

Алгоритм расчета механизма уравновешивания капота с газовыми пружинами показан на рис. 6.

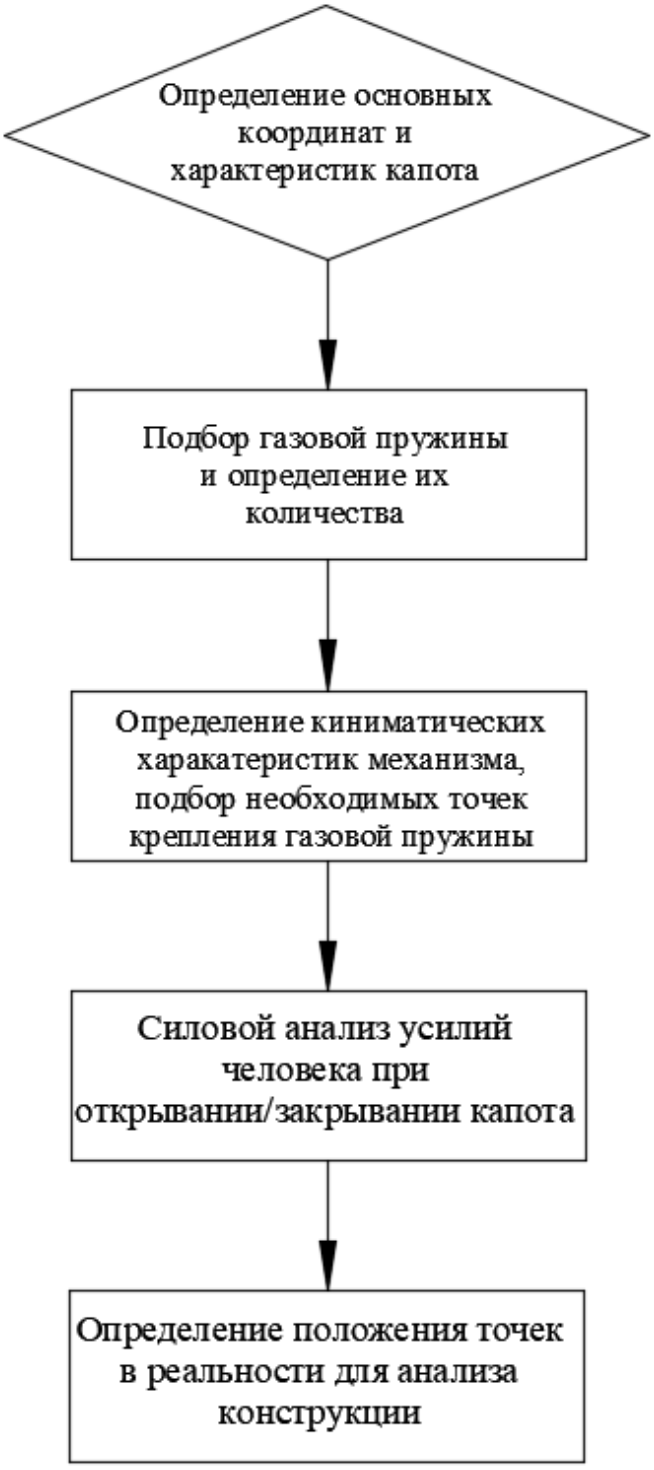


Рис. 6 – Поэтапный алгоритм расчета механизма уравновешивания капота с газовыми пружинами.

Более подробно алгоритм описан ниже:

1 – Определение основных координат и характеристик капота: оси качания (точка O), центра тяжести (точка G), крепления ручки (точка C1),

нижний край капота (точка С2),масса капота (G_g), необходимы угол открывания капота (φ).

2 – Учитывая выражений 21-24, необходимо подобрать газовую пружину и их количество.

3 – С учетом выражений 6-22 и подобранных параметров пружины, нужно определить кинематические характеристики механизма уравновешивания и методом подбора найти необходимые точки А (точка крепления газовой пружины к каркасу) и В(точка крепления газовой пружины к капоту).

4 – Используя выражения 25-32, необходимо провести силовой анализ усилий человека при открывании/закрывании капота, которые должные соответствовать оптимальным параметрам зависимости из выражения 33.

5 – С помощью геометрического анализа опередить положения точек в реальности, дабы исключить соприкосновения конструкций сельскохозяйственной машины (с/х) с газовой пружиной и ее элементами крепления.

Так как необходимый подбор точек А и В описанный в пункте 4 Алгоритма расчета механизма уравновешивания, является не оптимальным и долгим, приходится вручную подбирать координаты, а после проверять каждое изменение. Это привело к идеи использованию оптимизации поиска необходимых координат в системе MCAD.

В частности был использован нелинейный метод Левенберга-Марквардта. Этот метод оптимизации направлен на решение задач о наименьших квадратах. Является альтернативой методу Ньютона. Может рассматриваться как комбинация последнего с методом градиентного спуска или как метод доверительных областей.

Направление поиска Левенберга – Марквардта определяется из системы:

$$[J^T(\vec{x}_k)J(\vec{x}_k) + \Lambda_k I]\vec{p}_k = -J^T(\vec{x}_k)f(\vec{x}_k)$$

где Λ_k – некоторая неотрицательная константа, своя для каждого шага, I – единичная матрица.

$$\vec{x}_{k+1} = \vec{x}_k + \vec{p}_k$$

Выбор Λ_k можно осуществлять, делая его достаточным для монотонного спуска по функции невязки F(x), то есть увеличивать параметр до тех пор, пока не будет достигнуто условие $F(\vec{x}_{k+1}) < F(\vec{x}_k)$.

Так де параметр Λ_k можно устанавливать исходя из отношения между фактическими изменениями функции $f(\vec{x})$, достигнутыми в результате пробных шагов, и ожидаемыми величинами этих изменений при интерполяции.

Так же можно показать, что $\vec{p}_k$ удовлетворяет условию:

$$\vec{p}_k = \arg \min_{\|\vec{p}\| \le \Delta} \|J(\vec{x}_k)\vec{p} + f(\vec{x}_k)\|$$

где Δ – параметр, связанный с Λ_k.

На основе это метода с использованием системы MCAD, был разработан алгоритм оптимизации подбора точек крепления газовых пружин. Для нормальной работы системы оптимизации, необходимо добавить зависимости в формулы 11-22 и 25-32 такие как: xa, ya, xb, yb. Эти зависимости будут определять изменяемые координаты точек крепления пружин при оптимизации.

Так же для уточнения поиска необходимых точек необходимо ввести следующие зависимости:

$$RP_{min} \le \frac{-R_{c1}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb)}{9.81} \le RP_{max} \quad (34)$$

где RP_{min} и RP_{max} – минимальное и максимальное усилие человека необходимое для поднятия капота в крайней нижней точке;

$-R_{c1}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb)$ – уравновешивающиеся усилие, которое необходимо преодолеть человеку для поднятия капота в крайнем нижнем положении, уже с применяемыми зависимостями.

$$RO_{min} \le \frac{-R_{c2}(\varphi_{max}, xa, ya, xb, yb)}{9.81} \le RO_{max} \quad (35)$$

где RO_{min} и RO_{max} – минимальное и максимальное усилие человека необходимое для опускания капота в крайней верхней точке;

$-R_{c2}(\varphi_{max}, xa, ya, xb, yb)$ – уравновешивающиеся усилие, которое необходимо преодолеть человеку для опускания капота в крайнем верхнем положении, уже с применяемыми зависимостями.

$$lo - h_{max} + z_{lpr} \le l_{AB}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb) \le lo \quad (36)$$

$$lo \le l_{AB}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb) \le lo \quad (37)$$

где: lo – свободная длинна пружины; h_{max} – ход штока; z_{lpr} – запас по длине пружины в коротком состоянии; $l_{AB}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb)$ – длина пружины в крайнем нижнем положении капота.

Алгоритм оптимизации

В общем виде алгоритм оптимизации поиска точек крепления газовых пружин в системе MCAD с учетом зависимостей (34-37) выглядит следующим образом:

$$CTOL = 0.001$$

$$Given$$

$$RP_{min} \le \frac{-R_{c1}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb)}{9.81} \le RP_{max}$$

$$RO_{min} \le \frac{-R_{c2}(\varphi_{max}, xa, ya, xb, yb)}{9.81} \le RO_{max}$$

$$lo - h_{max} + z_{lpr} \le l_{AB}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb) \le lo$$

$$lo \le l_{AB}(\varphi_{min}, xa, ya, xb, yb) \le lo$$

$$sol1(\varphi) := Find(\varphi, xa, ya, xb, yb)$$

$$sol1(\varphi_{min}) = \begin{pmatrix} 0 \\ A_X \\ A_Y \\ B_X \\ B_Y \end{pmatrix}$$

где: CTOL – точность поиска.

Таким образом, в матрице $sol1(\varphi_{min})$ показаны найденные точки крепления газовой пружины, соответствующие ранее заданным условиям поиска. Данный поиск происходит почти моментально, что позволяет быстро, а главное точно найти необходимые точки крепления. Уже, от которых с учетом анализа реальной конструкции мы сможем отталкиваться и двигать точки крепления пружин для обхода элементов конструкции с/х машины.

Заключение

Приведенное в работе поэтапное алгоритмическое решение по оптимизации поиска точек крепления газовой пружины, механизма уравновешения, на примере капота, позволило значительно сократить

время на поиск точек, обеспечивающих необходимые параметры усилий человека при поднятии и опускании капота.

А также при анализе реальной конструкции позволит быстро находить новые точки крепления, благодаря исключению из условия поиска уже найденных неподходящих точек, и ограничению поиска уже в известных полях поиска координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джасов Д. В. Оптимизация параметров механизма подъёма капота косилки с применением газовых пружин/ Д.В. Джасов, Д.Н. Иванов, А.С. Шантыко// Вестник аграрной науки Дона. – 2018.–№2(42). – С.65-73.

2. Рехлицкий О. В. Синтез механизмов уравновешивания с газовыми пружинами с использованием векторного анализа / О.В. Рехлицкий, Д.В. Джасов, С.В. Труханович // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы машиноведения», выпуск 2, Минск, 2013. – С.106 – 110.

3. Чупрынин Ю. В., Дюжев А. А. / Алгоритм расчета геометрии ременного контура векторным способом // Тракторы и сельскохозяйственные машины. –2005, №6.

4. Котов А. В., Чупрынин Ю. В. / Применение векторного анализа при проектировании рычажных механизмов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Мн., 2007. – С. 32-37.

5. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

УДК 004.04

ВИДЕОСИСТЕМА В СОСТАВЕ БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

А. А. Андреенко, В. Н. Шкирский, О. В. Рехлицкий
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

В современном мире, важной информационной частью при работе любой техники является визуальное отображение происходящего вне визуального контроля водителя, с помощью систем, в состав которых входят видеокамеры. Такие системы имеют две возможные формы воплощения:

1) системы в составе бортовых компьютеров – ключевым отличием такой системы является вывод изображения на экран бортового компьютера;

2) классические системы видеонаблюдения – такие системы выводят изображение с камер на отдельный монитор.

По различным причинам классические системы видеонаблюдения имеют ряд недостатков, в связи с чем, на ОАО «Гомсельмаш» ведется разработка и испытание видеосистемы в составе бортового компьютера.

Разработанная система представляет собой видеосистему в составе бортового компьютера, предназначенную для предоставления расширенного обзора механизатору.



Рис. 1 – Бортовой компьютер

Видеосистема состоит из нескольких ключевых компонентов:

- бортовой компьютер;

- программное обеспечение;
- видеокамеры;
- кабели и соединительные провода;
- опциональные аппаратные средства по промежуточной обработке видеопотока или его маршрутизации – коммутаторы, маршрутизаторы.

Бортовой компьютер выполняет роль устройства, отображающего видеосигнал для пользователя (рис. 1). Как правило, для отображения такого сигнала задействован не весь экран, а только его часть. Однако предоставляются возможности по отображению изображений на всю возможную площадь по желанию пользователя, либо размер окна вывода видеосигнала устанавливается по заданным настройкам. Отображение изображения достигается при использовании специального программного обеспечения, которое может являться как частью кода основной программы, так и отдельно поставляемым модулем [1]. Во встроенных видеосистемах, применяемых на ОАО «Гомсельмаш», применён гибридный подход. Низкоуровневая часть программного обеспечения реализована сторонними разработчиками и представляет собой драйвера, к которым обращается основная программа. Этот подход является самым распространённым и позволяет сосредоточиться на разработке части программного обеспечения отвечающей за взаимодействие с конечным пользователем и опустить собственную разработку драйверов. Что приводит к уменьшению ошибок в итоговом коде, увеличению темпа разработки и удешевлению стоимости итогового программного обеспечения.

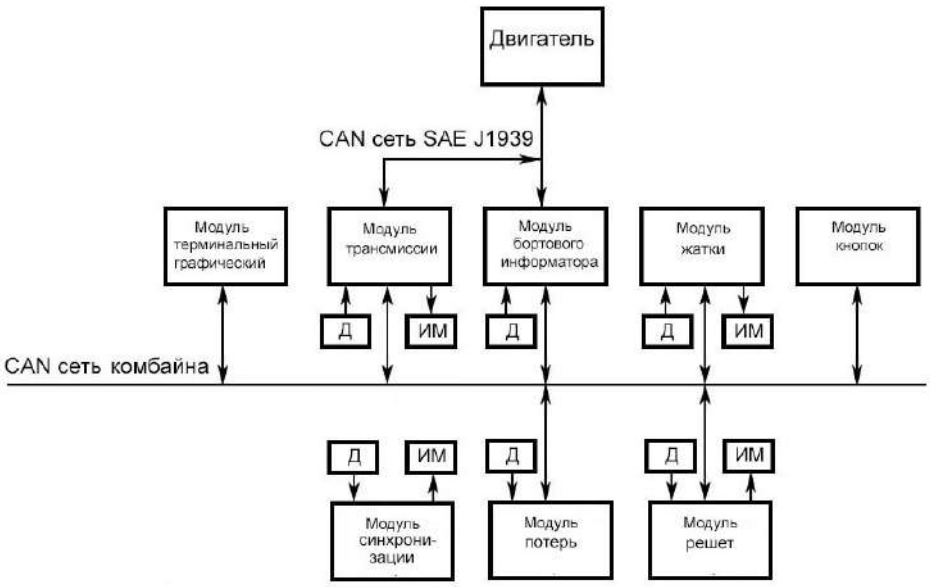


Рис. 2 – Схема связи между электронными компонентами комбайна

Основная программа представляет собой блок кода, разрабатываемый на ОАО «Гомсельмаш», в котором явно выделена часть в виде сервиса, отвечающего за работу с низкоуровневым программным обеспечением. Данная часть адаптирует видеопоток к необходимым внутренним форматам и является последней частью, где над входящим видеопотоком выполняются преобразования. Обеспечение интеллектуальных функций видеосистемы происходит за счет интеграции бортового терминала и управляющих модулей комбайна через can-сеть (рис. 2).

Данный слой программного обеспечения отвечает за интеллектуальные функции программного обеспечения:

1) автоматическое включение видеонаблюдения: возможность включить камеры и отобразить их пользователю при активации одного или нескольких условий. К таким условиям относятся – движение комбайна назад, перевод выгрузной трубы в положение для выгрузки зерна, запуск двигателя. Дополнительно существует возможность добавить любое условие по произвольному параметру, который обрабатывается бортовым компьютером.

2) изменение параметров камеры, таких как разрешение камеры, контрастность камеры, светочувствительность, яркость, управление инфракрасной подсветкой при её наличии. Выполняется по средствам программного обмена информацией с драйверами, которые в свою очередь настраивают видеокамеры. Либо через программное сжатие или трансформацию потока к требуемым параметрам без изменения входящего потока в бортовой компьютер.

3) обработка входящего изображения с целью добавления слоёв с дополнительной информацией. Эта возможность актуальна при активации полноэкранного режима отображения входящего видеопотока и позволяет в режиме реального времени модифицировать изображение путём наложения некоторых параметров поверх видеопотока. К примеру, возможно отображение скорости или оборотов двигателя. А при движении назад возможно отображать сигнал датчика движения назад на скоростях близких к нулю. Дополнительно к вышесказанному, существуют технологии наложения такой информации как предполагаемая траектория движения или выделение движущихся объектов. Среди движущихся объектов важными являются люди и животные, их подсветка или иное изменение изображение поможет акцентировать внимание управляющего техникой на этих объектах [2]. В свою очередь данные преобразования

приведут к повышению безопасности и повышению комфорта при управлении техникой.

4) возможность вести автоматическую запись – функция, позволяющая работать системе видеонаблюдения в качестве автомобильного регистратора. Она в автоматическом режиме включает запись видео с одной или нескольких камер и позволяет сохранить данные на внешний накопитель или в память бортового компьютера.

Видеокамеры, входящие в состав видеосистемы являются основной частью. Они выполняют захват изображения и генерацию видеосигнала. Именно от качества видеокамеры и её возможностей зависит качество изображения видимого на экране бортового компьютера. Программная обработка сигнала выполняемого на уровне драйверов и в программном обеспечении терминала не может кардинально улучшить изображение, только провести коррекцию изображения с целью адаптации аппаратных возможностей к окружающей обстановке. По своим возможностям и характеристикам видеокамеры могут значительно отличаться. Краткий перечень опций, которыми может оснащаться видеокамера и влиять на качество изображения:

- инфракрасная подсветка;
- подогрев при отрицательных температурах;
- режим тепловизора;
- оптический или цифровой зум;
- возможность фокусирования;
- моделирования вида сверху 270 °/360 °;
- стереокамеры с функцией распознавания объектов;
- сочетание сразу двух видов датчиков (радарных и ультразвуковых).

Опциональные средства промежуточной обработки сигналов представляют собой маршрутизаторы видеопотока или коммутаторы. Они нужны для облегчения подключения камер к бортовому компьютеру, или для обеспечения возможности подключения к бортовым компьютерам, у которых количество физических входов для приёма видеопотока меньше количества камер в системе.

Анализ результатов испытаний аналогичных систем показал, что современная видеосистема в составе бортового компьютера является перспективной технологией, имеющей несколько преимуществ по сравнению с классическими решениями на базе отдельно расположенного монитора. К таким преимуществам относятся: улучшение обзора, простота интеграции, удешевление конструкции, обеспечение интеллектуальными возможностями, такими как автоматическое включение, изменение разрешения камеры, задействование инфракрасной подсветки,

возможность автоматически вести запись и сохранять интересующие фрагменты видео без участия пользователя в полностью автоматическом режиме. Это позволяет совместить в современной видеосистеме несколько устройств: бортовой компьютер, классическую систему видеонаблюдения, видеорегистратор. Эти устройства улучшают использование техники и повышают безопасность. Технология встроенных систем видеонаблюдения в составе бортового компьютера является естественной эволюцией классических систем видеонаблюдения. Что доказывается тем, как развиваются такие системы в сельскохозяйственной технике, в сфере грузового и легкового автотранспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильный бортовой компьютер. Средства информационных и коммуникационных технологий: Учебно–методическое пособие. / Сост. Т.В.Суржик, П.А Лякишев, – Иркутск, 2015. – 50с.

2. Орлов А. Вехи автомобильной итории: как машины стали частью нашей жизни [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/786436/. Дата доступа: 06.09.2024

УДК 629.02:631.3: 697.3:62-714

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯ СИЛОВОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО

И. И. Уздовский, А. О. Сидоракин
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Ключевые слова: *модуль силовой программируемый, CAN-шина.*

В связи с всемирным ростом в сфере электрооборудования и программирования, а также модернизации техники, увеличивается применяемость электрических жгутов, что влечет за собой сложности при сборке техники, а также диагностику электрических цепей. В условиях сельского хозяйства, проблематично диагностировать электрические цепи комбайна который находится в эксплуатации более 2 лет.

Проведя анализ электрических цепей, входящих во все комбайны, были определены узлы в которых возможно уменьшить количество электрических цепей передающихся проводами [5].

При использовании модуля силового программируемого (далее – МСП) совместно с пультом управления (далее – ПУ [3]), пультом управления освещения (далее – ПУО[2]), рукояткой управления (далее – РУ [4]), терминалом графическим рулевой колонки (далее – ТГРК [4]) в конструкциях комбайнов, позволяет уменьшить применяемость проводов, и убрать из конструкции комбайнов прерыватель электронный указателей поворотов (далее – ПЭУП), а также убрать из цепей электрооборудования не одно реле.

МСП [1] – модуль силовой программируемый, позволяет управлять мощным электрооборудованием, в том числе с помощью CAN-шины. Модуль идеально подходит для систем, в которых требуется не только производить коммутацию мощных потребителей, но и:

- Выполнять диагностику электрических цепей, в том числе с помощью индикации программируемых светодиодов, расположенных на корпусе изделия;
- Контролировать ток потребления каждого канала;
- Отслеживать уровень напряжения бортовой сети;
- Определять аварийные ситуации: короткие замыкания, обрывы нагрузок.
- Измерять выходной ток

- Контролировать работоспособность ламп (фар, маяков и т.д.)
- Контролировать нормальное функционирование нагрузки
- Передавать измеренные значения токов отдельных каналов по CAN-шине

МСП подходит для всех применений в бортовых сетях постоянного тока 12 В и 24 В.

Использование МСП позволит механизатору отслеживать ошибки светосигнального оборудование и не только. Используя 4 провода возможно отслеживание левого и правого поворота комбайна, а также левого и правого борта с подключением адаптера и/или прицепа. При выходе из строя светосигнального оборудования на ТГРК появляется ошибка и сигнализирует о неисправности светосигнального оборудования одного из бортов. Данные введения позволят улучшить безопасность на дорогах и избежать аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанная конструкция позволит уменьшить общую длину проводки от 31 до 74 метров в зависимости от направления комбайна. А также позволит контролировать работоспособность цепей с помощью светодиодов расположенных на модуле силовом программируемом и поможет механизатору проще ориентироваться в цепях электрооборудования.
2. Конструкция позволяет реализовать функции удаленной диагностики посредством отслеживания обрывов и превышения нагрузки по каналам с передачей в общий CAN, и далее в систему удаленной диагностики.
3. Для окончательного выбора варианта серийного производства, в том числе в качестве альтернативных вариантов, так как в составе комбайна применяются покупные изделия различных поставщиков, необходимо провести испытания в различных вариантах сочетаний комплектующих от разных производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка и контрактное производство электроники | НСЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nse-online.com/. – Дата доступа: 16.07.2024.
2. ООО «НПП «Контактмодуль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nppcontact.by/. – Дата доступа: 16.07.2024.

3. ООО «НПК «Контакт» - пленочные, мембранные клавиатуры, промышленные клавиатуры, панели и пульты управления, контрактная разработка и производство электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://swpanels.by/. – Дата доступа: 16.07.2024.

4. ATI – Производство электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://npf-ati.ru/. – Дата доступа: 16.07.2024.

5. Кравченко П. И. Краткий справочник автоэлектрика по определению и устранению неисправностей в системах электрооборудования тракторов, комбайнов и автомобилей / П. И. Кравченко. – Минск, 1967. – 141 с.

УДК 631.374

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА ХОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 5 Т

А. А. Муратов, В. Ю. Бутько, В. В. Голубев
ОАО «АМКОДОР»-управляющая компания холдинга»,
г. Минск, Республика Беларусь

Для сохранности силоса при его хранении в траншее главным фактором является качественное уплотнение силосной массы. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для этой технологической операции пригодны машины с высокими тяговыми качествами и шинами с давлением около 200 кПа. С середины 2010-х годов для качественного уплотнения сенажа и силоса при закладке его на хранение, а также выполнения погрузочно-транспортных и специальных работ, используются колесные погрузчики. Так, совместно с партнерами из Минсельхозпрода Республики Беларусь были определены исходные требования, а затем создана конструкция погрузчика АМКОДОР 352СХ с улучшенными на 36% тяговыми характеристиками в сравнении с базовой моделью АМКОДОР 352С и тепловым режимом силовой установки, широкопрофильными шинами 28LR26, что повысило проходимость, производительность по перемещению и укладке зеленой массы.

Как показывает мировая практика, привод хода погрузчиков грузоподъемностью 5 т. представлен двумя основными видами: гидродинамическим (или гидромеханическим, далее ГМП) и гидростатическим (или гидрообъемным, далее ГОП). ГМП применяют компании JCB, Volvo, Doosan, XCMG, SEM, Shantui, Liugong, UMG. JCB выпускает погрузчики серии Agri с улучшенными тяговыми характеристиками, они способны эффективно перемещать грузы по наклонным поверхностям и грунтам с низкой несущей способностью. Погрузчики с ГОП, по тягово-скоростным характеристикам, не уступающие моделям с ГМП, предлагают Liebherr, Caterpillar, Komatsu.

Появление в инструментарии заводских КБ программных средств для построения цифровых двойников с использованием импорта из 3D CAE моделей, визуальным интерфейсом и библиотеками компонентов со встроенными заранее верифицированными функциями дает возможность проводить оперативные исследования как машин в целом, так и влияния изменений части конструкции на ее показатели. В условиях, когда доступность ряда покупных элементов ГМП ухудшена (муфты свободного хода, клапаны), целесообразно провести сравнение указанных двух типов трансмиссий в условиях применения в сельском хозяйстве путем

виртуальных исследований. Объектом сравнительных исследований определен погрузчик АМКОДОР 352СХ с ГМП и ГОП с имеющейся системой охлаждения. Основными режимами нагружения приняты циклическая укладка силосной массы и транспортный пробег, характерные для сельхозпроизводства.

Цифровой двойник погрузчика АМКОДОР 352СХ представляет собой динамическую цифровую модель (далее ЦМ), включающую шасси с силовой установкой и приводом хода, (рис. 1, 2) разработанную по методике Siemens (модуль AMESIM, [1]), которая верифицирована разработчиками применительно ко всем отраслям машиностроения.

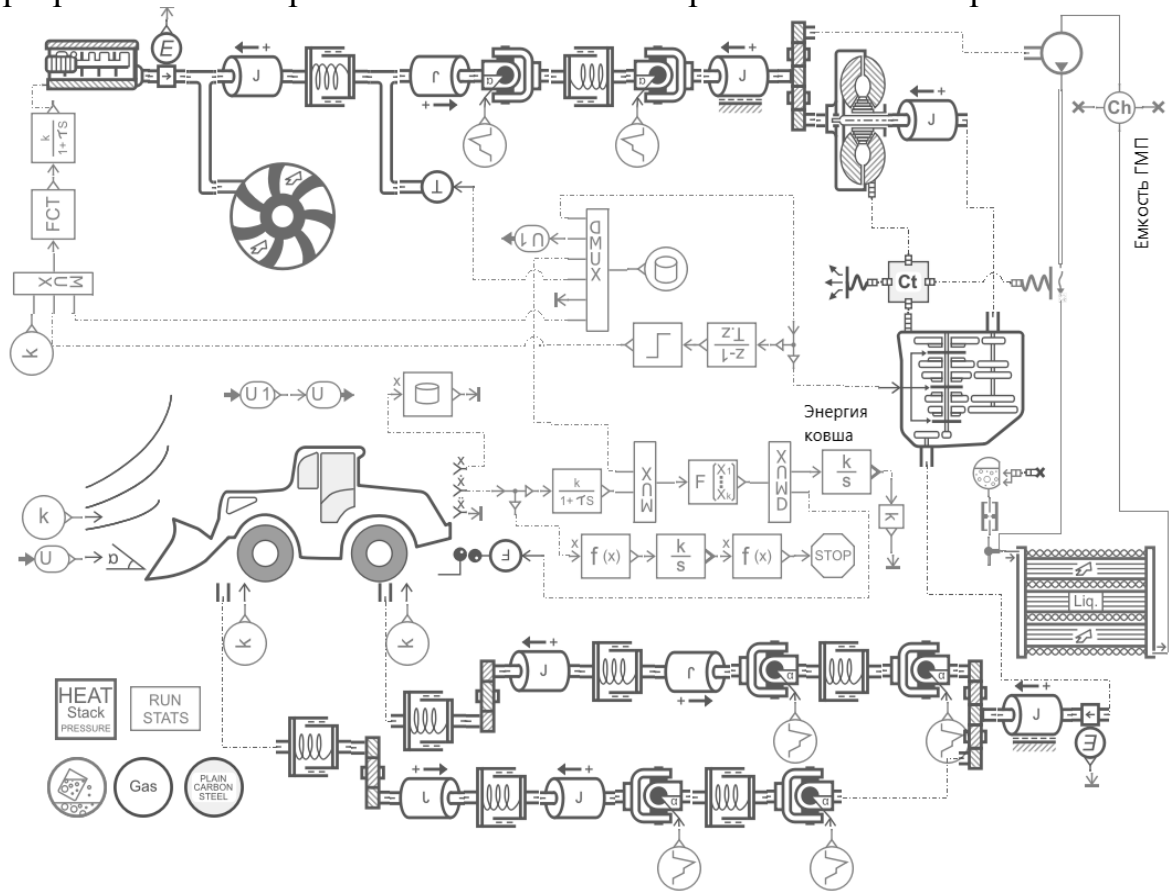


Рис. 1– ЦМ погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП

ЦМ предусматривает задание экспериментальных характеристик: ДВС в виде серии кривых «частота вращения-момент» с интерполяцией по уровню загрузки, гидротрансформатора в форме диаграмм Iгт – Мн, Iгт – Кт в том числе с учетом температуры масла, вентилятора и радиатора системы охлаждения ГМП, упруго-массовые характеристики всех элементов приводов, параметры и закон изменения коэффициента трения фрикционов, законы управления. Выбор передач, процент загрузки ДВС, изменение уклона дороги, изменение сопротивления ходу, включение тормозов, управление гидронасосами заданы как функция времени.

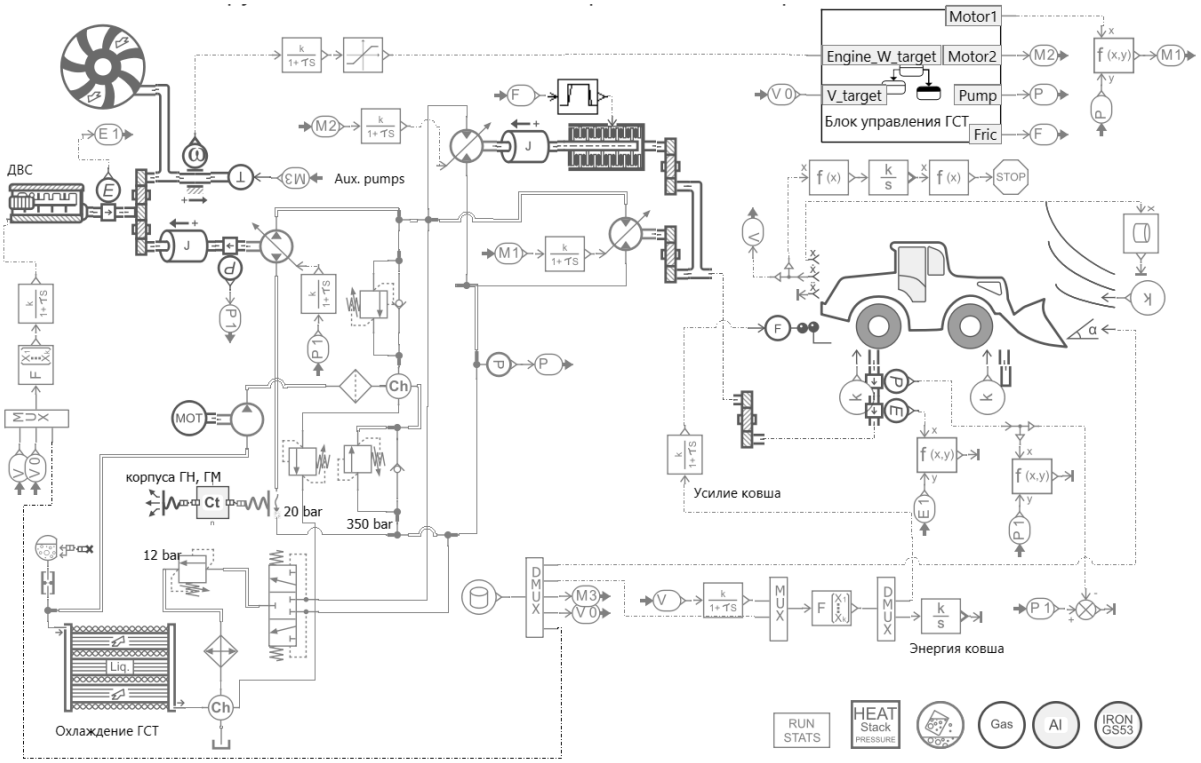


Рис. 2 – ЦМ версии погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГОП.

Проведя анализ работы был принят следующий алгоритм:

- в связи с высокой стабильностью параметров при транспортном пробеге первоначальную доводку системы охлаждения и потерь привода хода выполним на этом режиме.

- используя полученную модель проведем исследования в режиме укладки силоса подбирая временные, скоростные и силовые параметры движения.

Моделирование транспортного пробега

Доводка параметров ЦМ выполнена по экспериментальным результатам [2], что позволило достичь ее адекватности для обозначенных задач исследования и получить доступ к внутренним параметрам динамической системы привода хода. Вначале на основе тензограмм разработан режим нагружения, учитывающий профиль дороги и динамику нагрева ГМП.

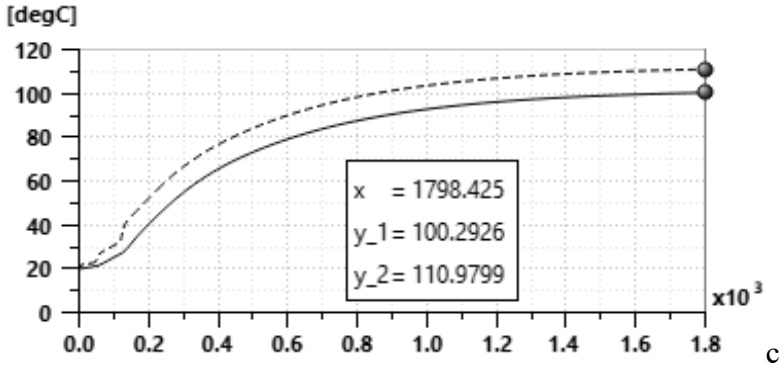


Рис. 3 – Температура на входе и выходе в радиатор погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП (транспортный пробег).

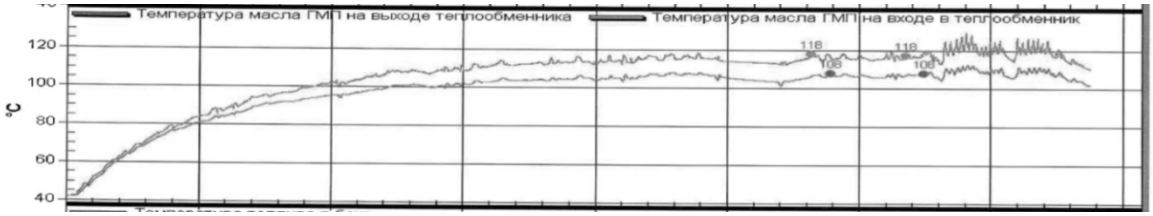


Рис. 4 – Температура на входе и выходе в радиатор погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП ([2] транспортный пробег).

Для приведения результатов ЦМ к условиям испытаний [2] следует добавить 9°С (ЦМ 20°С, испытания 29°С).

Моделирование укладки силосной массы

После валидации транспортного пробега был выполнен синтез режимов работы при укладке силосной массы с использованием данных протокола [2] (рис. 5, 6).

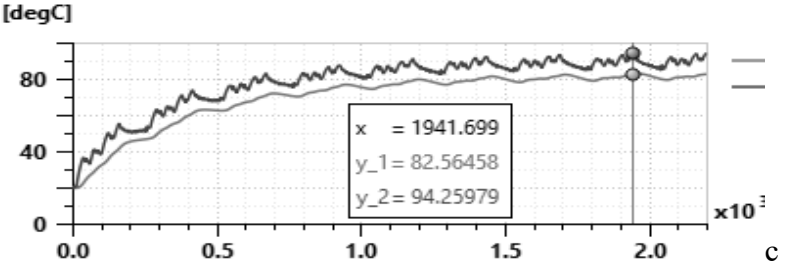


Рис. 5 – Температура на входе и выходе в радиатор погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП при укладки силосной массы.

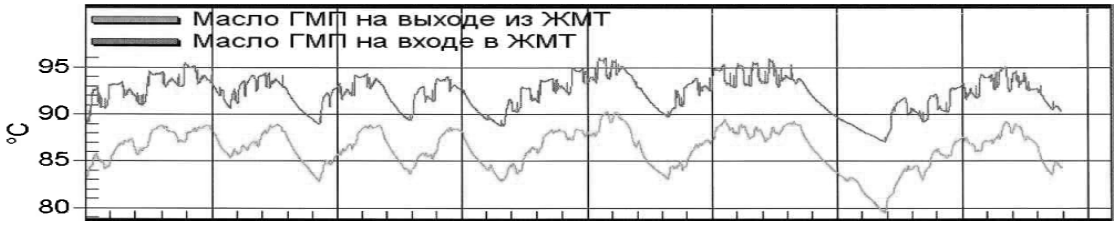


Рис. 6 – Температура на входе и выходе в радиатор погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП при укладки силосной массы [2].

Далее выполнено моделирование транспортного пробега и укладки силоса (рис. 7) для ГОП погрузчика АМКОДОР 352СХ с существующей системой охлаждения (радиатор ГМП используем для охлаждения ГОП).

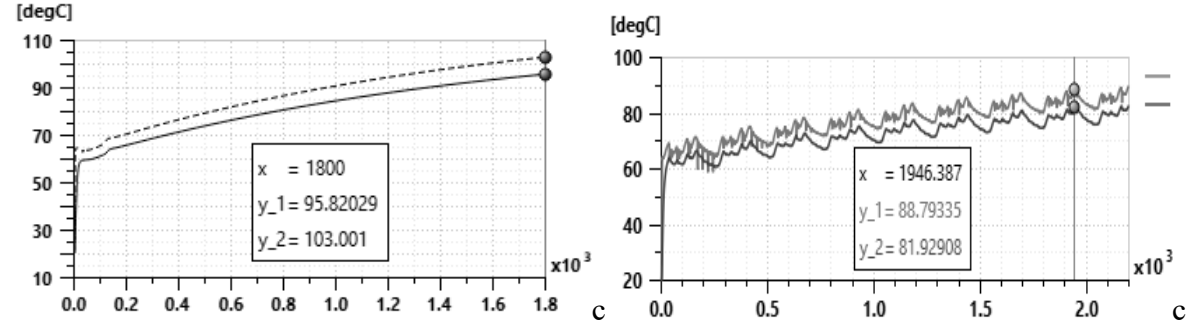


Рис. 7 – Температура на входе и выходе в радиатор погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГОП (слева - при транспортном режиме, справа при укладке силосной массы).

Температура на входе и выходе в масляную секцию радиатора погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГОП после транспортного пробега продолжительностью 30 минут не превышает допустимые значения.

Сравнительная оценка энергоэффективности ГОП и ГМП выполнена по количеству затраченной энергии на выполнение одинаковой работы. Для транспортного режима принят путь 2 км, для укладки силоса 1,3км (рис. 8).

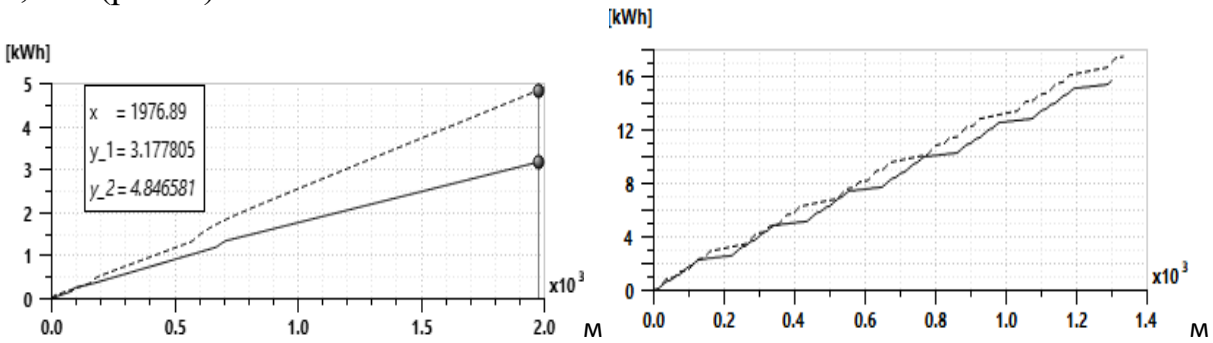


Рис. 8 – Накопленная энергия слева - при транспортном режиме, справа при укладке силосной массы (пунктирная линия– ГМП, сплошная линия – ГОП).

Выводы

1. Расхождения экспериментальных и полученные при моделировании тягово-скоростные качества погрузчика АМКОДОР 352СХ с ГМП не превышают 5%. Температурный режим системы охлаждения в транспортном пробеге и укладке силосной массы соответствует экспериментальным значениям.

2. Виртуальные испытания показали работоспособность ГОП в условиях сельского хозяйства. Температурный режим системы охлаждения в транспортном пробеге на входе 118,9°С, на выходе 110,6°С в масляную секцию радиатора (с ГМП на входе 111,8°С, на выходе 101°С), при укладке

силосной массы на входе 80°С, на выходе 74,6°С в масляную секцию радиатора (с ГМП на входе 87,9°С, на выходе 82°С). Температура на входе и выходе в масляную секцию радиатора после транспортного пробега продолжительностью 30 минут не превышает допустимые значения.

3. Накопленная энергия ГОП меньше в транспортном пробеге и при укладке силосной массы, что показывает лучшую топливную экономичность. ГОП имеет преимущество при использовании в сельхозпроизводстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методики моделирования в модуле AMESIM Siemens https://support.sw.siemens.com/.

2. Протокол №3589 от 10.07.2019 проверки теплового режима силовой установки погрузчика универсального АМКОДОР 352СХ.

УДК 621.878.23

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГУСЕНИЧНОГО БУЛЬДОЗЕРА

Д. Ю. Стреха, С. М. Костюк, А. А. Дюжев
ОАО «АМКОДОР»-управляющая компания холдинга»,
г. Минск, Республика Беларусь,
ГУО «Университет Национальной академии наук Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

Особенностью холдинга ОАО «АМКОДОР» является развитие компетенций в создании и производстве весьма обширного спектра специальной техники с гибким приспособлением под нужны потребителей

Одним из новых направлений техники холдинга, которое появилось в связи с его востребованием на рынке, стали гусеничные бульдозеры массой 22-25 т. Бульдозеры такого класса широко востребованы как в нашей стране, так и в ближнем зарубежье.

Современные бульдозеры, несмотря на широкую номенклатуру типоразмеров, объединяет единый принцип компоновки конструкции. Они представляют собой строительную или мелиоративную машину на гусеничном ходу, оснащенную различными отвалами. Наиболее распространенным дополнительным оборудованием является рыхлитель, который в зависимости от конструкции, используется для рыхления грунта или съема верхнего слоя дорожного покрытия. Бульдозер применяется во многих сферах, начиная от возведения зданий и сооружений и заканчивая дорожными работами и мелиорацией. Основное назначение бульдозера – послойное снятие грунта и его перемещение в зону погрузки или хранения.[1]

При анализе аналогов мировых производителей бульдозеров и особенностей собственного предприятия особое внимание было уделено выбору типа трансмиссии. Рассматривались гидромеханическая и гидростатическая трансмиссия, применяемые в мировой практике.

Гидромеханическая трансмиссия – хорошо изученная система, которая повсеместно используется в технике холдинга, с такими преимуществами как: большое максимальное тяговое усилие, хорошая приспособляемость к изменению нагрузки, благодаря гидротрансформатору, неприхотливость в эксплуатации. Но есть и минусы- дорогостоящая разработка и подготовка производства нового гидротрансформатора, потери энергии при повороте бульдозера, металлоёмкость, большое количество агрегатов и их размеры.

Гидростатическая трансмиссия – при ином характере изменения КПД чем у ГМТ обладает рядом преимуществ: обеспечение непрерывной

тяги, бесступенчатое изменение скорости, маневренность, управление осуществляется электроникой, реверс при движении, меньшее количество и габариты агрегатов, что важно для нашей компоновки бульдозера.

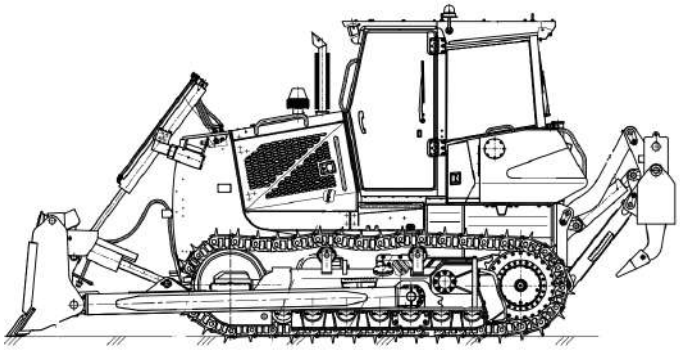


Рис.1 – Первый образец бульдозера AMKODOR

Оценив варианты, выбор был сделан в пользу гидростатической трансмиссии, была принята концепция и создан первый опытный образец в 2020 году (рис. 1. Первый образец бульдозера AMKODOR). Он представляет собой гусеничную тележку с установленными на ней силовой установкой, кабиной, гидростатической трансмиссией и электросистемой, с неповоротным полусферическим отвалом спереди, с рыхлителем сзади.

При исследованиях опытного образца бульдозера были выполнены измерения теплового режима силовой установки, тензометрирование гидросистемы, наработка в эксплуатационных условиях, оценка параметров безопасности.

Важными показателями эффективности работы бульдозера в различных условиях является его производительность, экономичность, надежность, качество выполняемых работ и, конечно, экологичность. Эти показатели тесно взаимосвязаны друг с другом, и не всегда при улучшении одного другой тоже улучшается. Исследования в этих сферах требуют повторяемости условий опытов, дорогостоящих полигонных условий и специального оборудования, длительных сроков работ и квалифицированных специалистов. Например, для лучшей производительности, казалось бы, надо повысить мощность силовой установки и гидравлики, увеличить отвал, но это сразу ухудшает экономичность, экологичность и стоимость самого бульдозера. Требуется рациональный компромисс и баланс - это и привело к поиску инструмента для решения данных задач, котрым стала динамическая модель - цифровой двойник с возможностью имитации работы бульдозера.

Модель (рис. 2. Базовая цифровая динамическая модель бульдозера) строилась с использованием библиотек компонентов AMESIM, представляющих функционально ту или иную деталь, узел, агрегат.

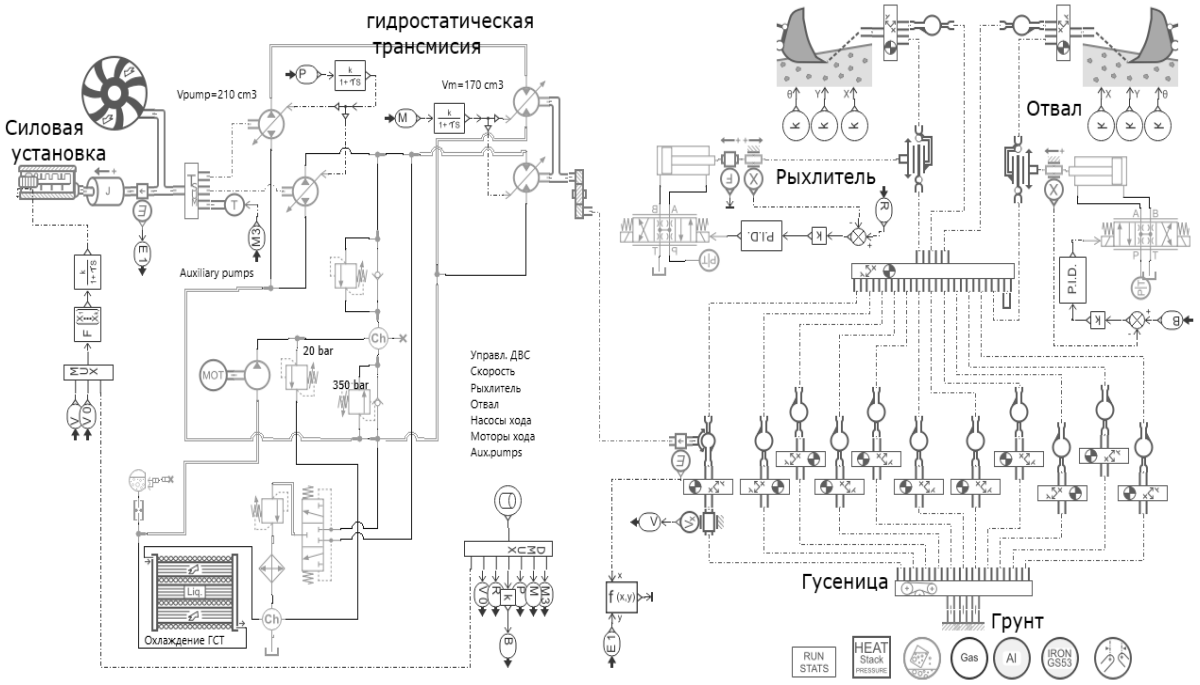


Рис. 2 – Базовая цифровая динамическая модель бульдозера.

В модели левая часть включает силовую установку, гидравлический привод и электронный блок управления. В правой части модели расположены рама, ходовая часть, отвал, рыхлитель, гусеница и грунт. Модель укрупненная - отсутствует часть металлоконструкции и компонентов, несущественных для рассматриваемой задачи, элементы управления частично интегрированы.

Цифровой двойник выполнен по методике ф. Siemens (модуль AMESIM, [2]), которая верифицирована разработчиками применительно ко всем отраслям машиностроения. Она предусматривает задание экспериментальных характеристик: ДВС в виде серии кривых «частота вращения-момент» с интерполяцией по уровню загрузки, в том числе с учетом температуры масла, вентилятора и радиатора системы охлаждения, упруго-массовые характеристики всех элементов приводов. Выбор режима, % загрузки ДВС, изменение уклона поверхности, изменение сопротивления ходу, включение тормозов, управление гидронасосами заданы как функция времени. Масса машины задается как константа. Есть возможность изменять характеристики грунта.

Первый отработанный опытный образец показал, что важным фактором эффективной работы бульдозера является угол установки отвала. Поскольку в ЭИР условиях для выявления корреляционных зависимостей требуется большой объем статистических данных на разных грунтах, было принято решение провести исследование цифровым двойником.

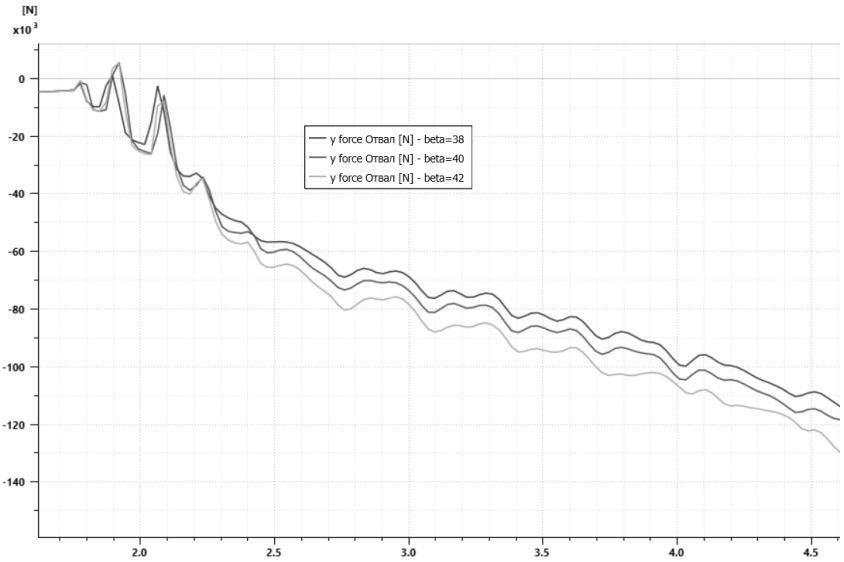


Рис. 3 – Зависимость усилия резания от угла установки отвала.

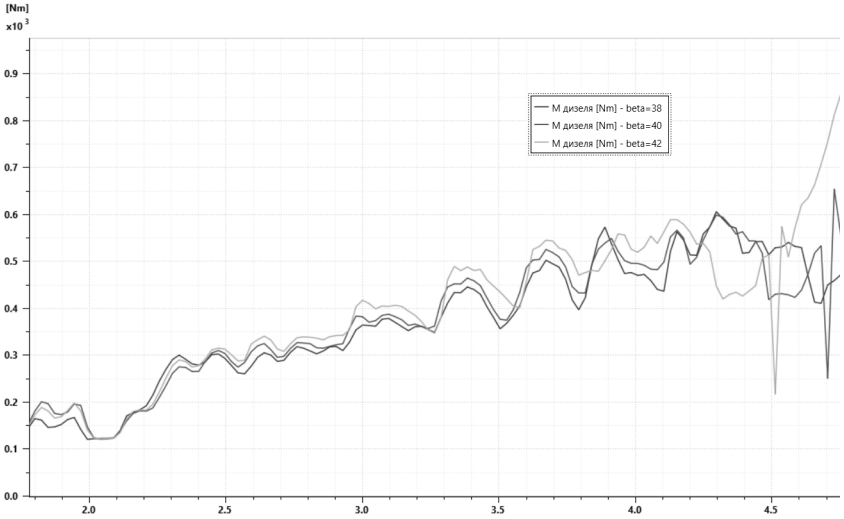


Рис. 4 – Загрузка силовой установки.

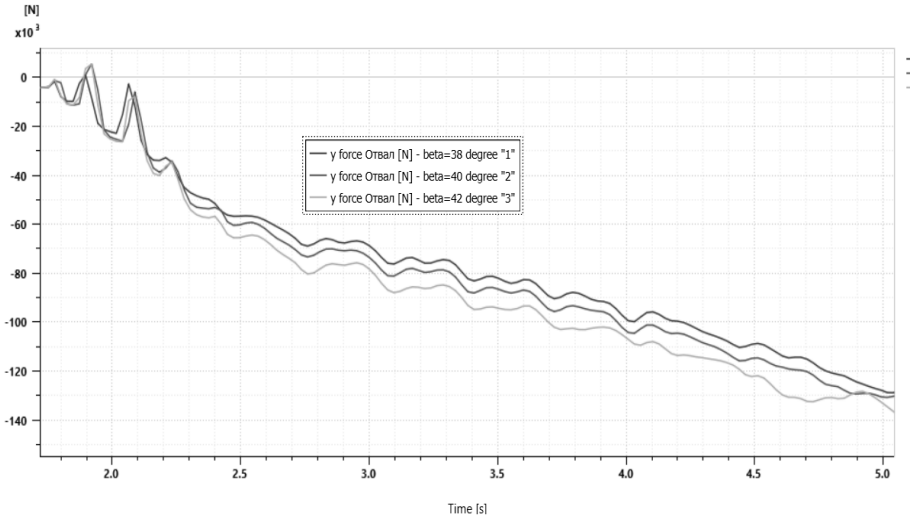


Рис. 5 – зависимость усилия резания от угла установки отвала в другой точке.

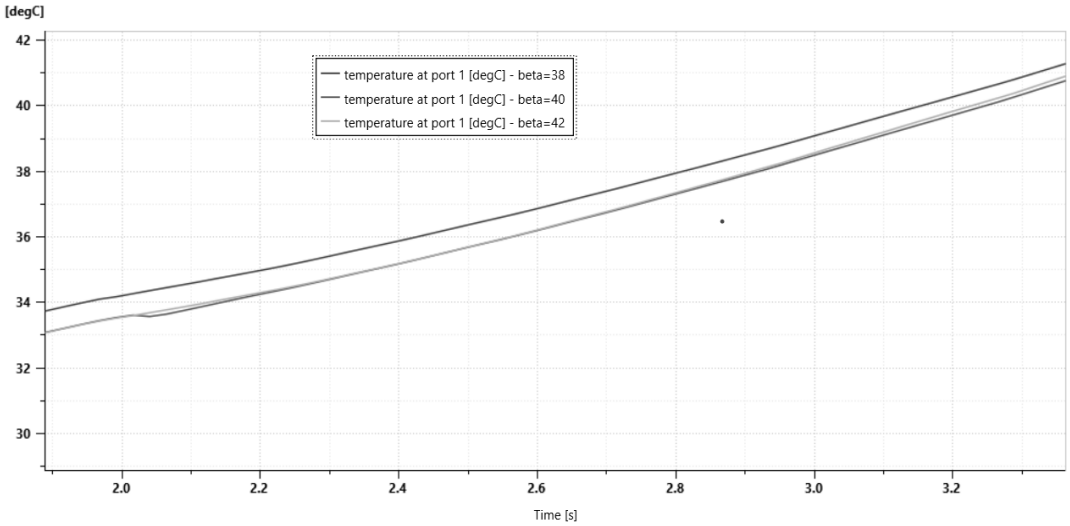


Рис. 6 – Рост температыры ГС прибульдозировании с разными углами установки отвала.

Рис. 3-6 иллюстрируют использование разработанного цифрового двойника для прогнозирования поведения бульдозера при изменении настроек рабочего оборудования.

В результате коррекции параметров цифровой модели по экспериментальным результатам и валидации в контрольных точках достигнута ее адекватность для обозначенных задач исследования, получен доступ к внутренним параметрам всех компонентов и систем. Цифровой двойник позволяет имитировать переходные и установившиеся режимы работы, включая механические нагрузки, кинематические и затраты энергии на выполнение объёма работы. Расхождение с экспериментальными значениями не превышает 5%. Как при экспериментах, так и при исследовании ЦМ выявлен эффект автоколебаний, начинающийся при некотором сочетании глубины бульдозтрования, угла установки отвала и свойств грунта. Этот эффект потребуется ослабить.

Электронные системы управления силовой установкой, трансмиссией, а также инструменты, позволяющие автоматизировать процесс бульдозирования - это те современные направления, которые позволят существенно повысят производительность и эффективность работы бульдозера, то к чему стремятся все мировые производители. А цифровой двойник позволит нам существенно снизить затраты ресурсов на исследование, оптимизацию и интеграцию данных процессов в проиводство. Дальнейшее развитие исследований имеет цель разработать, опробовать на модели, верифицировать и перенести в бортовую систему управления алгоритм оптимизации параметров бульдозирования при

выполнении работ на конкретном грунте с учетом исходного макропрофиля площадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бульдозеры, принципы работы, характеристики, виды и назначение. [Электронный ресурс].https://tsb.by/about/blog/buldozery-princip-raboty-harakteristiki-vidy-i-naznachenie.html- Дата доступа: 23.09.2024.

2. Методики моделирования в модуле AMESIM Siemens support.sw.siemens.com/

УДК 631.3.022

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕЗВИЯ НОЖА ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КВК-800

П. Е. Родзевич, И. Д. Говор
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Измельчение растительной массы измельчающим барабаном является энергоёмким процессом и проходит при высоких окружных скоростях движения ножа. Ножи измельчающего барабана являются наиболее нагруженными и подверженными интенсивному изнашиванию со стороны растительной массы, подпрессованной питающим аппаратом измельчителя.

Схема распределения усилия, действующего на нож измельчающего барабана комбайна КВК-800, представлена на рис. 1.

При резании ножом растительной массы со стороны противорежущего бруса возникает опорная реакция F_P, равная критической силе резания $P_{кр}$. Схема приложения силы сопротивления F_P с учетом углов расположения ножа относительно вертикали приведена на рис. 1.

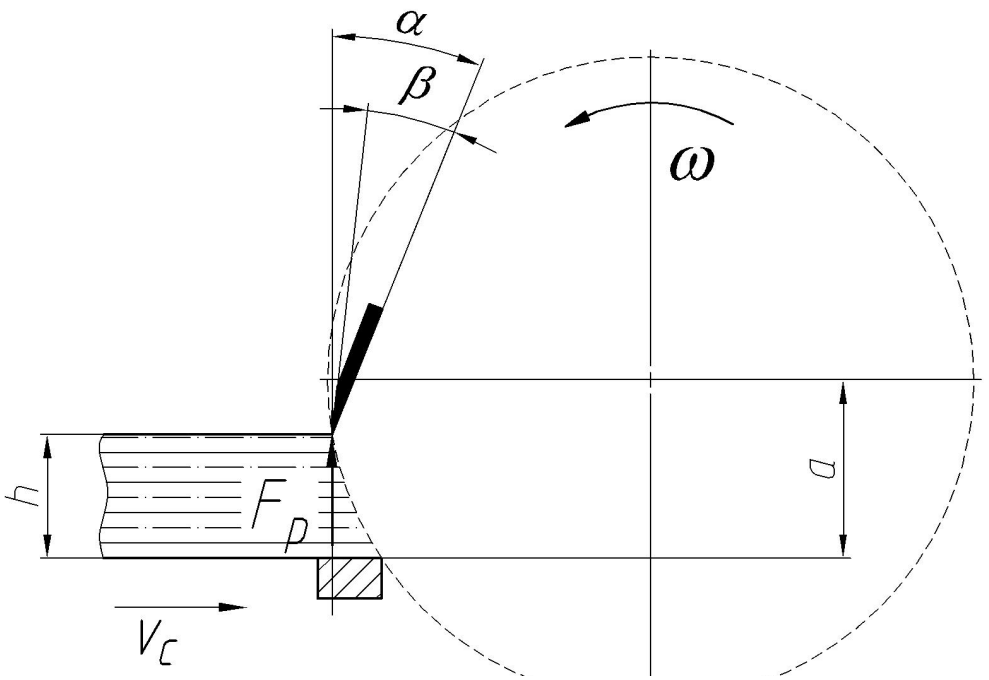


Рис. 1 – Схема установки ножа и приложения силы резания: h – высота слоя массы; a – расстояние от оси барабана до противорежущего бруса; ω – угловая скорость вращения барабана; V_C – линейная скорость движения растительной массы

Условно можно принять расположение противорежущего бруса горизонтально, тогда сила сопротивления F_P будет действовать вертикально вверх, образуя с плоскостью ножа угол α. С учетом особенности установки ножа в плоскости резания сила сопротивления должна быть учтена как распределенная по всей длине l ножа.

Для анализа деформированного состояния ножа в процессе резания силу сопротивления F_P можно разложить в виде (рис. 2):

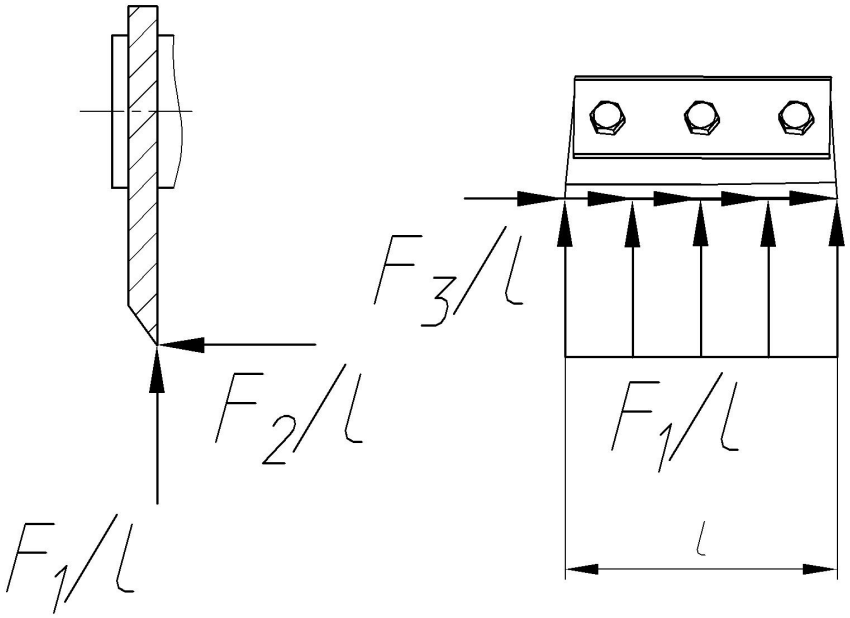


Рис. 2 – Схема приложения составляющих силы F_P к ножу

С учетом углов установки α и угла скольжения или защемления τ (наклон лезвия в плоскости резания), составляющие силы сопротивления можно определить следующими выражениями:

$$F_1 = F_p \cos\alpha \cos\tau,\ F_2 = F_p \sin\alpha,\ F_3 = F_p \cos\alpha \sin\tau.$$

Для анализа деформированного состояния ножа принималось следующее: угол заточки ножа $\beta = 33^\circ$, толщину лезвия $\delta =$ 0,2 мм (согласно техническим требованиям к ножу измельчающего барабана КВК-800).

Критическая сила резания $P_{кр}$, необходимая для того, чтобы под действием лезвия растительная масса начала разделяться на части, определяется выражением [1]:

$$P_{кр} = \delta\sigma_p + \frac{E}{2}\frac{H_{сж}^2}{H}\left[tg\beta + f\sin^2\beta + \mu\left(f + \cos^2\beta\right)\right].$$

В полученное выражение входят конструктивные параметры лезвия ножа: острота δ и угол заточки β, и кинематические параметры слоя растительной массы, подаваемого вальцами питающего аппарата: толщина H перерезаемого слоя и толщина $H_{сж}$ слоя, сжатого лезвием перед

моментом начала резания, а также ряд физико-механических параметров: модуль упругости материала E, коэффициент трения материала лезвие ножа f, разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия σ_p.

Расчеты критической силы в зависимости от остроты δ лезвия толщина $H_{сж}$ для угла заточки ножа $\beta = 33^\circ$ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критическая сила резания при угле заточки β=33º

1.1. $H_{сж}$, 1.2. мм	1.3. $P_{кр}$, Н			
	1.4. $\delta = 0{,}2$ мм	1.5. $\delta = 0{,}3$ мм	1.6. $\delta = 0{,}4$ мм	1.7. $\delta = 0{,}5$ мм
1.8. 1	1.9. 794,5	1.10. 1181	1.11. 1567	1.12. 1953
1.13. 2	1.14. 862,3	1.15. 1248	1.16. 1634	1.17. 2020
1.18. 3	1.19. 975,2	1.20. 1361	1.21. 1747	1.22. 2133
1.23. 4	1.24. 1133	1.25. 1519	1.26. 1905	1.27. 2291
1.28. 5	1.29. 1337	1.30. 1723	1.31. 2109	1.32. 2495
1.33. 6	1.34. 1585	1.35. 1971	1.36. 2357	1.37. 2743
1.38. 7	1.39. 1879	1.40. 2265	1.41. 2651	1.42. 3037
1.43. 8	1.44. 2217	1.45. 2603	1.46. 2989	1.47. 3375
1.48. 9	1.49. 2601	1.50. 2987	1.51. 3373	1.52. 3759
1.53. 10	1.54. 3030	1.55. 3416	1.56. 3802	1.57. 4188
1.58. 11	1.59. 3505	1.60. 3891	1.61. 4277	1.62. 4663
1.63. 12	1.64. 4024	1.65. 4410	1.66. 4796	1.67. 5182
1.68. 13	1.69. 4588	1.70. 4974	1.71. 5360	1.72. 5743
1.73. 14	1.74. 5198	1.75. 5584	1.76. 5970	1.77. 6356
1.78. 15	1.79. 5853	1.80. 6239	1.81. 6625	1.82. 7011

Принимаем средние показатели для расчета: толщина сжатого слоя $H_{сж}$ = 10 мм и расчетная сила сопротивления F_P = 3030 Н.

Приняв угол $\alpha = 20^\circ$ и $\alpha = 36^\circ$ и угол защемления (скольжения) $\tau = 8^\circ$ определим перемещения точек лезвия ножа по его рабочей длине. Конечно-элементная модель представлена на рис. 3 [2].

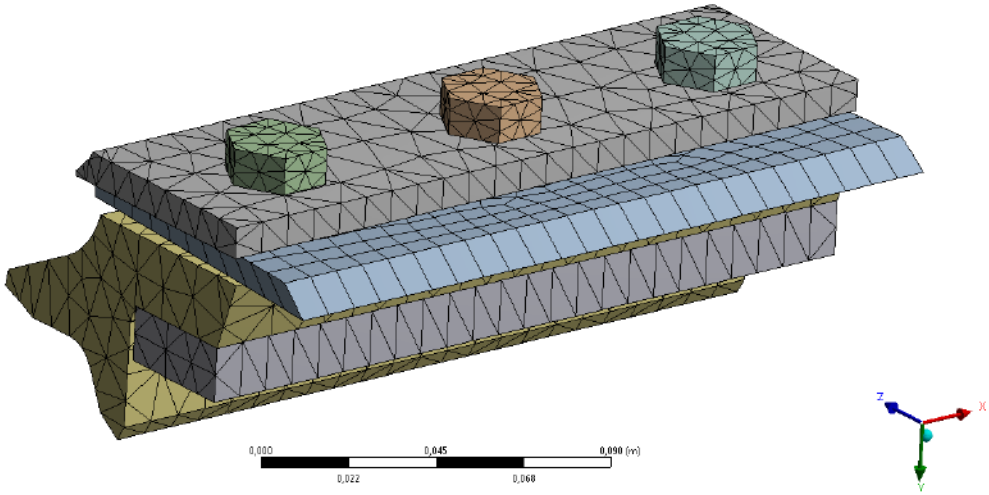
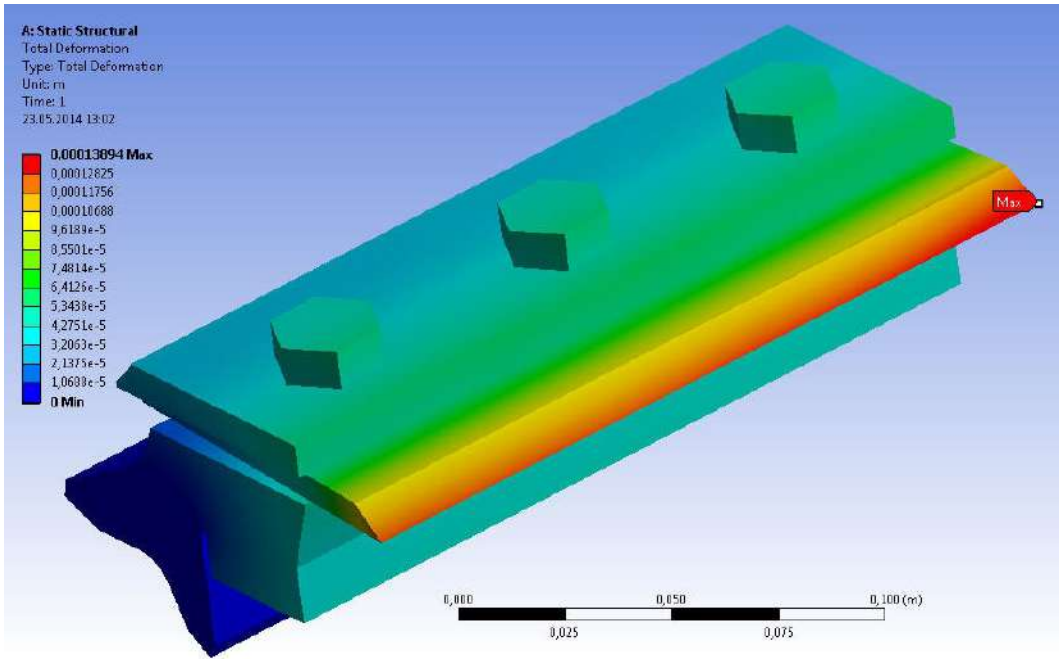
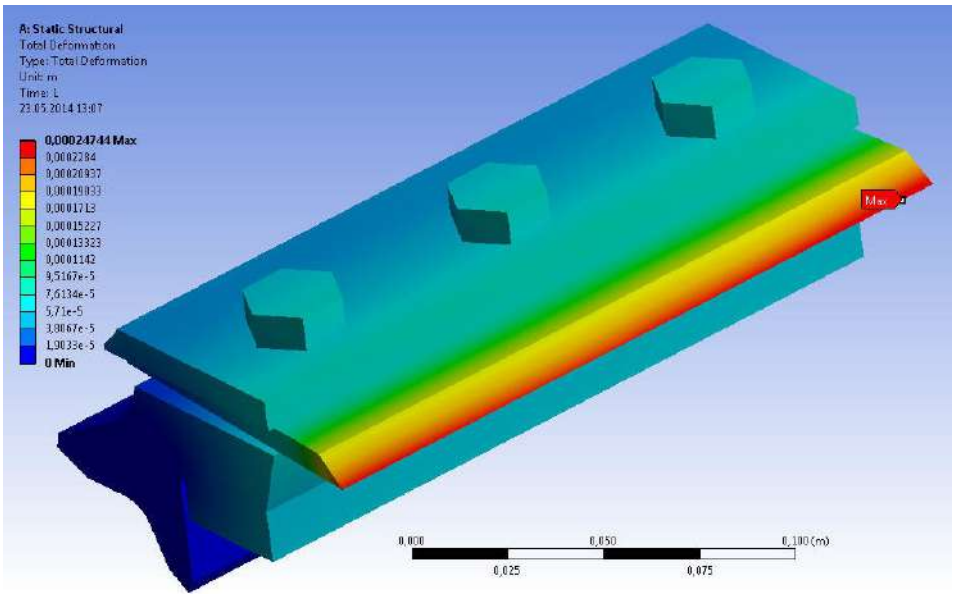


Рис. 3 – Конечно-элементная модель ножа с основанием и креплением

На рис. 4 представлены графические изображения перемещений w по длине рабочей части ножа.



$\alpha = 20^\circ$



$\alpha = 36^\circ$

Рис. 4 – Картина изолиний перемещений при угле $\tau = 8^\circ$

Результаты расчетов деформированного состояния (максимального перемещения $w_{\max}$) ножа при различных углах $\alpha = 20^\circ ... 36^\circ$ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета деформированного состояния ножа

	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 24^\circ$	$\alpha = 28^\circ$	$\alpha = 32^\circ$	$\alpha = 36^\circ$
$w_{\max}$, мм	0,138	0,167	0,194	0,222	0,247

Из рис. 4 перемещений видно, что наибольшей деформации подвержены точки лезвия ножа, так как они расположены на наибольшем удалении от защемления основание-прижимная пластина. Деформации лезвия ножа изменяются от 0,138 мм до 0,247 мм. С учетом динамических (ударных) и инерционных нагрузок деформации лезвия ножа будут возрастать, что может привести к удару ножа о противорежущий брус, увеличению усилий и энергоемкости резания. Кроме того, при увеличении толщины режущей кромки (остроты лезвия δ) и высоты сжатого лезвием слоя $H_{сж}$ будет увеличиваться и сира резания, достигая значений 7011 Н, что приведет к ухудшению деформированного состояния лезвия ножа и снижению эффективности процесса резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резник Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н.Е. Резник. – М.: «Машиностроение», 1980. – 375 с.

2. Родзевич П. Е. Влияние углов установки на напряженно-деформированное состояние ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / П.Е. Родзевич, В.В. Миренков, В.Ф. Хиженок Е.П. Шельманова // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель. – 2016. – №1. – С. 31-37.

УДК 539.3

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТАКТНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

А. П. Сазанков, С. В. Шилько, Т. В. Дробыш
Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Повышение эксплуатационных показателей машин во многом связано с эффективностью работы таких конструктивных элементов и устройств, как автомобильные шины, виброопоры, роликоопоры, сайлент-блоки, амортизаторы удара и т.п. В свою очередь, демпфирующая способность названных изделий определяется сочетанием вязких и упругих свойств применяемых в них эластомеров в виде резин и полиуретанов. В этой связи необходимы диагностические методы, позволяющие быстро измерять вязкоупругие параметры эластомерных материалов как на образцах простой геометрической формы, так и на натурных изделиях.

Весьма высокую эффективность показали экспресс-методы диагностики упруго-диссипативных свойств материалов в виде динамического механического анализа (ДМА) [1] и метода динамического контактного индентирования (ДКИ) [2]. В отличие от ДМА, метод динамического контактного индентирования является неразрушающим и может быть успешно использован для входного контроля качества эластомерных материалов и изделий на их основе, дополняя квазистатические методы механических испытаний [3, 4], например, при измерении твердости [5].

Преимуществами метода динамического контактного индентирования перед ДМА и другими диагностическими методами является возможность определения упруго-диссипативных параметров материала локальных (размером порядка 5х5 мм) зон поперечных срезов, а также поверхностных слоев изделий из эластомеров. При этом диагностику можно проводить как в заводской лаборатории, так и в полевых условиях, что важно для оперативного контроля в ходе ресурсных испытаний машин.

Экспериментальные данные в виде упруго-диссипативных характеристик, получаемых методом ДКИ, могут быть использованы не только при контроле качества изделий, но и в автоматизированном проектировании резинотехнических изделий.

Результаты исследования по оценке возможностей метода ДКИ. Важным этапом апробации метода динамического контактного индентирования является оценка его применимости для исследования различных эластомерных материалов при вариации формы испытуемых образцов. С этой целью была выполнена контактная диагностика семи образцов (изделий) из наиболее распространенных эластомерных материалов в виде резины и полиуретана (ПУ), показанных на рис. 1, часть которых является эталонными и входят в комплект мер твердости статического твердомера ТВР-DM (Россия) [6]. При этом определялась твердость по Шору А и Шору D, а также тангенс угла механических потерь эластомерных материалов, существенно различающихся по модулю упругости (низко-, средне и высокомодульных) на образцах различной формы, включая:

– резиновый диск толщиной h = 10,2 мм и диаметром D = 79,8 мм с центрально расположенным отверстием диаметром d = 14,8 мм;

– резиновый сплошной диск из резины толщиной h = 20,0 мм и диаметром D = 59,3 мм, плотно вставленный в стальное кольцо;

– пластина оранжевого цвета из низкомодульного ПУ толщиной h = 7,4 мм, шириной b = 50,7 мм, длиной L = 50,7 мм из набора эталонов к твердомеру ТВР-DM;

– пластина серого цвета из среднемодульного ПУ толщиной h = 7,3 мм, шириной b = 51 мм, длиной L = 51 мм из набора эталонов к твердомеру ТВР-DM;

– заготовка светло-серого цвета из ПУ приблизительно призматической формы толщиной h = 14,7 мм, шириной b = 40 ± 2 мм и длиной L = 114 ± 2 мм;

– зона среднемодульной шинной резины на поперечном срезе автомобильной шины;

– зона высокомодульной шинной резины на поперечном срезе шины.

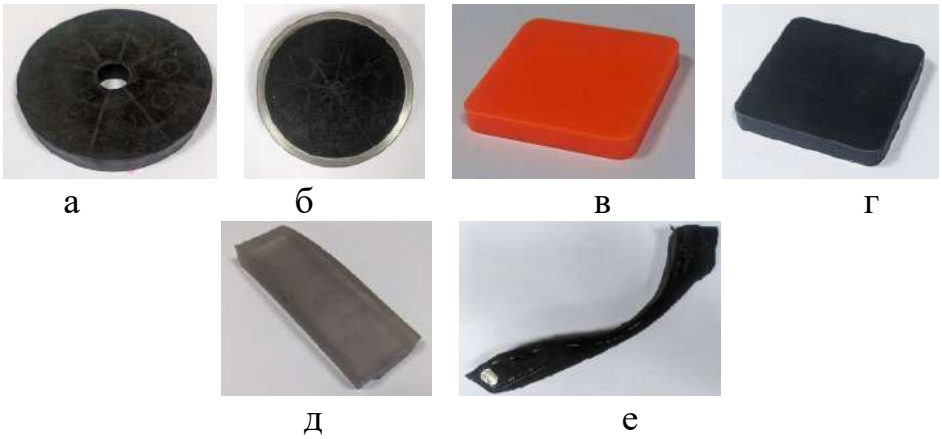


Рис. 1 – Резиновый диск с центральным отверстием (а); резиновый диск в стальном кольце (б); пластина из низкомодульного ПУ (в); пластина из среднемодульного ПУ (г); заготовка из высокомодульного ПУ (д); поперечный срез автомобильной шины с зонами (слоями) среднемодульной и высокомодульной шинной резины (е)

Индентирование каждого образца производилось в пяти зонах поверхности с последующим усреднением результатов пяти измерений в каждой зоне.

На приборе ТВР-DM (Россия), показанном на рис. 2, определялась статическая твердость вышеуказанных материалов по Шору D. Средние значения получены по пяти измерениям (индентированиям) поверхности образца и представлены в таблице 1.

В таблице 1 и на рис. 3 также представлены значения твердости по Шору А, определенные прибором ДКИ-3, показанном на рис. 2, б.



а б

Рис. 2 – Внешний вид прибора ТВР-DM (а) и прибора ДКИ-3 (б)

Для сравнения твердости по Шору А и Шору D можно воспользоваться соответствующей переходной таблицей.

В таблице 1 и на рис. 3 представлены значения тангенса механических потерь вышеперечисленных материалов, определенные прибором ДКИ-3.

Таблица 1 - Значения твердости и тангенса механических потерь ряда эластомеров

Параметр	Характеристика объекта исследования (образца)						
	Диск с отверстием из резины	Диск из резины	Пластина из низко-модульного ПУ	Пластина из средне-модульного ПУ	Заготовка из высоко-модульного ПУ	Средне-модульная шинная резина	Высоко-модульная шинная резина
	1	2	3	4	5	6	7
Твердость по Шору А, ед.	66	81	59	77	85	70	81
Твердость по Шору D, ед.	18	33	13	30	33	25	34
Тангенс угла механических потерь	0,154	0,235	0,083	0,111	0,332	0,154	0,201

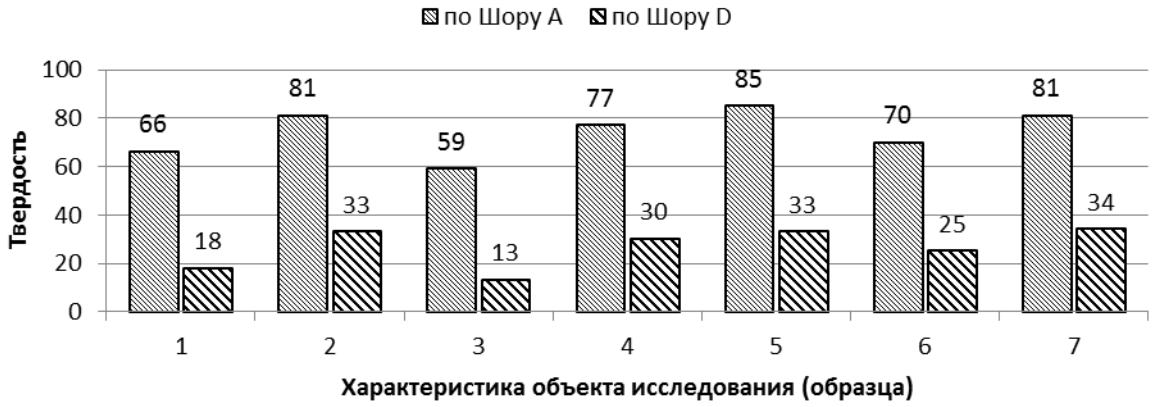


Рис. 3 – Сопоставление эластомерных материалов по твердости в единицах Шора А и D

Из таблицы 1 видно, что твердость полиуретана (пластина оранжевого цвета) изменяется от 59 ед. по Шору А (низкомодульный полиуретан) до 85 ед. (высокомодульный полиуретан). Для резинового диска с отверстием твердость по Шору А составляет 66 ед., а для образца резины в виде сплошного диска она достигает 81 ед. Твердость среднемодульной шинной резины 70 ед. близка к твердости материала диска с отверстием, а твердость высокомодульной шинной резины совпадает с твердостью материала сплошного диска, равной 81 ед.

Твердость полиуретана по Шору D изменяется от 13 ед. (низкомодульный полиуретан) до 33 ед. (высокомодульный полиуретан). Твердость резины по Шору D, измеренная на образце в виде диска с отверстием составляет 18 ед., а на образце в виде сплошного диска – 33 ед. Твердость среднемодульной шинной резины равна 25 ед., а для высокомодульной шинной резины – 34 ед., что близко к твердости резины, из которой изготовлен образец в виде сплошного диска.

На рис. 4 показаны результаты измерения значения тангенса механических потерь всех испытанных эластомерных материалов. Из рис. 4 видно, что тангенс угла механических потерь для образцов из полиуретана изменяется в широких пределах: от 0,083 (низкомодульный полиуретан) до 0,332 (высокомодульный полиуретан). Для резины образца в виде диска с отверстием тангенс угла механических потерь составляет 0,154, а для резины образца в виде сплошного диска – 0,235. Для среднемодульной шинной резины значение этого параметра равно 0,154 (как для резины образца в виде диска с отверстием), у высокомодульной шинной резины значение этого параметра 0,201 немного меньше, чем полученное для резинового образца в виде сплошного диска.

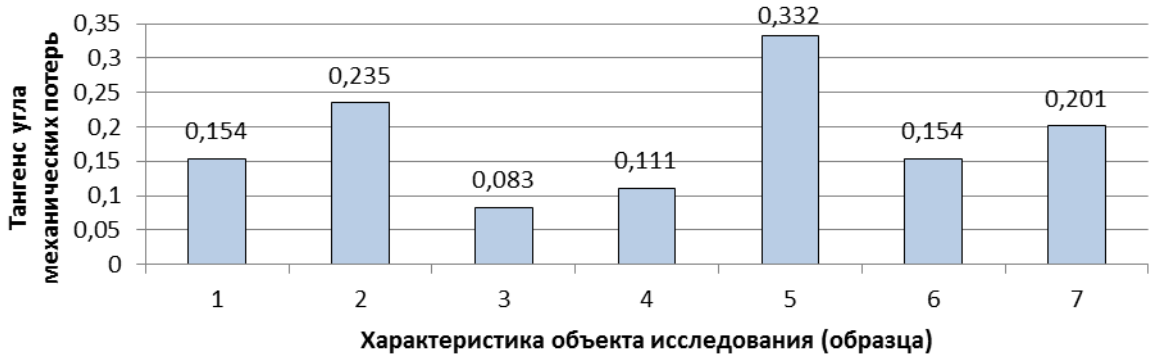


Рис. 4 – Сопоставление испытанных материалов по диссипативным свойствам (тангенсу механических потерь)

Заключение. С использованием измерителя ИПМ-1К выполнена контактная диагностика ряда эластомеров, включая полиуретан и резину различной твердости. Полученные характеристики (статическая и динамическая твердость, тангенс угла механических потерь и другие физико-механические параметры) позволяют изучить особенности упруго-диссипативных свойств указанных материалов, определяющие качество резинометаллических шарниров, виброопор, амортизаторов удара и других изделий на их основе. Это свидетельствует о применимости и эффективности метода динамического контактного индентирования для контроля качества эластомерных материалов и изделий, а также получения исходных данных для проектировочных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 6721-7:2019. Plastics — Determination of dynamic mechanical properties. Part 7: Torsional vibration — Non-resonance method.

2. Рудницкий В. А., Крень А. П. Испытание эластомерных материалов методами индентирования. – Минск: Беларуская навука, 2007. – 227 с.

3. Рудницкий В. А., Крень А. П., Шилько С. В. Оценка свойств эластомерных материалов при постоянной скорости индентирования // Трение и износ. – 2001. – Т. 22, № 5. – С. 502–508.

4. Wang L., Liu X. Characterization of viscoelastic materials by quasi-static and dynamic indentation // Measurement Science and Technology. – 2014. – Т. 25. – №. 6. – С. 064017.

5. Umanskii A. et al. Modification of the Leeb impact device for measuring hardness by the dynamic instrumented indentation method // Inventions. – 2022. – Т. 7. – №. 1. – С. 29.

6. Статический твердомер ТВР-DM.

УДК 621.634

РЕВЕРСИВНЫЙ ВЕНТИЛЯТОР ОЧИСТКИ РАДИАТОРА САМОХОДНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ

В. С. Шиш, А. Н. Тумаров, А. В. Ермак
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В работе рассмотрена одна из проблем, связанных с эксплуатацией сельскохозяйственной техники – загрязнение сетки воздухозаборника и сот радиатора. Предложены пути решения проблемы очистки сетки воздухозаборника и сот радиатора от измельченных частиц растительной массы при работе уборочной сельскохозяйственной техники

Введение

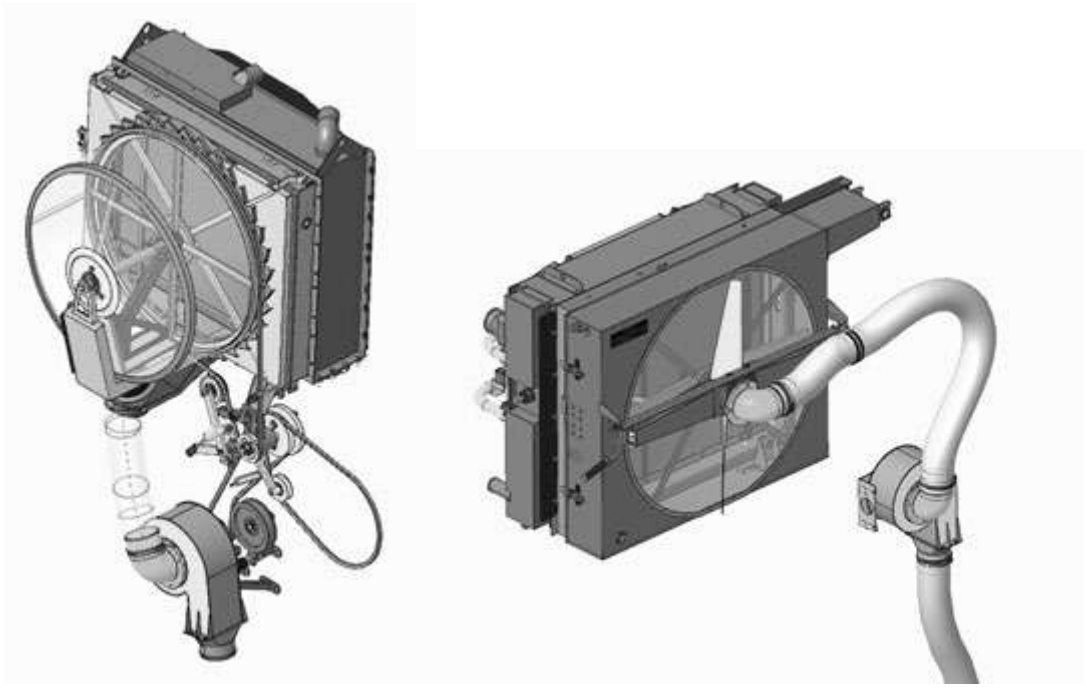
Эксплуатация комбайнов в условиях с высокой запыленностью воздуха окружающей среды минеральными и растительными частицами во время выполнения технологического процесса. Общие требования к системе очистки сетки воздухозаборника и сот радиаторов. Верификация конструкций системы очистки сетки воздухозаборника блока радиаторов с применением реверсивного вентилятора.

Объект исследования – Система очистки сетки воздухозаборника и сот радиаторов с реверсивным вентилятором.

Цель исследования – разработка реверсивного вентилятора для применения на сельскохозяйственных машинах в качестве системы охлаждения и очистки сетки воздухозаборника и сот радиатора.

Методология исследований: системный анализ, сравнительный анализ.

В настоящее время на сельскохозяйственной технике, в том числе на самоходных зерноуборочных комбайнах применяется схема охлаждения радиатора, включающая воздухозаборник с системой очистки сетки воздухозаборника. В мировой практике применяется активная система очистки сетки воздухозаборника с активным приводом (рис. 1 а) или пассивным приводом (рис. 1 б). При активном приводе - вращение сетки (или затенителя с воздухозаборником) приводится при помощи механического или гидравлического привода. При пассивном приводе - вращение затенителю с воздухозаборником придается при помощи набегающего потока воздуха, создаваемого вентилятором охлаждения.



а) б)

Рис. 1 – Система очистки сетки воздухозаборника: а) с активным приводом; б) с пассивным приводом.

При работе вентилятора охлаждения двигателя создается воздушный поток, проходящий через соты радиатора, благодаря чему и происходит охлаждение блока радиаторов. С целью увеличения интервала очистки сот блока радиаторов, используют крупные размеры ячейки между охлаждающими пластинами. Так на КЗС-1218А-1 в радиаторе применены охлаждающие пластины которые образуют прямоугольную ячейку размером 3,5х9,4 мм (32,9мм2)

Для защиты радиатора от засорения, перед ним устанавливается воздухозаборник с сеткой, которая представляет собой плетеную сетку. В плетеной сетке ячейка на просвет составляет 1,6х1,6 мм (2,56 мм2) и диаметром проволоки 0,4мм, или перфорированное полотно в котором отверстия выполнены в виде окружности диаметром 2мм (3.14 мм2) или соразмерным шестигранником [1], при этом процент пропуска воздуха через такой экрана составляет 64%, 50% и 58% соответственно.

Описание проблемы и результаты исследований.

При работе комбайна, ни смотря на установку сетки с активной очисткой перед фронтом радиатора, мелкодисперсные фракции убираемой культуры, образующиеся при уборке самоходным комбайном, оседают в ячейках радиатора (рис. 2), со временем уменьшая их проходное сечение, это приводит к ухудшению охлаждения двигателя. Так же увеличивается сопротивление воздушному потоку перед фронтом радиатора, что в свою очередь увеличивает мощность, которую необходимо затратить на привод

вентилятора. Эти факторы влияют как на операционное время работы комбайна, так и на топливную эффективность двигателя.



Рис. 2 – Забивание сот сетки радиатора

Очевидно, что механизатору периодически необходимо производить очистку радиатора. Наиболее эффективно и быстро очистка производиться с помощью продувки радиатора сжатым воздухом.

Для повышения эффективности систем очистки и охлаждения моторных установок самоходных сельскохозяйственных машин с целью увеличения операционного времени работы сельхозмашины за счет автоматической автономной (без участия оператора) очистки воздухозаборника и сот блока радиаторов двигателя разработана конструкция осевого вентилятора тянущего типа производства ОАО «Гомсельмаш», с возможностью реверсирования воздушного потока без изменения направления вращения, за счет механизма синхронного поворота лопастей на заданный угол, который выдувает скопившиеся на ячейках сот радиаторов и сетки воздухозаборника растительные частицы [2].

Реверсивный вентилятор работает следующим образом: для охлаждения двигателя устанавливается осевой вентилятор 1 тянущего типа с возможностью реверсирования воздушного потока. Перед блоком радиаторов 2 устанавливается сетка 3. В тянущем режиме работы вентилятора создается воздушный поток 4, при котором на сетку 3 и блок радиаторов 2 оседают частицы мусора 5. При забивании блока радиаторов 2 и сетки радиатора 3, активируется исполнительная система 6 кнопкой 7 (в ручном режиме) или запрограммированным электронным блоком 8 (в автоматическом режиме), подается рабочая среда (сжатый воздух или

гидравлическая жидкость) в полость вентилятора для активации функции реверсирования. Вентилятор 1 изменяет направление воздушного потока на противоположный воздушный поток 9, который выдувает частицы мусора 6 с блока радиаторов 2 и сетки 3.

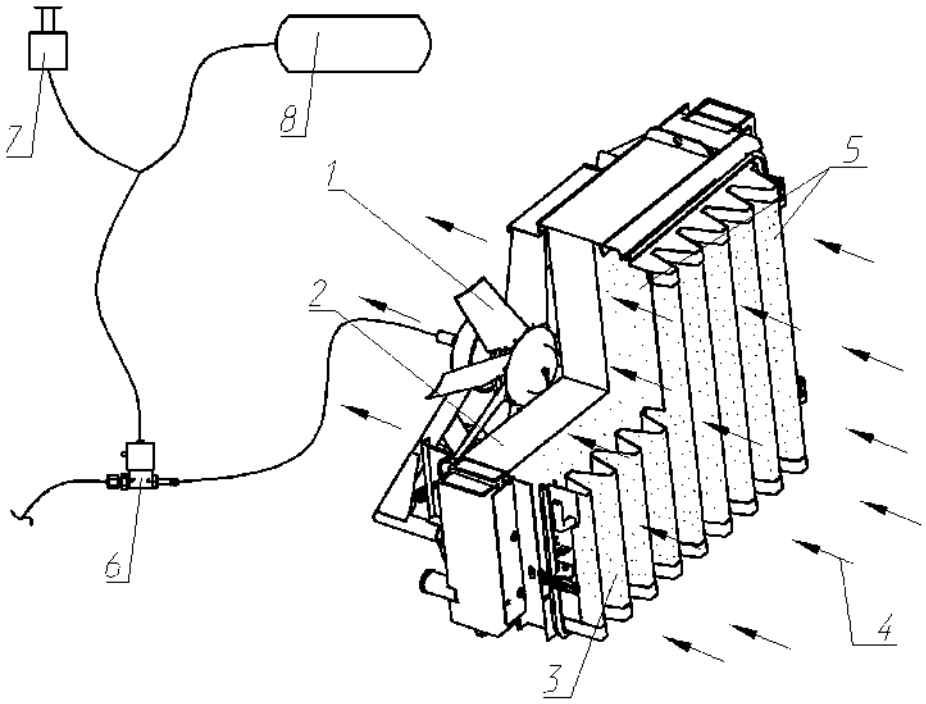


Рис. 3 – схема работы системы очистки с применением реверсивного вентилятора в тянущем режиме.

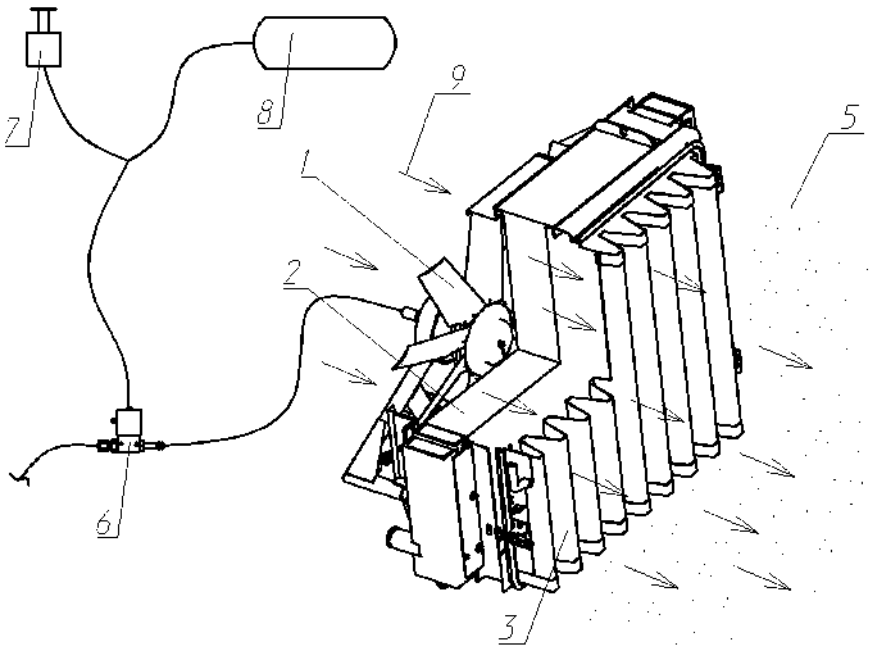


Рис. 4 – схема работы системы очистки с применением реверсивного вентилятора в режиме реверса.

Заключение

Результатам работы по улучшению системы очистки сетки и сот радиатора является разработка и выдача в производство конструкторской документации на изготовление партии реверсивных вентиляторов, проведение прочностных расчетов особо нагруженных элементов реверсивного вентилятора (лопасть, рейка), изготовление опытных образцов и проведение стендовых испытаний.

По результатам стендовых испытаний реверсивного вентилятора, наработка на отказ составила 11556 циклов реверсирования, что при средней наработки комбайна 500 мч и средней частоте включения реверса 1 раз в 30 мин, составит 11,5 лет работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Листы перфорированные «Перфоком». Технические условия. ТУ 1812-001-50336739-2008. Изд-во ООО «Перфоком», 2008. – 4, 5, 16 с.

2. Система очистки воздухозаборника радиаторов двигателя: полез. Модель BY 13282 U / С.А. Федорович, А.А. Новиков, А.С. Шантыко, О.В. Рехлицкий, А.А. Дакука, А.Н. Тумаров, В.С. Шиш – Опубл. 30.08.2023г.

УДК 631.333 –189.2

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. А. Жешко
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь

Метод дискретных элементов в настоящее время набирает популярность при обосновании рабочих органов сельскохозяйственных машин [1, с.348-360; 2, с.249-259; 3, с.82-101]. Применительно к машинам для внесения твердых минеральных удобрений метод дискретных элементов подходит для обоснования параметров бункеров, подающих устройств, механизмов выравнивания, распределяющих рабочих органов, устройств ветрозащиты и других узлов, где приходится учитывать взаимодействие между отдельными частицами удобрений и конструктивными элементами машин [4, с. 151-163]. Кроме того, рабочие органы машин для внутрипочвенного внесения взаимодействуют с почвой, которая также состоит из множества дискретных частиц.

Внутрипочвенное внесение жидких и твердых минеральных удобрений является одним из наиболее эффективных приемов повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Неравномерность распределения удобрений при этом не превышает 10 % [5], а в почве образуются концентрированные зоны питательных элементов, что создает благоприятные условия для питания и развития культурных растений.

В отличие от разбросного способа внесения, после которого требуется осуществлять дальнейшую заделку, внутрипочвенное внесение позволяет размещать удобрения непосредственно в зону питания растений, что сводит к минимуму неконтролируемое перемешивание удобрений с почвой, что приводит к переходу фосфора в труднодоступное для растений состояние. За счет заделки удобрений на оптимальную глубину при внутрипочвенном внесении сокращаются потери газообразного азота, а процесс обменного поглощения почвой как азота, так и калия не замедляется.

Эффективность внутрипочвенного внесения минеральных удобрений зависит от механического состава почв, влагообеспеченности, плодородия, вида форм и доз вносимых удобрений, вариантов размещения их в почве и целого рада дополнительных факторов.

Почва, как и твердые минеральные удобрения, представляет собой трехфазную дисперсную среду, которая объединяет в себе твердую, жидкую и газообразную составляющие. Кроме того, в почве присутствуют живые организмы и имеются растительные остатки, что оказывает влияние на вариабельность физико-механических свойств.

Твердая составляющая почвы содержит включения в виде мелкозема, размерные характеристики которого не превышают 1 мм, а также каменистые включения размером более 1мм, которые называют «скелетом» почвы. Отношение массы каменистых включений к массе мелкозема в процентном выражении является характеристикой каменистости почвы. Содержание камней в не каменистых почвах составляет менее 0,5 %. К сильнокаменистым почвам относят содержащие более 10 % камней.

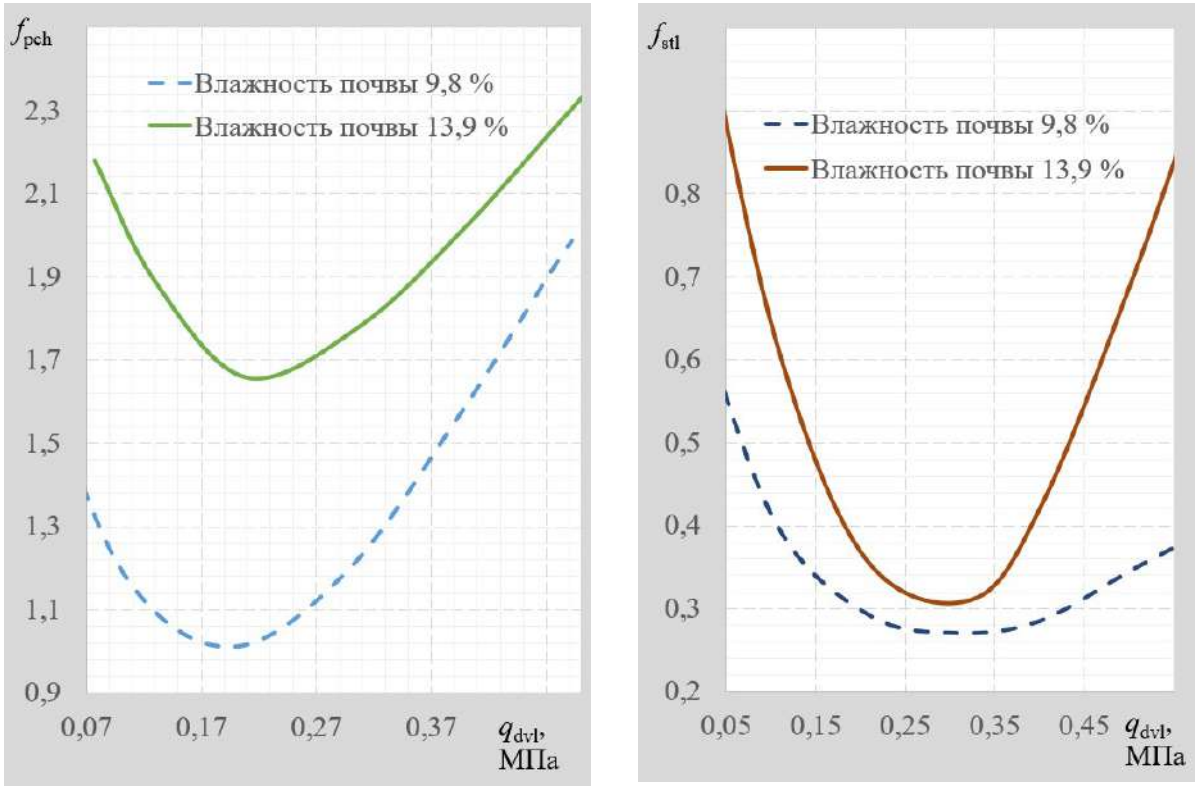
Физико-механические свойства характеризуют строение и состояние почвы, в то время как в процессе силового взаимодействия с рабочими органами для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений проявляются технологические свойства почвы. Технологическим свойствами можно характеризовать липкость, связанность, упругость, твердость, пластичность, абразивные и фрикционные свойства, а также гигроскопичность. Плотность, влажность, однородность и размерные показатели относятся к физико-механическим свойствам почв.

Жидкой составляющей почвы является вода, а также растворы различных веществ. Газообразная составляющая представлена воздухом, метаном или аммиаком и может находится в свободном состоянии в пустотах или быть закупоренной (размер частиц более 10^{-2} мм) (размер от 10^{-2} до 10^{-4} мм), размер которых составляет менее 10^{-4} мм.

Почвы делятся на глинистые (содержанием более 50 % физической глины), суглинистые (50 – 20 %), супесчаные (20 – 10 %), песчаные (менее 10% глины).

При взаимодействии рабочих органов машин для внутрипочвенного внесения удобрений с почвой возникает препятствующая перемещению сила внешнего трения, вектор которой противоположен направлению перемещения рабочего органа относительно почвы, а модуль численно изменяется в пределах от 0 до максимального значения $F_{\text{pch}}^{\max}$. Величина максимального значения силы трения $F_{\text{pch}}^{\max}$ обусловлена радом факторов, в числе которых фракционный состав, влажность почвы и другие параметры.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициентов трения почвы от давления и влажности [6, с. 27].



а) трение о почву

б) трение о сталь

Рис. 1 – Зависимости коэффициентов трения почвы от давления и влажности

Из рис. 1 видно, что коэффициент внутреннего трения превышает значение коэффициента внешнего трения о сталь в близких диапазонах давления на почвенный слой и аналогичных значениях влажности.

В таблице 1 приведены значения некоторых параметров моделирования методом дискретных элементов [7, с. 1 – 19]. Для изучения контактного взаимодействия использовалась модель Герца–Миндлина (Hertz-Mindlin).

Допущениями данной модели являются:

– взаимодействие между частицами приводит к возникновению касательной силы по причине сжатия;

– отсутствует скольжение между частицами по поверхности их контакта.

Таблица 1 – Значения некоторых параметров моделирования методом дискретных элементов [7, с. 1 – 19]

Показатель	Материал	Значение показателя
Плотность, кг/м^3	удобрения	1575
	почва	2500
	сталь	7865
	ABS пластик	1200
Модуль сдвига, Па	удобрения	$1{,}25 \times 10^8$
	почва	$1{,}00 \times 10^8$
	сталь	$7{,}90 \times 10^{10}$
	ABS пластик	$1{,}0 \times 10^9$
Коэффициент Пуассона	удобрения	0,25
	почва	0,30
	сталь	0,37
	ABS пластик	0,40
Коэффициент восстановления	удобрения-удобрения	0,09
	удобрения-сталь	0,50
	удобрения- ABS пластик	0,40
	удобрения-почва	0,02
	почва-почва	0,50
	почва-сталь	0,30
Статический коэффициент терния	удобрения-удобрения	0,30
	удобрения-сталь	0,40
	удобрения- ABS пластик	0,20
	удобрения-почва	0,02
	почва-почва	0,50
	почва-сталь	0,30
Динамический коэффициент трения	удобрения-удобрения	0,25
	удобрения-сталь	0,02
	удобрения- ABS пластик	0,09
	удобрения-почва	1,25
	почва-почва	0,15
	почва-сталь	0,05

Из таблицы 1 видно, что для моделирования сложных технических систем необходимо владеть информацией о физико-механических свойствах сыпучих материалов, в особенности такими показателями как статический и динамический коэффициенты трения, коэффициенты восстановления, Пуассона и модуль сдвига.

На рис. 2 представлена имитационная модель процесса внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений.

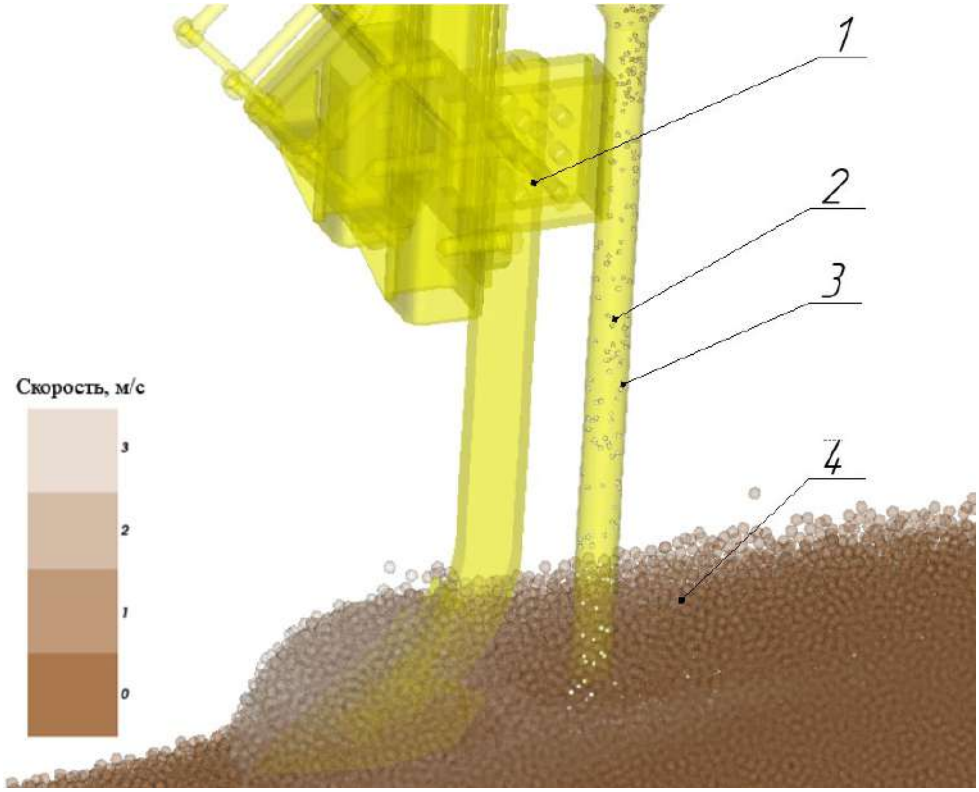


Рис. 2 – Имитационная модель процесса внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений: 1 – моделируемый рабочий орган; 2 – тукопровод; 3 – частицы удобрений; 4 – частицы почвы

Перспективным направлением для исследования и обоснования параметров рабочих органов машин для внесения удобрений является метод дискретных элементов. Применение данного метода требует учитывать внутренне взаимодействие частиц удобрений, а также внешнее их взаимодействие с поверхностями рабочих органов. В случае имитационного моделирования машин для внутрипочвенного внесения удобрений требуется дополнительно указывать параметры и коэффициенты указывающие на взаимодействие между частицами почвы и удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Liedekerke P. V. DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader / P.V. Liedekerke, E. Tijskens, E. Dintwa, J. Vangeyte, H. Ramon / Powder Technology. – 190. – 2009. – p. 348–360.

2. Yinyana S. Numerical simulation of spreading performance and distribution pattern of centrifugal variable-rate fertilizer applicator based on DEM software / Shi Yinyana, Chen Manb, Wang Xiaochana // Computers and Electronics in Agriculture. – 144. – 2018. – p. 249 – 259.

3. Arturo M. R. Model and Software for the Parameters Calculation in Centrifugal Disk of Fertilizer Spreaders / M.R. Arturo, M.V. Gómez-Águila, M.S. Escobar // Ciencias Técnicas Agropecuarias. – 2021. – Vol. 30. – №.1. – p. 82 – 101.

4. Angel P. Auger-type granular fertilizer distributor: mathematical model and dynamic simulation / P. Angel, N. Garcia, Nelson //Eng. Agríc., Jaboticabal. – 2012. – v.32. – n.1. – p.151-163.

5. Барановский, И. В. Повышение эффективности применения минеральных удобрений на основе механизации внутрипочвенного их внесения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / И.В. Барановский; РУП «Белорусский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства». – Минск, 2001.

6. Ковалев Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев // – М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. – 208. с., ил. 113.

7. Weiwei W. Development and Numerical Simulation of a Precision Strip-Hole Layered Fertilization Subsoiler While Sowing Maize / W. Weiwei, S. Jiale, Z. Guoan, Q. Longzhe , Z. Chunling, C. Liqing // Agriculture 2022, 12, 938. p. 1 – 19.

УДК 004.42:631

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

А. А. Жешко[1], А. В. Ленский[1], В. И. Володкевич[1], Н. Д. Янцов[2]
[1]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь,
[2]УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь

Имитационное моделирование представляет собой процесс создания и последующего анализа цифрового прототипа физической модели с целью изучения ее интересующих свойств и параметров. При этом имитационная модель должна точно описывать физическую модель, что позволяет получать необходимую информацию о изучаемой системе путем проведения экспериментов. Если результаты экспериментов над имитационной и физической моделями имеют минимальное расхождение, то построенная модель считается адекватной [1].

Существует несколько принципов, на которых можно строить модели. Например, моделирование систем с дискретными событиями, системная динамика, построение динамических систем, а также агентное моделирование [2].

Дискретно-событийное моделирование характерно для систем с иерархической последовательностью технологических операций. Системная динамика подходит для исследования сложных систем и данный метод можно комбинировать с дискретно-событийными моделями. Агентное моделирование позволяет исследовать свойства отельных агентов и изучать их воздействие на всю систему. Данный подход можно реализовать совместно с другими методами имитационного моделирования.

Анализ литературных источников [1-4] показал, что изучение процессов, связанных с механизацией сельскохозяйственного производства, проводится комбинированными методами, основанными на подходах агентного моделирования. В этой связи для исследования процесса уборки зерновых культур использовалась доработанная агентная модель Harvest Simulator [4] с уточненными параметрами и условиями выполнения технологического процесса. Модель состоит из агента верхнего уровня Main, на диаграмме которого располагаются геометрические примитивы, обозначающие рабочий участок, места стоянки техники и другие объекты. Агентами являются зерноуборочный комбайн, перегрузчик зерна, который осуществляет забор материала от комбайна в поле и его транспортировку к месту перегрузки, а также

зерновоз, который доставляет материал к месту послеуборочной доработки.

На рис. 1 представлена диаграмма состояния процесса движения комбайна, для которой характерны следующие состояния:

– находится в состоянии покоя на стоянке на машинном дворе;

– движется к полю в начале смены;

– осуществляет движение по убираемому полю (вложенные состояния отвечают за движение комбайна в необходимом направлении);

– приостанавливается в момент заполнения бункера в ожидании перегрузчика зерна;

– движется к стоянке по завершению уборки рабочего участка.

Параллельно с диаграммой состояния движения комбайна выполняется контроль за наполнением его бункера (рис. 2). При этом для диаграммы наполнения бункера в момент уборки характерны состояния:

– заполнение бункера;

– ожидание перегрузчика;

– перегрузка материала с одновременным заполнением бункера при движении с перегрузчиком.

Согласно плану моделирования начальной точке соответствует левый нижний угол прямоугольника, обозначающего рабочий участок. Поэтому, для определения координаты начала рабочего хода используется выражение

$$\begin{cases} x = x_P + B / 2 \\ y = y_P + L \end{cases}, \tag{1}$$

где x_P, y_P – координаты точки, определяющей положение прямоугольника на диаграмме типа агента Main;

B – ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна, м.

При инициализации модели комбайн находится на стоянке, а затем начинает перемещение к полю. Поэтому при запуске модели вычисляются координаты положения центра фигуры, которая обозначает место стоянки.

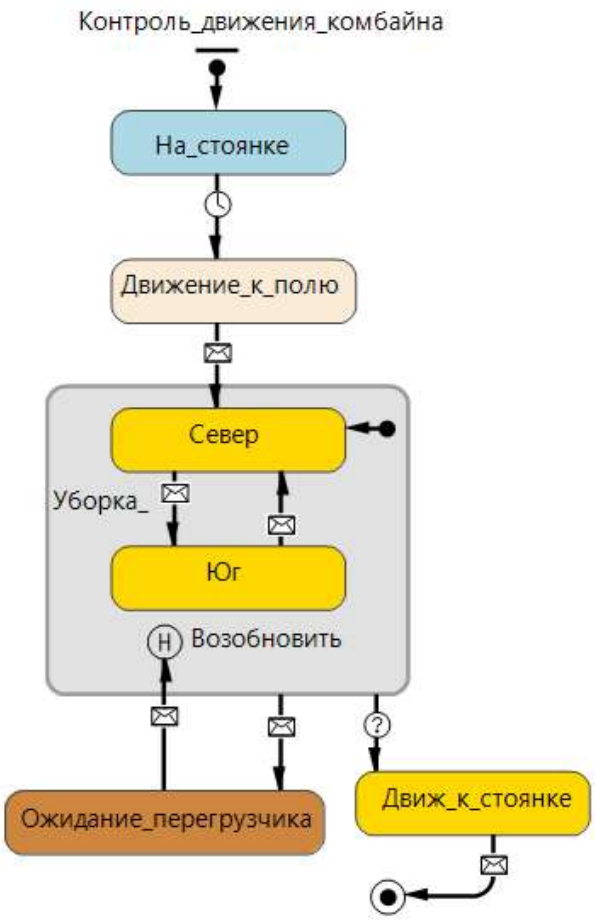


Рис. 1 – Диаграмма состояния движения комбайна

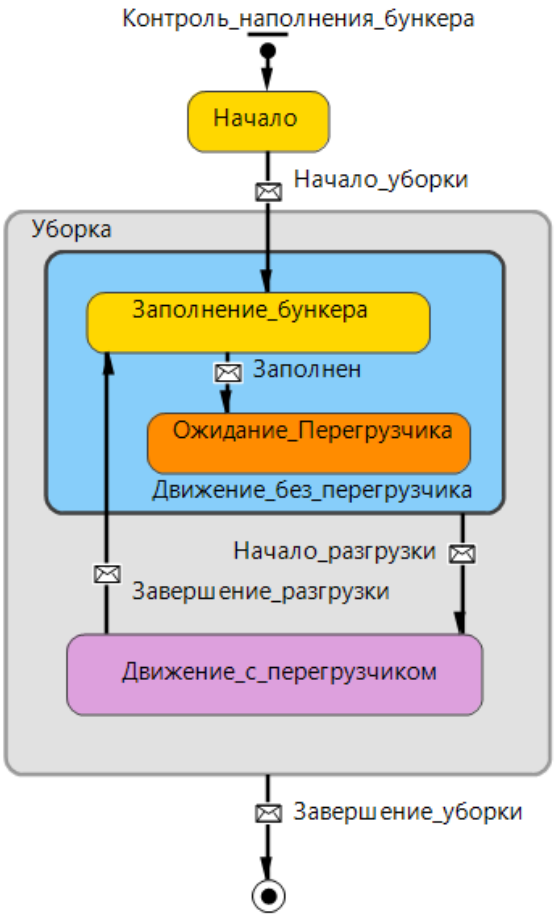


Рис. 2 – Диаграмма состояния наполнения бункера комбайна

Переходы в различные состояния во время движения комбайна и наполнения его бункера осуществляются при получении сообщений, которые генерируются во время моделирования в коде переходов и состояний. Переход из состояния пребывания на стоянке к движению к полю осуществляется с помощью перехода по таймингу без задержки. Выход из состояния уборки начало движения к стоянке осуществляется с помощью перехода по выполнению условия

$$x \geq x_p + A + B/2\ , \qquad (2)$$

где A – ширина прямоугольника, обозначающего границы рабочего участка, м.

Поскольку на диаграмме типа агента Main поле задается с помощью графического примитива – прямоугольника, положение которого определяется координатами его верхнего правого угла, для отображения на поле в случайном порядке точек, обозначающих хлебостой используются прямоугольники с координатами x_{hi}, y_{hi}. При запуске модели их координаты генерируются в случайном порядке функцией uniform

$$f(x_{hi}) = \frac{1}{A-2}, \quad 0 < x_{hi} < A-2,$$
$$f(y_{hi}) = \frac{1}{L-2}, \quad 0 < y_{hi} < L-2, \tag{3}$$

где L – длина гона (высота прямоугольника), м.

Диаграмма, характеризующая процесс движения перегрузчика, представлена на рис. 3. Основными состояниями являются: ожидание команды, поступающей с диаграммы движения комбайна в момент его остановки; загрузка с одновременным движением с комбайном с учетом изменения направления его движения для чего служит внутренний переход; движению к месту перегрузки, которое осуществляется при условии срабатывания сразу трех переходов при получении сообщений с других диаграмм. Состояние, когда данный агент находится на перегрузке состоит из вложенных состояний – ожидание зерновоза и перегрузка зернового материала, переход между которыми осуществляется по таймингу с дополнительным условием, а также при получении сообщений.

Диаграмма, характеризующая процесс движения агента зерновоза, представлена на рис. 4. Данный агент находится на месте перегрузки и имеет два вложенных состояния: загрузки, когда перегрузчик подвозит новую порцию материала и его ожидания, при движении перегрузчика в поле за новой партией материала. Переходы осуществляются при получении сообщений с элементов диаграмм состояния. Когда кузов зерновоза заполнен, он перемещается к месту послеуборочной обработки зерна и после разгрузки возвращается обратно. Данные события отражены на диаграмме состояния в виде блоков: подготовка к переезду, выгрузка и возвращение.

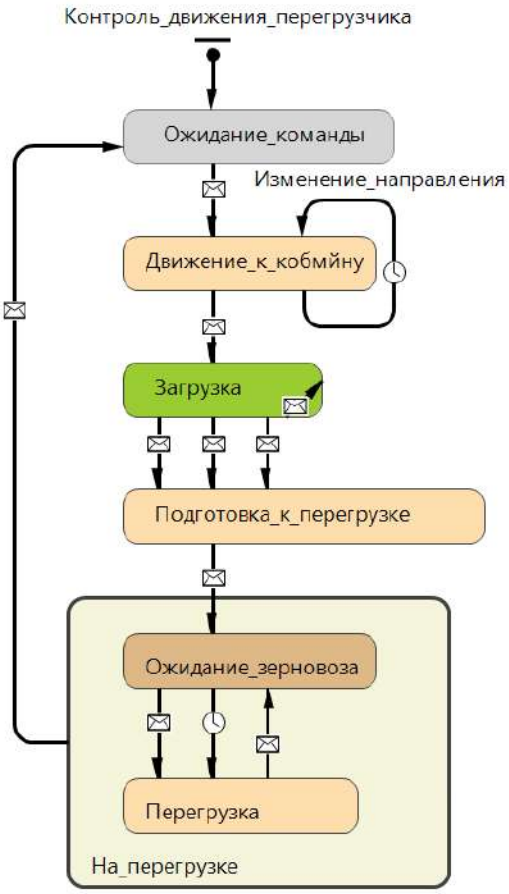


Рис. 3 – Диаграмма состояния процесса движения перегрузчика

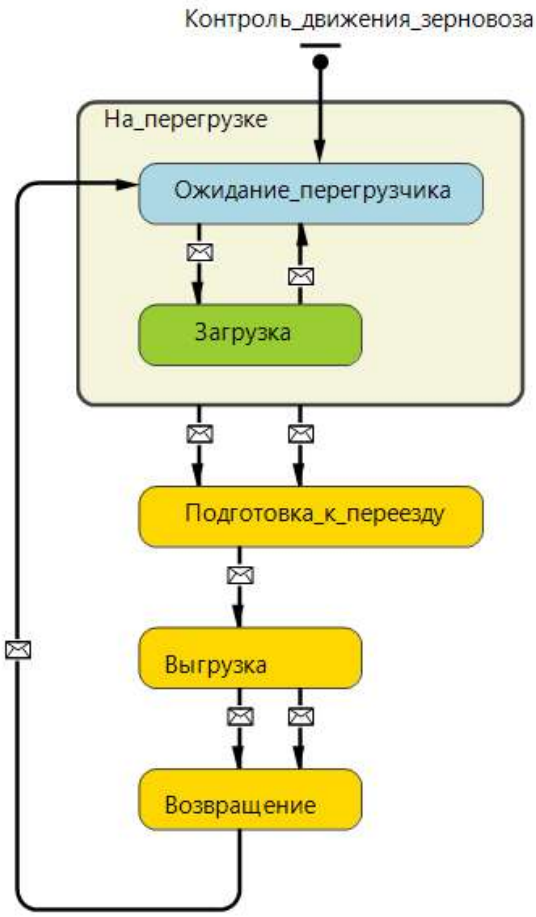


Рис. 4 – Диаграмма состояния процесса движения зерновоза

Для дополнительного контроля за состоянием наполнения бункера комбайна, а также кузовов перегрузчика и зерновоза используются элементы библиотеки моделирования потоков. Для этих целей используется элемент Tank (бункер) при наполнении и опустошении которого генерируются соответствующие сообщения для диаграмм состояния. Максимальная скорость на выходе соответствует скорости перегрузки зерна. А также элементы Fluid Enter и Fluid Exit, которые направляют и принимают поток к бункеру соответственно.

Согласно итогам имитационного моделирования и сопоставления полученных данных с протоколами испытаний зерноуборочных комбайнов была подтверждена сходимость полученных результатов. Например, для зерноуборочного комбайна расхождение по удельном расходу топлива составило 1,8 %, по производительности 5,9 %.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ivanov D. Operations and Supply Chain Simulation with AnyLogic. Decision-oriented introductory notes for management students in bachelor and

master programs / E-Textbook, Berlin School of Economics and Law. – 2017.– P 97

2 Rukomoynikov K. P. Modeling operation of forest harvester in AnyLogic simulation system / K.P. RukomoynikovT.V. SergeevaT.A. Gilyazova // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 3, pp. 69–80.

3 Galimov R. R. Crop harvesting model in Anylogic simulation tool / R.R. Galimov V.V. Tikhonovsky.V. Garafutdinova // South Siberian scientific bulletin – No. 6 (46) • December 2022. – pp. 324 – 332.

4 Harvest Simulator [Electronic resource] AnyLogic simulation software /Transportation and Logistics – Mode of access: https://cloud.anylogic.com/model/b9142b00-a801-4275-a4df – Date of access: 17.07.2024.

УДК 631.3

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ ПЛЮЩИЛКИ С БИЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ

С. И. Кирилюк
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

У косилки-плющилки нож ротационного режущего аппарата вращается в горизонтальной плоскости. Срезание растений осуществляется попарно вращающимися навстречу один другому роторами, внизу которых располагаются диски с ножами. Ротационные режущие аппараты позволяют достигать практически любых скоростей бесподпорного резания. Основной задачей при расчете ротационных косилок является определение критической (минимально допустимой) скорости, необходимой для перерезания растений, причем должно выполняться следующее условие: $V_P > V_{KP}$, где V_P - расчетная скорость ножа, м/с, $V_P = \omega R$, где ω - частота вращения ротора, c^{-1}; R - радиус ножа по наружной кромке, м.

Критическая скорость резания растений зависит от физико-механических свойств растений и состояния режущего аппарата (ножа) и определяется по формуле: $V_{KP} = \dfrac{R}{\dfrac{3IE\Delta t}{H^3} + \dfrac{m}{\Delta t}}$, м/с, где H - высота среза растений, м; R - максимальное усилие резания, Н; IE - жесткость стебля, $H \cdot м^2$; Δt - время удара ножа по стеблю, с; m - приведенная масса стебля, $m = \dfrac{1}{3} m_0 H_{MAX}$; m_0 - масса единицы длины стебля, кг/м; H_{MAX} - высота растений. Критическая скорость резания по результатам расчетов $V_{KP} = 45 - 62$ м/с. Окружная скорость ножа составляет $V_H = 90 - 100$ м/с, что обеспечивает гарантированный срез травостоя.

Для повышения эффективности сушки скашиваемых трав на ротационных косилках применяются механические устройства с различным типом рабочих органов. Плющение трав при скашивании является наиболее известным и простым приемом интенсификации сушки бобовых и бобово-злаковых травосмесей при заготовке кормов, характеризующихся неравномерностью влагоотдачи. Плющение широко используется в конструкциях современных ротационных косилок. Эффективность применения приема плющения трав в значительной степени зависит от конструкции и типа рабочих органов плющильных устройств и режимов их режимов работы, которые необходимо

обеспечивать в зависимости от типа убираемых особенностям строения и физиологическим свойствам кормовых культур. Для обработки скашиваемых трав применяются косилки, оснащенные рабочими органами в виде пары металлических ребристых цилиндров, обрезиненных ребристых плющильных вальцов но они обладают ограниченной пропускной способностью и значительными габаритами. Для интенсификации процесса плющения широкое распространение получили кондиционеры (бильные устройства), оснащенные активными рабочими органами для механической деформации стеблей травы. Они имеет вращающийся цилиндрический вал с радиально расположенными на нем рабочими органами виде бил.

Бильное устройство переламывает и расщепляет стебли растений, и подает массу на валкообразователи секций косилки, укладывающие ее в валок. Бильное устройство представляет собой вал 1 (рис. 1), с шарнирно закрепленными на нем Y - образными бичами 3, отклонение которых ограничивается резиновыми демпферами 2. Бичи расположены на валу 1 по двум винтовым линиям с разворотом на 180^0 и осевым смещением на полшага, чем достигается равномерное перекрытие бичами всей зоны прохода массы.

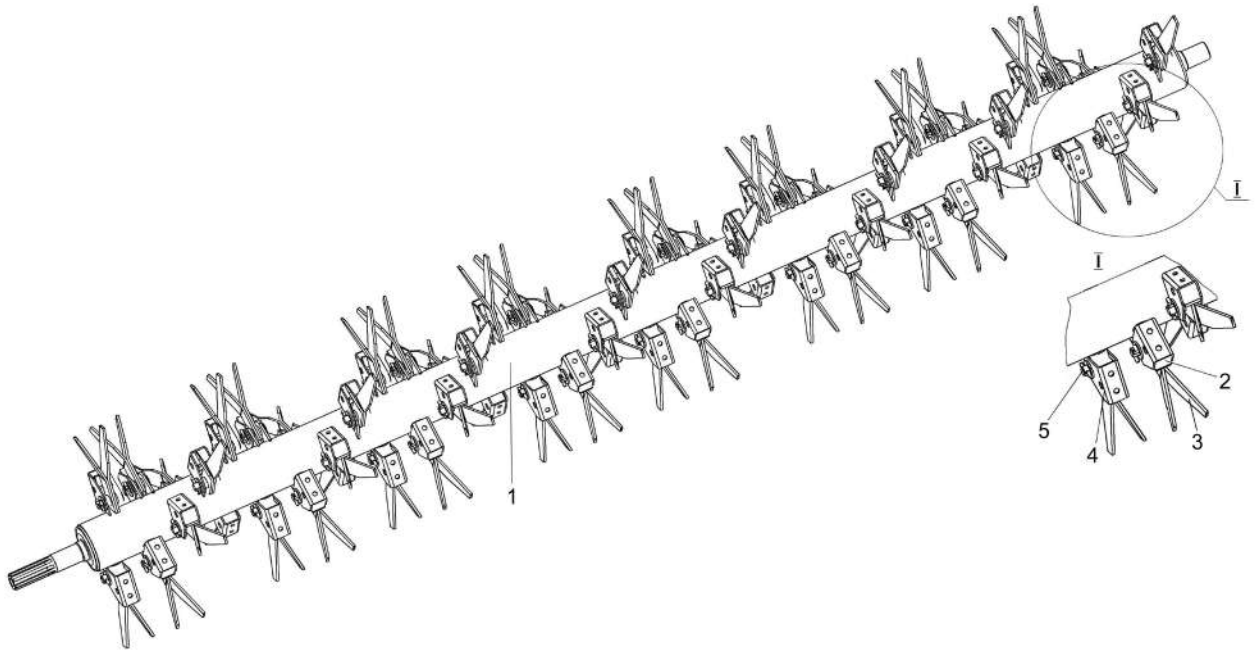


Рис. 1 – Устройство бильное: 1 – вал; 2 – демпфер; 3 – бич; 4 – корпус; 5 – ось со шплинтом

При испытании косилок-плющилок отсутствие повреждений в виде перегибов стебля по длине растений, исходя из методики определения полноты плющения, указанной в стандарте [1], связывают с неэффективностью работы устройства для их механической обработки. Чтобы получить требуемую полноту плющения, бильное устройство настраивают на более интенсивный режим обработки травы – используют

на более высокую частоту вращения бильного устройства минимизируют зазор между рабочими органами барабана и декой, В итоге, добиваются повышения плющения, но идет потеря листьев и соцветий от отбивания, особенно на бобовых культурах.

Подача растений в бильный барабан и первоначальное воздействие рабочими органами должно производится на более толстую и прочную комлевую часть стебля, что позволит снизить динамическое воздействие от даров и протаскивания на среднюю и верхнюю часть стебля и снизить возможные потери от обивания листьев и соцветий, молодых побегов в верхней части стебля. Конструктивно необходимая длина планок рабочих органов определяется исходя из толщины потока травы, поступающего от режущего аппарата, который имеет величину по результатам исследований в диапазоне 100–150 мм. При рабочей длине планок менее 100 мм эффективность воздействия планок на стебли за счет наклонного удара снижается [1].

Для предотвращения повторного воздействия рабочего органа на один и тот же участок стебля, растение должно изменить свое положение относительно вращающихся планок, исходя из чего диаметр барабана должен быть по расчетам не менее 0,4 м. Диаметр бильного барабана) определяется из выражения $D' \geq D = \frac{L}{\pi}$, где L – высота травостоя, и по расчетам должен составлять 0,60…0,70 м. Это необходимо для исключения наматывания растений на бильное устройство. На косилках установлено бильное устройство диаметром $D = 570$ мм. Важнейшей составляющей обеспечения эффективного плющения стеблей является частота вращения бильного барабана.

Трава, поступающая к ротору, в результате неупругого удара приобретает скорость, равную окружной скорости барабана. При этом удары сообщаются непрерывно поступающим массам Δt, которые приобретают скорость ϑ за время Δt. Импульс силы $P_1 \cdot \Delta t = \Delta m v$. Откуда окружное усилие на пластинах бичей ротора, преодолевающее силы инерции травы, $P_1 = \left(\Delta m / \Delta t\right) \cdot v = m' v$, где m' – подача массы в единицу времени. Тогда $P_1 v = m' v^2$.

При допущении, что скорость вылета из ротора стеблей травы равна окружной скорости бича ротора, необходимо введение поправочного коэффициента ξ. Тогда мощность для сообщения стеблям травы скорости в результате удара $N_y = \xi m' v^2$.

При максимальной поступательной скорости косилки 12 км/ч и диаметре барабана $D = 570$ мм частота вращения должна составлять не менее $\omega = 80 - 100$ рад/с. Окружная скорость бильного устройства $V = \omega \cdot R$, $V = 22{,}8 - 28{,}5$ м/с. Полученная скорость ниже критической практически в два раза $V_{KP} = 45 - 62$ м/с, что обеспечивает отсутствие перерезаний стеблей а

только их деформацию. При выборе частоты вращения барабана необходимо учитывать в обязательном порядке вид обрабатываемых растений урожайность, поскольку коэффициент трения, а следовательно, и силы трения о рабочие органы при захвате у разных видов растений имеют разное значение. Клевер, имеющий по сравнению со злаковыми больший коэффициент трения, а также с учетом особенностей его строения и крепления листьев целесообразно обрабатывать при частоте вращения барабана близкой к нижней границе – 768 мин$^{-1}$, либо не обрабатывать вовсе отключив бильное устройство. Для обработки злаковых культур, имеющих более жесткий и менее облиственный стебель, частота вращения должна быть выше – ближе к верхней границе диапазона – 960 мин$^{-1}$. Наличие в приводе плющильного устройства косилки настройки частоты вращения барабана, необходимой для обработки бобовых культур, позволяет адаптировать технологическую операцию к виду и состоянию убираемой культуры. Зазор между вершинами планок рабочих органов и поверхностью деки, частично охватывающей барабан, в значительной мере определяет качественные и энергетические показатели работы бильного плющильного устройства. Посредством изменения величины зазора бильного плющильного устройства адаптируется к свойствам и состоянию, урожайности обрабатываемой культуры. Результаты проведения исследований свидетельствуют об эффективности сушки травы, обработанной при соотношении зазоров на входе и выходе с барабана, близком к 2:1[1]. Технологическую настройку плющильного аппарата косилки целесообразно осуществлять за счет изменения зазора на входе деки. Реализация данных рекомендаций позволит адаптировать режимно – констуктивные параметры к виду и состоянию скашиваемых трав. Приведенные результаты исследований могут быть использованы при проектировании конструкций рабочих органов, для научнообоснованного выбора конструкции косилки – плющилки с учетом конкретных условий применения, определения параметров и режимов работы для обеспечения высокой эффективности процесса плющения скашиваемых трав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шупилов А. А. Метод агротехнической оценки механической обработки трав для ускорения влагоотдачи при скашивании косилками, оснащенными бильными устройствами/ А.А. Шупилов,// Агропанарама. – 2023. – № 6 (160). – С. 2-7.

УДК 629.3

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АГРЕГАТОВ С ПРИВОДОМ ОТ ВАЛА ОТБОРА МОЩНОСТИ

С. И. Кирилюк, К. В. Ридкина
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Мобильные энергосредства стали одной из наиболее распространенных машин во всех отраслях хозяйственной деятельности. Разнообразие условий его эксплуатации предъявляют специфические требования к его конструкции, технологии производства, приспособленности к ремонту и уходу.

Мобильное энергосредство является органическим элементом энерготехнологического комплекса в сельскохозяйственном производстве, на основе которого комплектуются агрегаты различного технологического назначения. По соотношению между требованиями технологического процесса и эксплуатационными показателями МЭС делается вывод о степени его технологичности и совершенстве.

Требования к мобильным энергосредствам постоянно возрастают, его функциональные свойства расширяются. Производители непрерывно занимаются модернизацией и разработкой их конструкции по требованию потребителей с целью повышения их технического уровня. Для создания конкурентной на мировом уровне продукции необходимо постоянно вести работы по улучшению технологических свойств мобильных энергосредств, в первую очередь по снижению расхода топлива на единицу выполненной работы.

Двигатель является источником энергии и движущей силы машины. От динамических и экономических свойств двигателя в значительной степени зависят эксплуатационные качества МЭС и машинно-тракторного агрегата в целом. Основными эксплуатационными показателями работы двигателя являются: эффективная мощность, эффективный крутящий момент, часовой и удельный расход топлива, частота вращения коленчатого вала.

При работе двигателя на оптимальном скоростном режиме развиваемая мощность на некоторых сельскохозяйственных операциях используется не полностью. Это часто наблюдается при работе машины, когда максимальная рабочая скорость и ширина захвата ограничены агротребованиями.

По мере уменьшения загрузки двигателя показатели его топливной экономичности ухудшаются таким образом увеличивается удельный и погектарный расходы топлива.

Эффективно добиться снижения удельного расхода топлива двигателя можно при сохранении его оптимальной загрузки. Это, возможно, осуществить одним из следующих способов: совмещение технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур и работой на пониженном скоростном режиме двигателя при одновременном включении более высокой передачи – частичный режим с уменьшенной подачей топлива и изменением эксплуатационных показателей. Из скоростной характеристики двигателя следует, что переход на частичный режим не только улучшает тяговые возможности трактора за счет приращения момента ΔM, но и позволяет улучшить экономичность двигателя по расходу топлива из-за его снижения ΔG [1].

Рассмотрим основные соотношения между эксплуатационными показателями работы двигателя: - эффективная мощность двигателя в кВт: $N_e = 6{,}28 M_c \cdot n$, где M_c - эффективный крутящий момент кНм;

n - частота вращения коленчатого вала двигателя с$^{-1}$.

Удельный расход топлива в г/кВтч: $g_e = \dfrac{1000 G_T}{N_e}$,

Где G_T - часовой расход топлива, кг.

Рассмотрим характер изменения топливной экономичности агрегата с приводом от ВОМ МЭС на примере агрегата БЕЛАРУС-3522+ПМФ-18.

Агротехнически допустимая скорость движения $V^{агр}_{\min,\max} = 1{,}7 \ldots 3{,}3$ м/с

Скорость, максимально возможную по загрузке двигателя. Определяем по формуле [1], $V^{Ne}_{P\max} = \dfrac{\left(N_e \cdot \eta_{Ne} - N_{ВОМ} / \eta_{ВОМ}\right) \cdot \eta_{мг} \cdot \eta_{\delta}}{R_M + G\left(f_T + i/100\right)}$,

Где $N_e = 264$ кВт - номинальная мощность двигателя кВт.

η_{Ne} - коэффициент оптимальной загрузки двигателя, $\eta_{Ne} = 0{,}8 \ldots 0{,}95$

$N_{ВОМ}$ - мощность, необходимая для привода рабочих органов от ВОМ МЭС, $N_{ВОМ} = 40$ кВт; $\eta_{ВОМ}$ - КПД ВОМ, $\eta_{ВОМ} = 0{,}94 \ldots 0{,}96$, $\eta_{мг}$ - КПД трансмиссии, $\eta_{мг} = 0{,}78 \ldots 0{,}82$, η_{δ} - КПД буксования; f_T -коэффициент сопротивления качению, $f_T = 0{,}12$; R_M - тяговое сопротивление машины, Н; i - уклон местности, %; G -вес трактора, Н, $G = 127{,}8$ кН.

КПД буксования определяем по формуле

$\eta_{\delta} = 1 - \dfrac{\delta}{100}$, где δ - буксование, %, $\delta = 8$ %, $\eta_{\delta} = 1 - \dfrac{8}{100} = 0{,}92$.

Тяговое сопротивление рабочей машины рассчитываем по формуле

$$R_M = \left(G_{пр} - G_{гр}\right)\left(f_{пр} + \frac{i}{100}\right),$$

где $G_{пр}$ -конструктивный вес разбрасывателя кН, $G_{пр} = 70{,}56$ кН;

$G_{гр}$ -вес груза в кузове разбрасывателя, $G_{гр} = 176{,}4$ кН;

$f_{пр}$ - коэффициент сопротивлению качению разбрасывателя.

$R_{M1} = (70{,}6 + 176{,}4)(0{,}12 + 2/100) = 34{,}6$ кН.

$R_{M2} = (70{,}6 + 9{,}8)(0{,}12 + 2/100) = 11{,}3$ кН.

Тогда скорость, максимально возможная по номинальной загрузке двигателя, равна

$$V_{P\max}^{Ne} = \frac{(264 \cdot 0{,}95 - 40/0{,}95) \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}92}{34{,}6 + 127{,}8(0{,}12 + 2/100)} = 2{,}99 \text{ м/с}.$$

Принимаем скорость движения 2,9 м/с.

Уточняем $N_{ВОМ}$ по формуле

$$N_{ВОМ} = \frac{p \cdot h \cdot b_p \cdot V_p}{10^4 \cdot \gamma},$$

где p - удельное сопротивление навоза измельчению кН/м^2, для хорошо разложившегося навоза $p = 250 - 500$ кН/м^2,

h - норма внесения удобрений, ц/га. Принимаем 400ц/га;

b_p -рабочая ширина захвата агрегата, м;

γ -плотность навоза, т/м^3, $\gamma = 0{,}9$ т/м^3.

$$N_{ВОМ} = \frac{365 \cdot 400 \cdot 10 \cdot 2{,}9}{10^2 \cdot 0{,}9} = 47 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки двигателя при рабочем ходе агрегата определяем по формуле $\eta_{Nгг} = \frac{N_{ер}}{N_{ен}}$,

Где $N_{ер}$ - эффективная мощность двигателя на рабочем режиме, кВт.

Эффективную мощность двигателя определяем по формуле

$$N_{ер} = \frac{(R_M + P_f + P_\alpha) \cdot V_p}{\eta_{мг} \cdot \eta_\delta} + \frac{N_{ВОМ}}{\eta_{ВОМ}},$$

где P_f, P_α - силы передвижения и подъема трактора кН.

$P_f + P_\alpha = G(f_T + i/100)$,

$$N_{ер1} = \frac{\left(34{,}6 + 127{,}8\left(0{,}12 + 2/100\right)\right) \cdot 2{,}9}{0{,}82 \cdot 0{,}92} + \frac{47}{0{,}95} = 251{,}2 \text{ кВт}.$$

$$N_{ер2} = \frac{\left(11{,}3 + 127{,}8\left(0{,}12 + 2/100\right)\right) \cdot 2{,}9}{0{,}82 \cdot 0{,}92} + \frac{47}{0{,}95} = 161{,}6 \text{ кВт}.$$

Тогда

$$\eta_{Nер1} = \frac{251{,}2}{264} = 0{,}95, \ \eta_{Nер1} = \frac{161{,}6}{264} = 0{,}61,$$

Как видно из расчетов, при опустошении разбрасывателя загрузка двигателя снизится до 61,6%. Для работы двигателя с максимальной загрузкой необходим переход на частичный режим или трансмиссии на повышенную передачу при постоянной скорости агрегата, что повлечет на

снижение частоты вращения коленчатого вала двигателя и соответственно ВОМ трактора [1].

В конструкции ВОМ трактора БЕЛАРУС-3522 предусмотрена возможность перехода на экономичный режим работы двигателя, обеспечивая частоту вращения ВОМ 1000об/мин при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1435 об/мин. Однако такой переход осуществляется ступенчато, путем переключения редуктора ВОМ при остановленном тракторе.

Расход топлива на частичном режиме работы определяем по следующей зависимости

$$G_T = G_T \frac{n'}{n},$$

где n' и n -соответственно частота вращения коленчатого вала двигателя на частичном и рабочем режиме.

Например, переход на экономичный режим работы трактора БЕЛАРУС-3522 позволит получить часовой расход топлива:

$$G_T = 42{,}3\frac{1435}{2100} = 28{,}9 \text{ кг/ч}$$

экономия топлива в этом случае

$$\Delta G = \frac{42{,}3 - 28{,}9}{42{,}3}100\% = 31{,}6\%$$

Расчеты показывают, что при работе агрегатов переменной массы имеется возможность экономии топлива. Целесообразно, например, рассмотреть применение универсального энергосредства УЭС-280А или УЭС-290/450 «ПАЛЕССЕ 450» при работе с машинами, изменяющими свои тяговые и нагрузочные характеристики, такими как ПМФ-18. Благодаря наличию бесступенчатой гидростатической трансмиссии. Позволяет, не изменяя частоту вращения ВОМ изменять скорость движения агрегата, тем самым иметь постоянную оптимальную загрузку двигателя и более низкий удельный погектарный расход топлива в отличие от МЭС оборудованных ступенчатой трансмиссией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шупилов А. А. Повышение топливной экономичности агрегатов с приводом от вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС»/ А.И. Бобровник, Д.А. Жданко, М.Ф. АЛЬ-Кинани,// Агропанарама. – 2013. – № 2 (96). – С. 5-7.

УДК 621.634

РАЗРАБОТКА СОЛОМОРАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С ШИРИНОЙ ЖАТКИ ДО 12 М

А. С. Корчевский, А. В. Ермак, С. И. Чернецкий, В. С. Шиш, А. М. Ховпун
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация: в работе представлена и рассмотрена новая конструкция соломоразбрасывателя, которая обеспечивает равномерное разбрасывание соломы на ширину захвата жатки – до 12м.

Введение

Ширина захвата жаток современных комбайнов становится всё больше, системы обмолота комбайнов – всё агрессивней (всё больше мелкой растительной фракции). Солому необходимо измельчать в первую очередь для того, чтобы освободить поля и посеять озимые, а также для внесения препаратов, уничтожающих многолетние сорняки. Распределение соломы должно быть равномерным на всю ширину жатки.

Объект исследования

Соломоразбрасыватель.

Цель исследования

Равномерное разбрасывание соломы на ширину захвата жатки – до 12м. Улучшение потребительских свойств, обеспечивающих техническое обслуживание комбайна, и качественное распределения незерновой части, тем самым сохранив функциональное назначение соломоизмельчителя.

Методы исследования – теоретический, метод сравнительного анализа.

Результаты исследования

Существует конструкция соломоизмельчителя (рис. 1) которая содержит корпус соломоизмельчителя 1, ротор соломоизмельчителя 2 с ножами 3, дефлектор 4, который закреплен на корпусе соломоизмельчителя 1, рукоятки 5 перевода положения лопаток 6. Дефлектор 4 имеет 7 положений, которые выбираются в зависимости от ширины разброса (до 9 метров). В данном соломоразбрасывателе распределение незерновой части осуществляется за счет воздушного потока создаваемого соломоизмельчителем, который вращается со скоростью 2800 об/минуту.

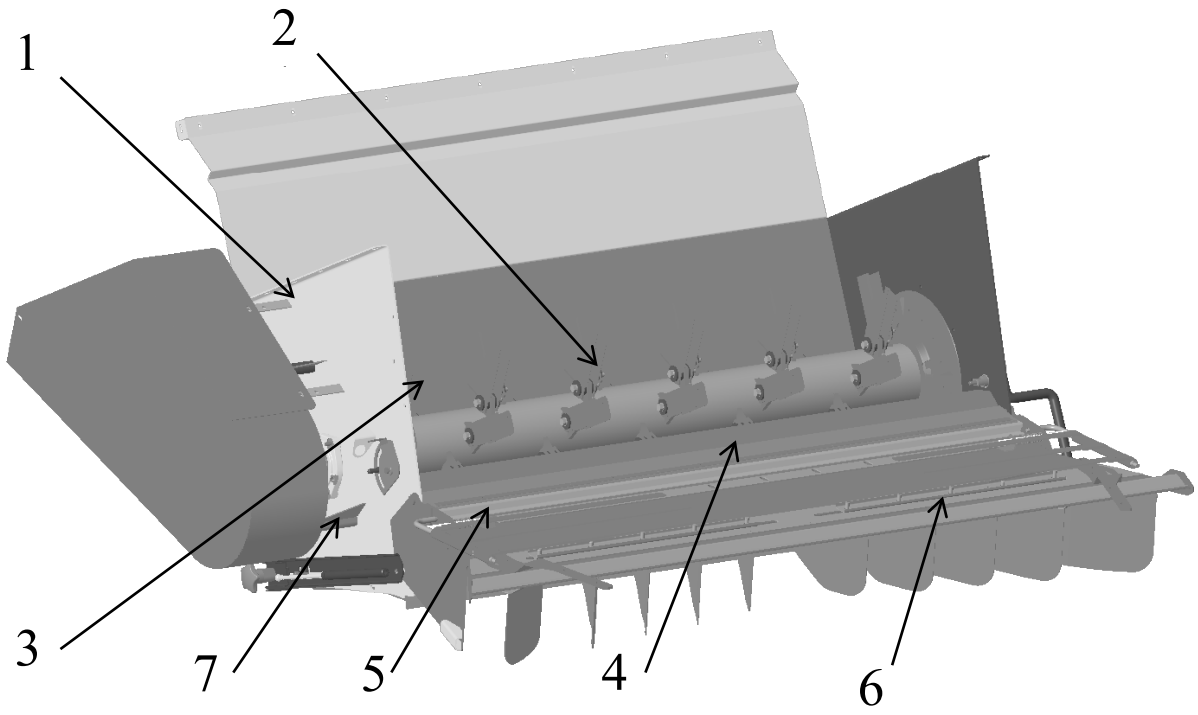


Рис. 1 – Соломоизмельчитель с дефлектором.

Предлагаемый соломоизмельчитель (рис. 2) имеет ротор соломоизмельчителя 1 с ножами 2. Для разбрасывания соломы на ширину захвата жатки, до 12 метров, вместо дефлектора с регулируемыми лопатками прикреплен корпус соломоразбрасывателя 3 с установленным диском правым 4 и диском левым 5. Для приведения дисков во вращение установлены гидромоторы 6. Для более равномерного распределения соломы по всей ширине захвата жатки на выходе соломоразбрасывателя установлены направители 7 и 8, которые можно регулировать в зависимости от направления ветра. Регулировка доступна из кабины механизатора.

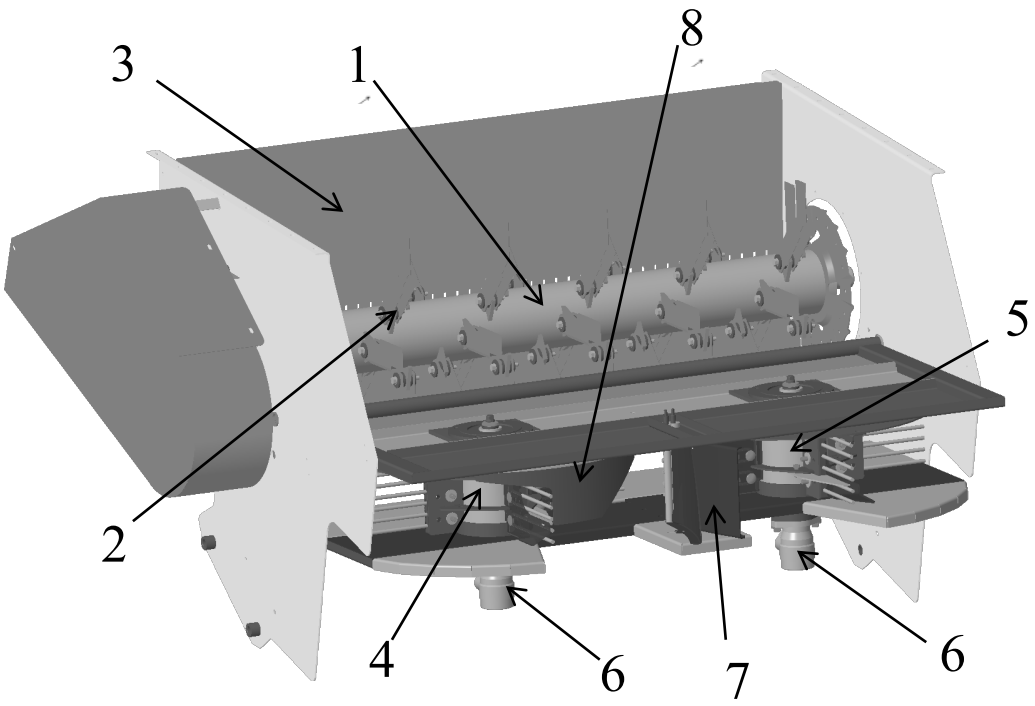


Рис. 2 – Корпус и диски соломоразбрасывателя.

Таким образом, в предлагаемой конструкции соломоразбрасывателя разбрасывание происходит не только за счет воздушного потока от ротора соломоизмельчителя, но и за счет вращающихся дисков, что позволяет увеличить ширину разброса соломы.

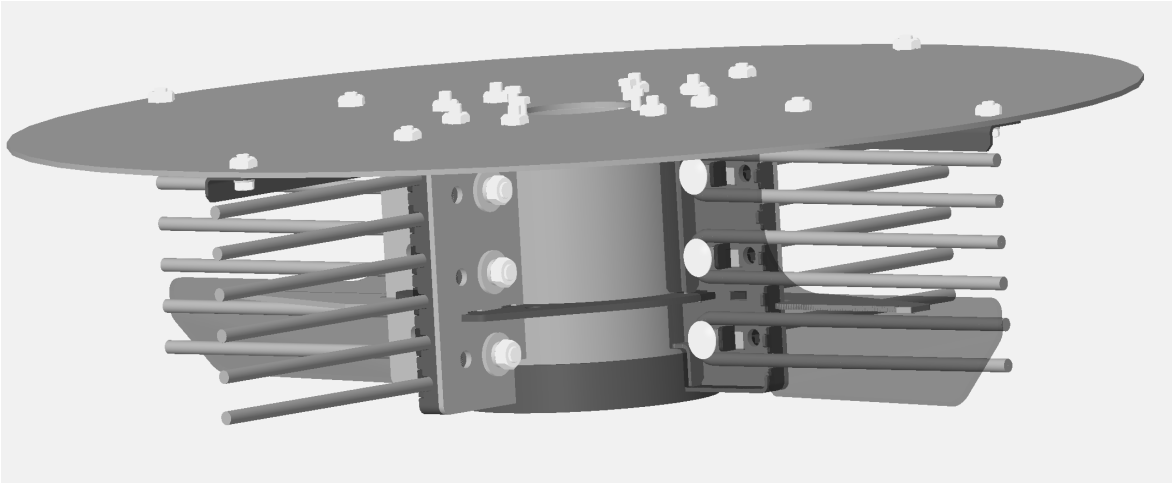


Рис. 3 – Диск соломоразбрасывателя.

Диск, показанный на рис. 3, имеет пальцы, которые обеспечивают продвижение основной массы соломы внутри корпуса соломоразбрасывателя и её выброс. В нижней части дисков расположены лопатки, которые служат для очистки рабочей зоны дисков от мелкой соломы и предотвращают забивание соломоразбрасывателя.



Рис. 4 – Работа соломоразбрасывателя на комбайне в поле.

Соломоразбрасыватель создает аэродинамический поток, который будет подхватывать солому и мелкие соломистые части и равномерно распределять их на поле.

На рис. 5 показаны векторы распределения скоростей и линии тока аэродинамического потока для исходной конструкции соломоразбрасывателя.

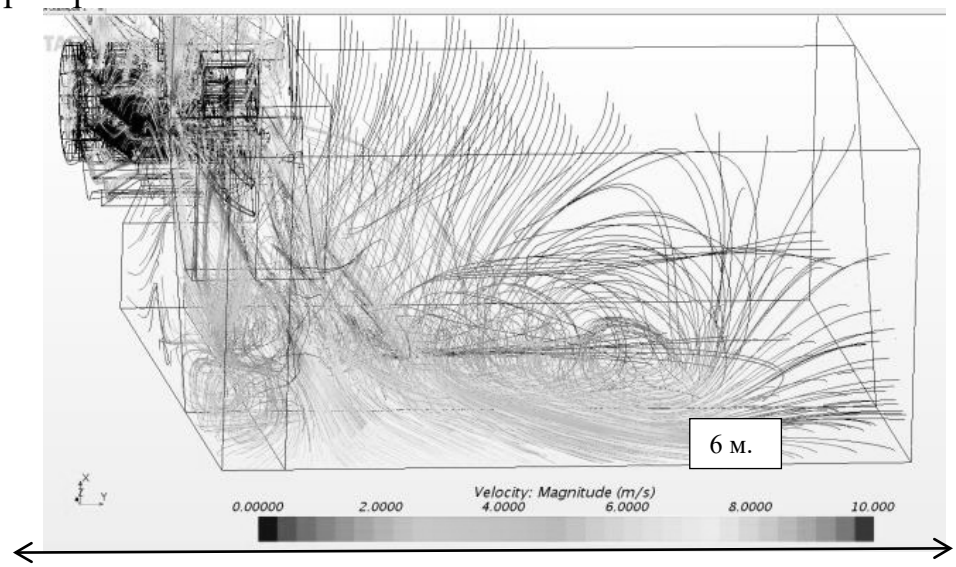


Рис. 5 – Линии тока скоростей аэродинамического потока на выходе из системы очистки комбайна GS2124 соломоразбрасывателя (вид сзади).

На рис. 6 показана установка соломоразбрасывателя на комбайне GS2124.

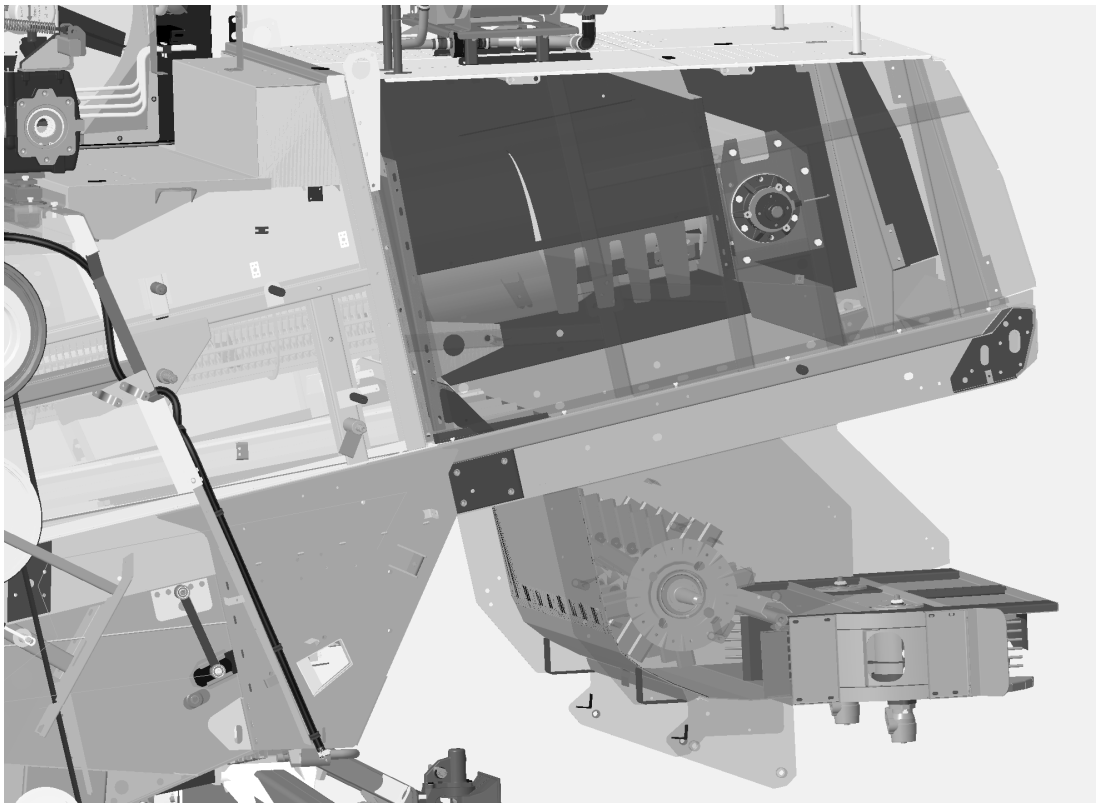


Рис. 6 – Установка соломоразбрасывателя системы очистки комбайна GS2124.

Заключение

Применение в конструкции комбайна аэродинамического саломоразбрасывателя позволит обеспечить равномерное распределение соломы на ширину жатки до 12 м и обеспечит доступ для обслуживания комбайна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портнов М. Н. Зерноуборочные комбайны. М.: Агропромиздат, 1985.-168 с, ил.- (Учебники и учеб. пособия для подгот. кадров массовых профессий).

2. Казанский В. В. Справочное пособие по зерноуборочным комбайнам.- Гомель: РПУП «Полеспечать», 2000-122 с.

УДК 62-82-112.6(083.13)

ПЕРСПЕКТИВНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНТАЖНОГО КОРПУСА ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН

О. К. Гурбан, В. В. Пинчук
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Оптимизация параметров присоединительных размеров СММ на основе критериев: объем и масса, гидравлические потери давления, трудоемкость и стоимость изготовления позволяет выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ. Для решения поставленной задачи проведен анализ общего критерия оптимальности СММ с учетом техпроцесса (ТП) его изготовления.

То есть, если учитывать весь срок эксплуатации изделия, затратами на стоимость материала (которая находится на уровне затрат на обработку) и обработки заготовки СММ можно пренебречь, а расчет и выбор оптимальной конструкции СММ вести исключительно на основе учета энергозатрат при работе привода.

Ключевые слова: приводы технологического оборудования, гидроблоки управления, технологические машины, гидроаппараты, критерий оптимальности.

Введение

В процессе создания гидроприводов технологических машин разрабатывают гидроблоки управления (ГУ), состоящие из соединенных между собой гидроаппаратов согласно принципиальным гидросхемам [1]. Проблема повышения эффективности ГУ является актуальной для любого машиностроительного предприятия [2]. Вместе с тем, при создании конструкций гидроаппаратов монтажные корпуса во внимание не принимаются, что ухудшает показатели конструкций ГУ в целом. Одной из главных причин снижения эффективности ГУ является вариативность структурных решений в процессе их конструирования, которая существенно усложняет этот процесс. при этом считают [3], [5], что переход к агрегатно-модульному конструированию ГУ позволит снизить негативное влияние фактора вариативности процесса проектирования на выходные показатели создаваемых ГУ (материало - и энергоёмкость, затраты и сроки создания).

Постановка задачи

Конструкция гидропривода и его основные параметры определяются типом машины, для которого он предназначен, поэтому разработка должна начинаться с анализа технического задания (ТЗ). В ТЗ приводятся: методы управления и контроля; требуемые блокировки; нагрузочные характеристики и режимы движения каждого рабочего органа; циклограмма рабочего цикла станка; необходимые средства диагностики технического состояния; основные требования надежности. Особое внимание уделяется сокращению энергетических потерь. Обычно в гидросистемах станков температура не превышает 55 ºС и лишь в простейших гидроприводах, к стабильности работы которых не предъявляется высоких требований, может достигать 70 ºС. Поддержание теплового режима гидропривода, в котором имеются значительные потери мощности вследствие дросселирования масла, – весьма сложная техническая проблема, требующая существенного увеличения объема бака или применения эффективной системы искусственного охлаждения. После составления принципиальной схемы приступают к подбору гидроаппаратов и других узлов. Совокупность признаков совершенства входящих в ГУ компонентов позволит сформулировать задачу многокритериальной оптимизации ГУ.

Решение задачи оптимального конструирования агрегатно-модульных ГУ следует вести путем разработки и использования монтажных модулей, определяемых принципиальными гидравлическими схемами. Установлено [2], [4], что разработка и обоснование параметров присоединительных размеров соединительно-монтажных модулей (СММ) позволяет выполнить проектирование гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ: СММ, замыкающих блоков (БЗ), блоков распределителей (БР) и присоединительных блоков (БП). Таким образом, оптимизация параметров присоединительных размеров СММ на основе критериев: объем и масса, гидравлические потери давления, трудоемкость и стоимость изготовления позволяет выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ.

Для оптимизации параметров СММ получено выражение общего критерия оптимальности [1]:

$$X = \left(C_1 \frac{V}{V^*} + C_2 \frac{S}{S^*} + C_3 \frac{\Delta P_B}{\Delta P_B^*} + C_4 \frac{\Delta P_\Gamma}{\Delta P_\Gamma^*} \right) \to \min \quad , \qquad (1)$$

где: $C_1 - C_4$ – коэффициенты взаимной важности критериев, назначаемые экспертным путем, ΔP_B - потери давления в вертикальных каналах СММ; ΔP_Γ - потери давления в горизонтальных каналах СММ, V и S –

соответственно объем и полная поверхность СММ, $\Delta P_B^*, \Delta P_\Gamma^*, V^*, S^*$ - нормирующие множители.

Однако, общий критерий оптимальности СММ (1) лишь сужает допустимое множество вариантов проектируемой конструкции соединительно-монтажного модуля, задавая в нем множество компромиссно-оптимальных проектов – область Парето.

Целью настоящего исследования является упрощение процесса оптимизации параметров СММ.

Методы исследований

Принимая во внимание критерии оптимальности СММ рассмотрим присоединительные размеры СММ, общий вид которого представлен на рис. 1.

Для решения поставленной задачи проведем анализ общего критерия оптимальности СММ (1). При этом, анализ формулы будем проводить с учетом техпроцесса (ТП) его изготовления, который в общем случае включает следующие операции:1 - вертикально фрезерная (черновая); 2 - горизонтально фрезерная (черновая); 3 - шлифовальная (черновая); 4 - сверлильная; 5 - шлифовальная (чистовая).

Однако, учитывая ТП изготовления СММ, нам необходимо учесть операцию 4 – сверлильная.

$\frac{Ц_V}{Ц_V^*}$ – как отношение стоимостей объёма первоначальной заготовки;

$\frac{Ц_S}{Ц_S^*}$ – как отношение стоимостей площадей обработанных поверхностей СММ;

$\frac{Ц_{св}}{Ц_{св}^*} + \frac{Ц_э}{Ц_э^*}$ - как стоимость структуры каналов СММ (включает стоимость потерь энергии при проходе рабочей жидкости по каналам СММ и стоимость сверления этих каналов).

Таким образом рубль (например), будет являться единым параметром для всех частей уравнения (1), а оптимизация будет сводиться к расчету минимальной стоимости готового изделия.

Формула (1) примет следующий вид:

$$X = \left(C_1 \frac{Ц_M}{Ц_M^*} + C_2 \frac{Ц_O}{Ц_O^*} + C_3 \frac{Ц_{СВ}}{Ц_{СВ}^*} + C_4 \frac{Ц_Э}{Ц_Э^*} \right) \to \min \qquad (2)$$

где: $Ц_M$ – стоимость материала, руб., $Ц_O$ – стоимость обработки, за операции фрезеровки и шлифовки, руб., $Ц_{СВ}$ – стоимость операции сверление каналов СММ, руб., $Ц_Э$ – цена затраченной энергии на гидравлические потери давления в каналах СММ, руб.

Анализ формулы (2) показывает, что определение первых двух слагаемых затруднений не вызывает, в тоже время оптимизация стоимости структуры каналов вызывает определенные затруднения из-за ее вариативности. Для решения этой задачи рассмотрим конструктивное устройство СММ, представленное схематично на рис. 1.

Цифрами 1 – 8 обозначены магистральные каналы СММ, 9 – 24 – его коммуникационные каналы. Чтобы выполнить расчеты стоимости структуры СММ введем индексы отверстий СММ: входа (i) и выхода (j) рабочей жидкости. Тогда i = 9,10,…,23, а j = 10, 11,…,24. Введенные обозначения и размеры позволяют нам задавать и определять характеристику каналов СММ при проходе рабочей жидкости с одной его плоскости на другую, и таким образом определять стоимость потерь энергии $Ц_Э$ и сверлений $Ц_{СВ}$ в соединениях между установленными на СММ гидроаппаратами.

На рис. 1 нанесена для пояснения трассировка соединения между отверстиями $i = 9$ и $j = 11$.

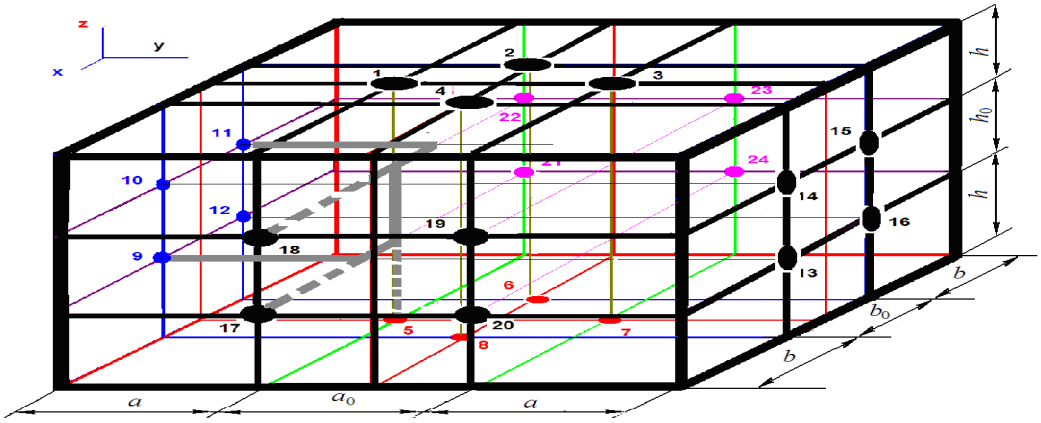


Рис. 1 – Конструктивное устройство СММ (схема)

Следует отметить при этом, что конфигурация каналов, учитываемая для расчетов стоимостей $Ц_Э$ и $Ц_{СВ}$, может несколько отличаться между собой, что обусловлено технологическими особенностями изготовления каналов СММ. Так на рис. 1 для расчетов *Цэ* будет использоваться структура каналов, нанесенная сплошной линией, а для расчетов $Ц_{СВ}$ необходимо добавлять еще и участи каналов, нанесенные штриховыми линиями.

Гидравлические потери давления в соединениях между гидроаппаратами посредством СММ можно рассчитать при помощи формул (4):

$$\Delta p_{i,j} = \sum_{k=1}^{m_j} \Delta pl_k + \sum_{s=1}^{n_i} \Delta pm_S , \qquad (4)$$

где n_i – число местных сопротивлений (поворотов); m_j – число прямолинейных участков каналов; $\Delta p_{i,j}$ - потеря давления в заданном направлении; $i = 9,10,...,23$ - номера входных отверстий; $j = 10,11,...,24$ - номера выходных отверстий;

Для определения длины L_k прямолинейного участка канала используем размеры СММ, указанные на рис. 1.

Расчеты стоимости $Ц_{СВ}^{ij}$ выполним, используя следующие формулы:

$$Ц_{СВ}^{ij} = \cdot \frac{1000}{S_{\text{п}} \cdot n} \sum \text{L}_{\text{ij}} \cdot ТАРИФ_н_час ,$$

где, для принятых нами размеров СММ: $n = 500\text{об/мин}$ - частота вращения сверла;

$S_{\text{п}} = 0.14 мм/об$ - подача сверла; L_{ij} - длина каналов между отверстиями входа i и выхода j ; $ТАРИФ_н_час = 0.457 руб$ - стоимость нормочаса операции сверление техпроцесса [7].

Используя полученные значения $Ц^{ij}_{э}$ (рис. 2) и $Ц_{СВ}^{ij}$ можно выполнить расчеты стоимости структуры каналов $Ц_{\text{ij}}$, таким образом, если учитывать весь срок эксплуатации изделия, то даже за год эксплуатации, при 2-х сменной работе оборудования (годовой фонд рабочего времени – 4018 часов) соотношение $Ц_{Э}^{ij}$ против $Ц_{СВ}^{ij}$ резко изменяется в сторону увеличения свыше 300 раз. То есть, при назначении коэффициентов важности критериев $C_1 – C_4$ по формуле (1), учитывая длительность срока эксплуатации СММ, которая может достигать 10 лет и более, затратами на стоимость материала (которая находится на уровне затрат на обработку) и обработки заготовки СММ можно пренебречь, а расчет и выбор оптимальной конструкции СММ вести исключительно на основе учета $Ц_{Э}^{ij}$.

ЛИТЕРАТУРА

1.Свешников В. К. Станочные гидроприводы: справочник /В.К. Свещников. -4-е изд. перераб. и доп. – М..: Машиностроение, 2004. -510с.

2. Красневский Л. Г. Роль наукоемких компонентов в машиностроении /Л.Г. Красневский /Современные методы проектирования машин. -2004, - Т.1 –вып.2, -С. 47-50.

3. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования / А.Я. Оксененко, Ф.А. Наумчук, П.О. Водопьян, Я.Е. Рубинфайн, В.И. Дорощенко, М.К. Гераймович, В.В. Пинчук, Г.Я. Салов - М.:НИИМАШ, 1985. - 77 с.

4. Пинчук В. В. Минимизация гидравлических потерь давления в каналах соединительно-монтажного модуля при построении структурных схем агрегатно-модульных гидроблоков управления технологического оборудования. / В.В.Пинчук, С.Ф.Андреев, Е.В.Иноземцева // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2016, № 4 с.41-45

УДК 339.138

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ КАК ОСНОВА СТРАТЕГИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

С. В. Михолап
ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

1 Составляющие экономического потенциала организации

Главной целью коммерческой деятельности организации является получение максимально возможного финансового результата (прибыли). Для этого в процессе производственной деятельности предприятие производит определенный объем продукции, который реализовывается на рынке. И чтобы произвести готовый товар, услуги и работы, необходимо для этого затратить различные ресурсы (финансовые, трудовые, материальные, интеллектуальные и др.). Исходя из разницы между финансовым результатом и объемом расходов предприятия, и формируется экономическая эффективность коммерческой деятельности. Что в свою очередь, отражает экономический потенциал организации.

На сегодняшний день можно выделить несколько подходов к определению понятия «эффективность деятельности организации»:

1) степень достижения целей организации;

2) уровень адаптации организации под условия внешней среды;

3) степень достижения максимального финансового результата при заданном объеме ресурсов;

4) степень достижения минимальных затрат при заданном объеме прибыли;

5) уровень достижения интересов клиентов и заказчиков, а также удовлетворение их потребностей.

Оценка показателей эффективности деятельности организации позволяет установить возможные меры и способы для повышения успешности бизнеса. Решение стратегических проблем и задач менеджмента организации неразрывно связаны с определением экономической эффективности деятельности [4].

Проанализировав существующие в экономической литературе подходы, понятие «экономическая эффективность» деятельности организации можно определить, как:

- отношение между затраченными ресурсами и финансовым результатом;

- степень производства продукции при оптимальном размере потраченных ресурсов;

- достижение максимального объема производства продукции при заданном доступном уровне ресурсов;

- степень достижения целей в коммерческой деятельности предприятия, которые были поставлены в рамках стратегического плана.

Отражением сущности и понятия «эффективность деятельности организации» является ряд показателей, применяемых при оценке эффективности бизнеса. К ним относятся:

1) рентабельность продаж – соотношение между объемом продаж и объемом чистой прибыли предприятия;

2) оборачиваемость активов – соотношение между объемом продаж и объемом активов предприятия;

3) рентабельность активов – соотношение между рентабельностью продаж и оборачиваемостью активов.

Показатели эффективности – важнейшие экономические показатели, отражающие соотношение результатов работы предприятия и различных объемных показателей, а также масштабы деятельности предприятия и объем вовлеченных ресурсов [5].

Таким образом, экономическая категория «эффективность деятельности организации» важное понятие, сущность и характеристика которого определяет степень экономичности и результативности коммерческой деятельности предприятия. При оценке основных показателей эффективности деятельности организации происходит работа над устранением проблем и угроз, а также обеспечение повышения эффективности использования доступных ресурсов. Последнее и является одним из подходов к определению понятия экономическая эффективность коммерческой деятельности предприятия [6].

Экономический потенциал является основой для эффективной деятельности организации и конкурентоспособности организации на рынке.

Анализ экономического потенциала организации, выступающего как обобщенная характеристика деятельности организации на рынке, позволяет определить резервы и возможности организации.

Для оценки экономического потенциала организации целесообразно использовать:

- количественное измерение имеющихся ресурсов и результатов функционирования организации;

- оценку потенциала в разрезе формирующих ее составляющих;

- сравнение уровня потенциала, достигнутого в настоящий момент с нормативными показателями, обеспечивающими достижение поставленных целей.

2 Особенности стратегии развития организации

В условиях неопределенности и динамичности внешней среды организации вынуждены постоянно анализировать угрозы и возможности

развития, прогнозировать рыночную ситуацию, выбирать и корректировать цели деятельности и способы их реализации. Гибкость в управлении, способность быстро перестраиваться, не упускать новые возможности, открываемые рынком и нововведениями, умение видеть перспективы развития – все это в настоящее время становится главным условием укрепления конкурентоспособности организации. Ориентация на потребительский спрос, проведение маневренной научно-технической инновационной политики – основные принципы управления развитием организаций [2].

Классический способ выбора направления реализации стратегии развития организации основывается на SWOT-анализе (анализе возможностей, угроз, сильных и слабых сторон).

В краткосрочной перспективе успех организации определяется, прежде всего, ее экономическим потенциалом и финансовой сбалансированностью различных направлений текущей деятельности. В долгосрочной перспективе ее выживание и развитие зависит от способности своевременно предвидеть изменения на рынке и соответствующим образом адаптировать свою структуру и содержание портфеля заказов [1].

Применительно к хозяйственной организации содержательным результатом стратегии ее развития можно считать такого рода перемены в ее экономическом потенциале:

- выход на новые уровни НИОКР;
- утверждение на рынке новых видов продукции;
- диверсификация портфеля продукции и услуг;
- слияние и приобретение компаний;
- реорганизация и перераспределение полномочий в организации;
- сворачивание и ликвидация нерентабельных производств;
- проектирование и создание новых мощностей;
- организация учебы персонала;
- создание новых рынков.

Особенностями стратегии развития организации являются:

- процесс разработки стратегии предусматривает установление общих направлений, продвижение по которым обеспечит рост и укрепление позиций организации;

- роль стратегии состоит в том, чтобы помочь сосредоточить внимание менеджеров на приоритетных направлениях развития;

- в ходе формулирования стратегии нельзя предвидеть все возможности при составлении плана конкретных мероприятий.

Стратегии конкретизируются в планах организации по производству и реализации продукции, материально-техническому

снабжению, труду и кадрам, издержкам производства, финансам, инвестициям, социальному развитию.

Механизм стратегического планирования применяется в любой современной организации, использующей все преимущества рыночной экономики и успешно использующей промышленный маркетинг.

На основе анализа экономической литературы, современные стратегии развития организации можно разделить на три основных типа:

I. Базовая стратегия. Представляет собой описание общего направления развития деятельности организации.

II. Конкурентная стратегия производства. Направлена на получение преимуществ перед конкурентами в глазах потребителей.

III. Функциональная стратегия. Представляет собой план для каждого из подразделений компании. Совокупная реализация таких схем приводит к достижению нужного результата.

Первый из типов позволяет выявить общее направление развития организации и его деятельности. Базовая стратегия показывает, как должно осуществляться управление бизнесом для сохранения баланса портфеля товаров и услуг. Это самый сложный уровень решений, потому что они влияют на деятельность всей организации и ее перспективы. Именно на этом этапе согласовывается стратегия организации, связанная с продуктом.

Конкурентную стратегию иначе называют деловой стратегией или бизнес-стратегией. Она является дополнением к базовой и позволяет выявить сильные стороны продукта и определить, как они будут влиять на рентабельность компании. Целью разработки стратегии развития организации в этом случае является выявление конкурентных преимуществ компании.

Если фирма занимается только одним направлением деятельности, то этот уровень является частью базовой стратегии. Если же организация имеет несколько направлений деятельности, то для каждого из них должен быть составлен отдельный план, направленный на достижение общего результата.

Функциональная стратегия разрабатывается для каждого отдела и подразделения компании. Она позволяет максимально эффективно использовать ресурсы отдельных функциональных пространств. Этот тип стратегии подразделяется на несколько основных видов:

1. Стратегия НИОКР. Она определяет основные идеи нового продукта. Данная стратегия делится на два типа: инновационная и имитационная.

2. Производственная стратегия. Описывает ресурсы, которые потребуются для производства продукта. В ходе составления стратегии выявляется информация об оптимальном размещении промышленного оборудования, элементах производственного процесса и затрат, которые понадобятся на его реализацию.

3. Маркетинговая стратегия. Определяет состояние рынка для производимого продукта, выявляет возможные сопутствующие услуги, которые могут быть предложены покупателям. Формулирует основные цели рекламных кампаний и методы их достижений. Маркетинговая стратегия особенно актуальна для производства, которое нацелено на массовые продажи.

4. Финансовая стратегия. Используется для составления прогноза состояния финансовых ресурсов организации. При помощи этой стратегии оцениваются рентабельность инвестиционных проектов и предстоящих продаж продукта, которые повлияют на финансовые показатели.

Не менее важной, чем вышеописанные типы, является грамотно разработанная стратегия управления персоналом. Её реализация позволяет увеличить мотивацию сотрудников и привлекательность труда в организации для новых работников. При помощи этой стратегии разрабатывается эффективная система управления персоналом, его обучения и поддержания количества должностных единиц на необходимом уровне [3].

Основные цели, от которых зависит выбор стратегии развития:

1. Доход, который она хочет получить.

2. Доля рынка/ниши.

3. Норма прибыли. Этот показатель поможет вычислить, какие обороты по выручке планирует получить организация.

4. Географическая представленность компании. Нужно проанализировать территории и выявить, работа в каких регионах или странах может принести наибольшую прибыль.

5. Региональная доля рынка. Нужно оценивать, какую долю на региональном рынке и как скоро желает получить организация [3].

Перечисленные основные цели могут быть использованы при выборе стратегии развития ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ» и определении эффективности использования экономического потенциала организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадрахан А. Реализация механизма стратегического планирования на машиностроительных предприятиях / А. Бадрахан // Научное обозрение. Экономические науки. – 2016. – № 6. – С. 27 – 31.

2. Баскакова О. В. Экономика предприятия (организации) : учебник / О.В. Баскакова, Л.Ф. Сейко. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013. – 372 с.

3. Виды стратегий развития предприятия [Электронный ресурс] / Москва, 2023. – Режим доступа: https://dasreda.ru/media/for-managers/strategiya-razvitiya-predpriyaiya / Дата доступа: 12.03.2024.

4. Егорова А. О. Понятие и сущность эффективности деятельности предприятия / А.О. Егорова // Вестник магистратуры. – 2017. – №12–3 (75).

5. Колабаева Е. В. Эффективность деятельности предприятия и пути ее повышения / Е.В. Колабаева // Молодой ученый. – 2020. – №50 (340). – С. 102 – 104.

6. Меновщикова А. Н. Сущность и понятие эффективности деятельности организации / А.Н. Меновщикова // Интерактивная наука. – 2022. №9 (74). – С. 1 – 5.

УДК 621.825.6

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ДВУХШАРНИРНОЙ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧЕ

А. В. Котов
ОАО «Сейсмотехника»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. В современном сельскохозяйственном машиностроении в качестве элементов привода всевозможных навесных адаптеров от самоходной установки нашли широкое применение двухшарнирные карданные передачи (КрП). Как правило, изменение нагрузки, действующей на рабочих органах навесных адаптеров, носит неравномерный характер, что с учетом собственного кинематического несовершенства КрП делает данную передачу достаточно ответственным элементом конструкции, выход из строя которой приводит к большим затратам времени, связанным с устранением отказа. На рис. 1 в качестве примера показана поломка ведущего вала двухшарнирной КрП привода жатки в зоне установки первой подшипниковой опоры на наклонной камере зерноуборочного комбайна. Исключение возможных выходов из строя элементов конструкции КрП возможно только за счет всестороннего рассмотрения характера их нагружения и определения действующих в них нагрузок.



а



б

Рис. 1 – Общий вид поломки ведущего вала КрП привода жатки: а – вид поломки на наклонной камере; б – вид поломки ведущего вала

Цель исследования. Известные на сегодняшний день аналитические зависимости [1-3] позволяют определить действующие в одно- и двухшарнирной КрП нагрузки, но только в скалярном виде (без учета их направления). Предполагается, что направление рассчитанных таким образом нагрузок определяется путем составления дополнительных графических расчетных схем, что не всегда является удобным. Кроме того, указанные зависимости являются слишком громоздкими в случае применения их для исследования нагруженности поликарданных передач. Поэтому получение универсальных, удобных и наглядных аналитических зависимостей для определения действующих нагрузок в КрП является все еще актуальной задачей.

Постановка задачи. Кинематическая схема рассматриваемой двухшарнирной КрП приведена на рис. 2. В работе [4] был представлен метод векторного анализа кинематических характеристик данной передачи, с помощью которого была описана в векторах кинематика всех ее характерных точек.

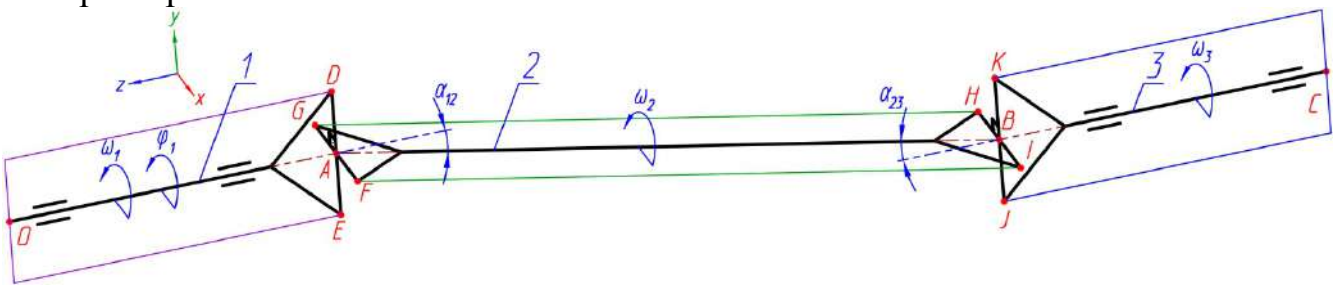


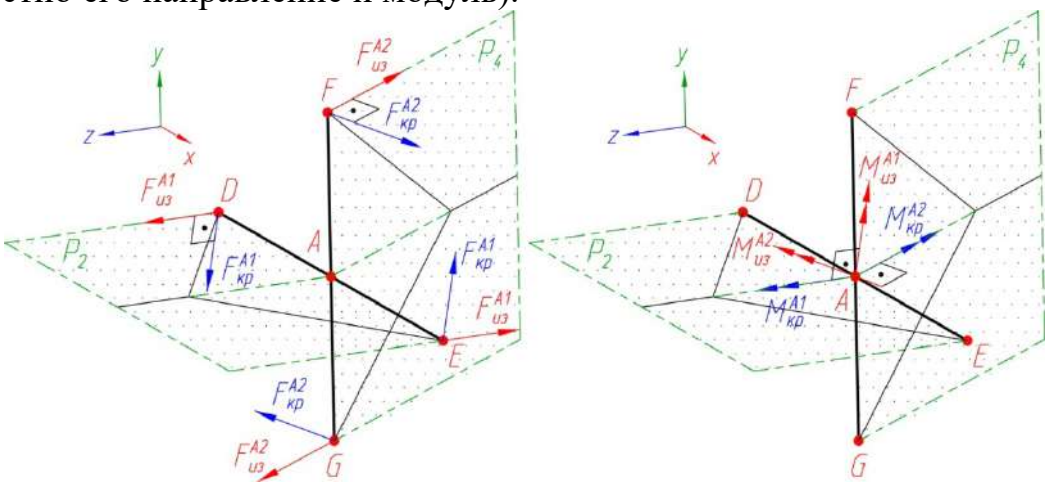
Рис. 2 – Кинематическая схема двухшарнирной КрП: 1 – ведущий вал; 2 – промежуточный вал; 3 – ведомый вал

В работах [1-3] показано, что в общем случае в шарнирах вилки КрП со стороны ее крестовины действует пара крутящих и пара изгибающих сил, которые могут быть приведены к соответствующим крутящим и изгибающим моментам. Как известно для обеспечения векторного условия равновесия произвольной системы сил, приложенных к некоторому телу, необходимо и достаточно, чтобы главный вектор системы сил и главный вектор моментов системы сил относительно любого центра приведения были равны нулю.

Рассмотрим крестовину, соединяющую вилки ведущего и промежуточного валов (рис. 3). Действующие в шарнирах крестовины пары крутящих (лежащих в плоскости осей крестовины) и изгибающих (лежащих в плоскости, проходящей через ось соответствующего вала) сил, как со стороны вилки ведущего вала, так и со стороны вилки промежуточного вала являются взаимно перпендикулярными друг к другу (рис 3, а) [1]. Если привести все указанные пары сил к центру вращения крестовины, то условие равенства главного вектора системы сил нулю будет обеспечено, а на крестовину со стороны вилки ведущего и

промежуточного валов будут действовать только крутящие и изгибающие моменты (рис 3, б).

Направление векторов всех приведенных моментов, действующих на крестовину со стороны вилок ведущего и промежуточного валов, будет однозначно определяться кинематикой КрП в зависимости от угла поворота вилки ведущего вала φ_1 (изменения обобщенной координаты, рис. 1). Причем вектор крутящего момента, действующий на крестовину со стороны вилки ведущего вала, является полностью определенным (известно его направление и модуль).



а) б)

Рис. 3 – Расчетная схема к равновесию крестовины: а – равновесие пар сил; б – равновесие приведенных моментов

В результате при составлении векторного условия моментного равновесия для крестовины, неизвестными остаются только следующие три параметра: модули двух изгибающих моментов со стороны вилок ведущего и промежуточного валов, а также модуль крутящего момента со стороны вилки промежуточного вала. Таким образом, рассматриваемая крестовина является статически определимой и задача по нахождению действующих на нее нагрузок может быть решена.

Методы исследований. Запишем условие обеспечения равенства нулю главного вектора моментов системы сил для крестовины с центром в т. А в следующем векторном виде (см. рис. 3, б):

$$\vec{M}^{A1}_{кр} + \vec{M}^{A2}_{кр}(\varphi_1) + \vec{M}^{A1}_{из}(\varphi_1) + \vec{M}^{A2}_{из}(\varphi_1) = 0\,. \qquad (1)$$

Представим все входящие в выражение (1) вектора моментов через их модуль и единичный направляющий вектор (см. рис. 1):

$$\vec{M}^{A1}_{кр} = M^{A1}_{кр}\cdot Ort(\vec{AO})\,; \qquad \vec{M}^{A2}_{кр}(\varphi_1) = M^{A2}_{кр}(\varphi_1)\cdot Ort(\vec{AB})\,; \qquad (2)$$

$$\vec{M}^{A1}_{из}(\varphi_1) = M^{A1}_{из}(\varphi_1)\cdot Ort(\vec{OA}\times\vec{AD}(\varphi_1))\,; \quad \vec{M}^{A2}_{из}(\varphi_1) = M^{A2}_{из}(\varphi_1)\cdot Ort(\vec{AB}\times\vec{AG}(\varphi_1))\,. \qquad (3)$$

Выражениями (2) направление векторов крутящих моментов задано через единичный вектор оси каждого вала, которые предварительно были описаны в кинематическом анализе двухшарнирной КрП, приведенного в работе [4]. Выражениями (3) направление векторов изгибающих моментов определяется правилом векторного произведения соответствующих звеньев (перпендикулярно плоскости образованной перемножаемыми векторами).

Подставляя выражения (2) и (3) в выражение (1) и перенеся известные величины в правую часть равенства, получаем следующую векторную запись условия моментного равновесия для крестовины с центром в т. А:

$$M_{кр}^{A2}(\varphi_1)\cdot Ort(\vec{AB}) + M_{из}^{A1}(\varphi_1)\cdot Ort(\vec{OA}\times\vec{AD}(\varphi_1)) + M_{из}^{A2}\cdot Ort(\vec{AB}\times\vec{AG}(\varphi_1)) = -M_{кр}^{A1}\cdot Ort(\vec{OA}).$$

Данное векторное уравнение представляет собой в общем случае систему из трех линейных уравнений, решение которой можно представить в следующей матричной форме:

$$\begin{bmatrix} M_{кр}^{A2}(\varphi_1) \\ M_{из}^{A1}(\varphi_1) \\ M_{из}^{A2}(\varphi_1) \end{bmatrix} = a_{12}(\varphi_1)^{-1}\cdot b_{12}, \qquad (4)$$

где $a_{12}(\varphi_1)$ – основная матрица системы уравнений; b_{12} – матрица-столбец свободных членов системы уравнений.

В результате решения системы уравнений (4) в матричном виде можно найти скалярные значения искомого крутящего момента и двух изгибающих моментов, действующих на крестовину с центром в т. А со стороны соединяемых ею вилок, в зависимости от изменения обобщенной координаты. По найденным скалярным значениям моментов, используя выражения (2) и (3) находятся соответствующие вектора моментов. Аналогичный порядок действий проводится при определении нагрузок, действующих в шарнирах для следующей крестовины КрП с центом в т. В (см. рис. 1).

Результаты и обсуждение. Используя исходные данные, приведенные в работе [4], а также задавшись произвольным крутящим моментом на ведущем валу, например $M_{кр}$=500 Н·м, били рассчитаны все нагрузки, действующие в рассматриваемой двухшарнирной КрП предложенным векторным методом.

По полученным результатам расчета были построены различные графические зависимости изменения крутящего и изгибающего моментов в зависимости от изменения того или иного параметра КрП. Например, на рис. 4 приведены графики изменения изгибающего момента на вилке ведомого вала двухшарнирной КрП в зависимости от угла $\alpha=\alpha_{12}=\alpha_{23}$ наклона между осями валов в плоскости передачи (рис. 1).

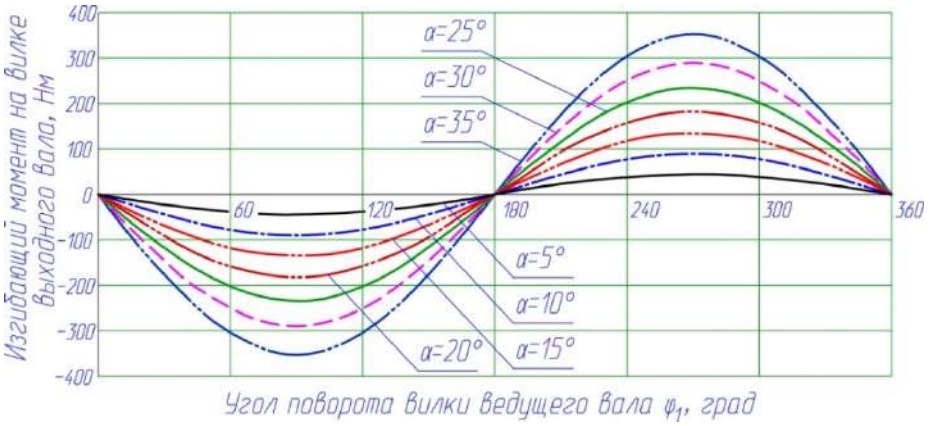
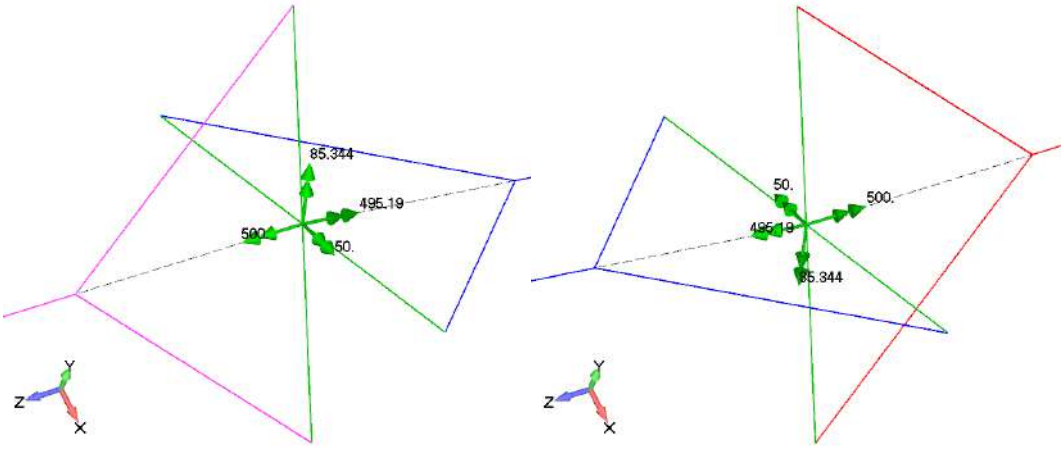


Рис. 4 – Графики изменения изгибающего момента на вилке ведомого вала в зависимости от угла $\alpha=\alpha_{12}=\alpha_{23}$ наклона между осями валов

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что вектор изгибающего момента воздействует периодически на вилки валов двухшарнирной КрП, а при повороте на 180° меняет свое направление. Таким образом, нагрузки, действующие на элементы конструкции КрП, являются переменными и за один оборот ведущего вала дважды достигают максимума и минимум. При этом изгибающие моменты достигают своего максимального значении, когда плоскости вилок ведущего и ведомого валов расположены перпендикулярно плоскости передачи, и равны нулю, когда плоскости вилок лежат в плоскости передачи.

Проверка адекватности нахождения предложенным векторным методом крутящих и изгибающих моментов, действующих на крестовинах рассматриваемой КрП, проводилась в специализированной программе на соответствующей модели. На рис. 5 приведены увеличенные фрагменты модели КрП для участков расположения крестовин, соединяющих вилки ведущего и промежуточного валов (рис. 5 а), а также промежуточного и ведомого валов (рис. 5 б). На показанных фрагментах выведены в виде векторов моментов все нагрузки, действующие на каждую крестовину со стороны соединяющих ею вилок, для угла поворота вилки ведущего вала 30°. Проведенная проверка подтвердили абсолютную адекватность полученных векторным методом нагрузок (крутящих и изгибающих моментов), действующих на крестовинах (вилках) рассматриваемой двухшарнирной КрП.



а) б)

Рис. 5 – Проверка расчетных нагрузок в крестовинах валов: а – для ведущего и промежуточного; б – для промежуточного и ведомого

Выводы. Представленный в данной работе векторный метод определения нагрузок, действующих в двухшарнирной КрП, позволяет доступно и наглядно аналитически находить вектора крутящих и изгибающих моментов, действующих на крестовинах и вилках рассматриваемой передачи. Этот метод легко поддается формализации и алгоритмизации в любых современных математических пакетах и языках программирования, а также позволяет применять различные методы оптимизации и параметризации для решения поставленной технической задачи. Применение данного метода позволяет проводить различные прочностные расчеты элементов конструкции как для двухшарнирной КрП, так и для поликарданной передачи любой сложности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожевников С. Н. Карданные передачи. - Киев: Техніка, 1978. - 264 с.

2. Малаховский Я. Е. Карданные передачи. - М.: МАШГИЗ, 1962. - 156 с.

3. Флик Э. П. Механические приводы сельскохозяйственных машин. - М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

4. Котов А. В. Векторный анализ кинематических характеристик двухшарнирной карданной передачи // Тракторы и сельхозмашины. - 2020. - Т. 87. - №1. - С. 39-48. doi: 10.31992/0321-4443-2020-1-39-48.

УДК 631.35, 681.52

ОПЫТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КОПИРОВАНИЯ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Д. В. Джасов, Ю. В. Чупрынин
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Современный кормоуборочный комбайн является технически сложным изделием, конкурентоспособность которого определяется не только техническим уровнем его агрегатов и систем, а также стабильностью выполнения технологического процесса.

Для обеспечения качественного технологического процесса уборки урожая с поля с минимальными потерями необходимо обеспечить поддержание заданной высоты среза относительно опорной поверхности поля. Учитывая, что поверхность поля имеет естественные неровности, для поддержания постоянства высоты среза необходимо обеспечить возможность копирования адаптером рельефа поля.

Для обеспечения качественного процесса уборки перенос всей массы адаптера на опорные элементы не допустим, так как это приведет к значительному увеличению сопротивления передвижению, разрушению верхнего слоя почвы и попаданию ее в технологический тракт, что приведет к повышенным потерям урожая или нарушению технологического процесса. Поэтому при проектировании кормоуборочных комбайнов применяют системы копирования, которые позволяют перенести значительную часть массы адаптера на раму сельскохозяйственной машины. При этом механизм копирования должен обеспечивать не только снижение величины нагрузки на опорные элементы конструкции адаптера до допустимой величины, но и иметь диапазон изменения ее в допустимых пределах, обеспечивая при этом постоянный контакт опорных элементов с почвой [1].

В кормоуборочных комбайнах, наиболее широкое применение получили механизмы пассивного копирования с использованием в качестве упругого элемента пневмогидроаккумуляторов (ПГА), гидравлически соединённых с гидроцилиндрами (ГЦ) навесной системы (рис. 1).

Согласно классификации, предложенной автором в [2], представленная на рис. 1 схема представляет собой систему продольного копирования гидропневматического типа с рабочим замкнутым контуром ГЦ-ПГА, отслеживание профиля поля силовое (т.е. по остаточной реакции на башмаке) с помощью контакта башмака с поверхностью. В пассивных системах данного типа для разгрузки опорных элементов адаптера

используются те же гидроцилиндры, которые осуществляют подъем и перевод адаптера в транспортное положение. Отсюда следует неоспоримое преимущество таких систем – нет необходимости иметь два исполнительных элемента: установленный гидроцилиндр служит, как для разгрузки адаптера при осуществлении технологического процесса в диапазоне копирования, так и для подъема его в транспортное положение.

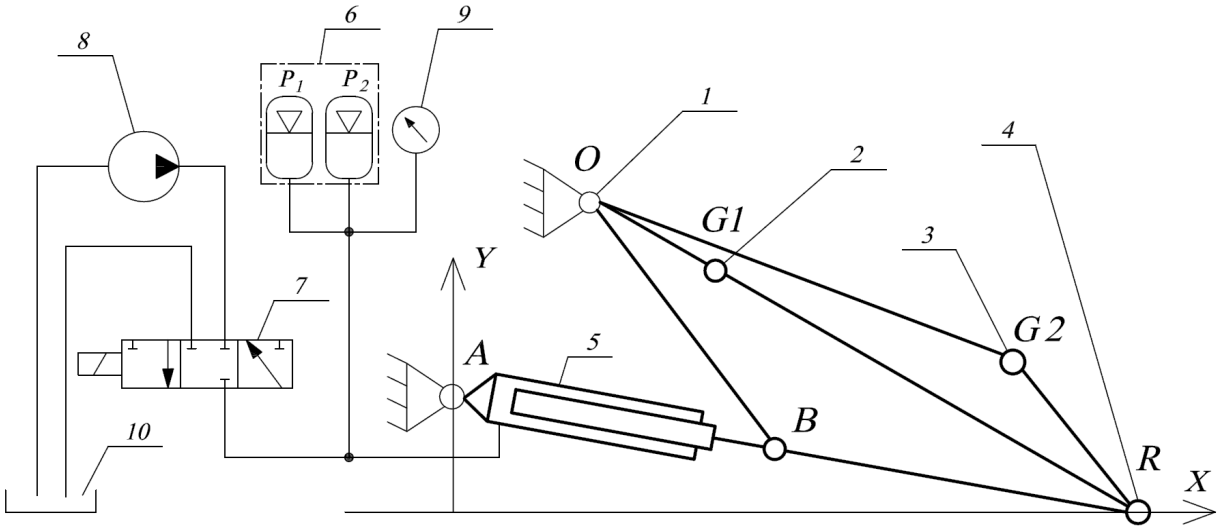


Рис. 1 – Принципиальная схема системы уравновешивания с ПГА: 1 – ось качания ПИА совместно с адаптером; 2 – точка *G1* – центр тяжести ПИА; 3 – точка *G2* – центр тяжести адаптера; 4 – точка *R* опорный элемент адаптера; 5 – гидроцилиндр; 6 – блок ПГА; 7 –гидро-распределитель; 8 – гидронасос; 9 – датчик давления; 10 – гидробак.

В представленной на рис. 1 схеме, адаптер жестко присоединен к питающе-измельчающему аппарату (ПИА) и совершает копирование профиля поля за счет качания совместно с ПИА вокруг шарнира, расположенного на оси вращения вала измельчающего барабана.

Такая схема получила широкое распространение в кормоуборочных комбайнах не только благодаря минимальному количеству используемых элементов и простоте компоновки. Широкое использование связано также с тем, что качание ПИА совместно с адаптером вокруг оси вращения измельчающего барабана позволяет иметь постоянный зазор между подающими вальцами питающего аппарата и ножами измельчающего барабана, а жесткое соединение адаптера с питающе-измельчающим аппаратом позволяет организовать стационарную зону перехода технологической массы из адаптера в питающий аппарат [3].

Как было сказано выше, при проектировании механизма копирования гидропневматического типа, основной задачей является поддержание величины реакции на башмаке на уровне условного горизонта с минимизацией ее разброса во всем диапазоне

копирования. Это условие достаточно просто выполняется известными методами [3], если речь идет об обеспечении копирования комбайна, агрегатируемого с одним адаптером. Однако в реальности в течение уборочного сезона на кормоуборочных машинах могут применяться различные адаптеры в зависимости от убираемой культуры и цели уборки – жатки для грубостебельных культур, травяные жатки или подборщики. Все эти адаптеры обладают как разной массой, так и вылетом центра тяжести, что приводит к необходимости поиска компромисса между “идеальной” характеристикой копирования для каждого из них и возможностью обеспечения удовлетворительной работоспособности для всего шлейфа применяемых адаптеров.

Ситуация усугубляется тем, что на характеристику копирования существенное влияние оказывает величина гистерезиса при подъеме и опускании адаптера, вызванная потерями на трение в элементах гидравлики: прокладок о гильзу, местными сопротивления и пр. Так как в механизме копирования применяются гидроцилиндры одного типоразмера, то величина этого гистерезиса будет одинаково постоянной, но величина вклада его в характеристику копирования для более легкого адаптера будет более существенной чем, для самого тяжелого.

В связи с этим при проектировании нового механизма копирования была поставлена задача: осуществить подбор параметров гидропневматической системы копирования таким образом, чтобы обеспечить удовлетворительное копирование для всего шлейфа применяемых адаптеров. Для удобства описания в тексте, адаптеры будем называть следующим образом: жатка для уборки трав – адаптер 1, наиболее тяжелый по массе; жатка для уборки грубостебельных культур – адаптер 2; подборщик – адаптер 3, наиболее легкий и отличается по массе в 1,9 раза. Данная задача решалась с помощью широко известного векторного способа исследования механизмов [1, 4, 5], используемого для кинематического и силового анализа любых рычажных механизмов, а также модуля математического описания работы системы ГЦ-ПГА [3].

Предварительный анализ показал, что при использовании различных адаптеров из-за разного рабочего давления в гидросистеме в диапазоне копирования не представляется возможным обеспечить параметры ПГА с одним значением давления закачки газом. Поэтому было принято решение использовать два блока ПГА: с зарядкой газом одного блока – 50 кг/см^2, а второго – 25 кг/см^2. Использование двух разных блоков позволяет обеспечивать характеристику копирования наиболее легкого адаптера при сохранении удовлетворительной характеристики более тяжелых адаптеров.

Для снижения влияния величины гистерезисных потерь на рабочую характеристику копирования, необходимо стремиться использовать максимальные значения рабочего давления в замкнутой полости системы

ГЦ-ПГА [3]. Поэтому для максимизации рабочего давления в гидросистеме для всех трех адаптеров применены гидроцилиндры с рабочим диаметром плунжера 63 мм. Также для формирования характеристики копирования настроечное давление закачки жидкости в замкнутую полость системы ГЦ-ПГА для каждого из адаптеров было подобрано таким образом, чтобы при опускании адаптера в нижний диапазон копирования нагрузка на башмаке никогда не была отрицательной, т.е. чтобы адаптер не зависал в промежуточном положении.

Полученные результаты изменения нагрузки на башмаке адаптера при копировании профиля поля при движении адаптера вверх представлены на рис. 2. Для удобочитаемости графиков характеристика изменения нагрузки на башмаке при движении адаптера вниз была опущена. Из-за малого изменения рабочего давления в замкнутой полости гидросистемы величина гистерезисных потерь практически постоянна. Поэтому характеристика изменения нагрузки при движении вниз будет располагаться параллельно и для получения представления о нижней линии графика необходимо из представленных на рис. 2 значений вычесть следующие величины: для адаптера 1 – 38 кгс, для адаптера 2 – 30 кгс, для адаптера 3 – 35 кгс.

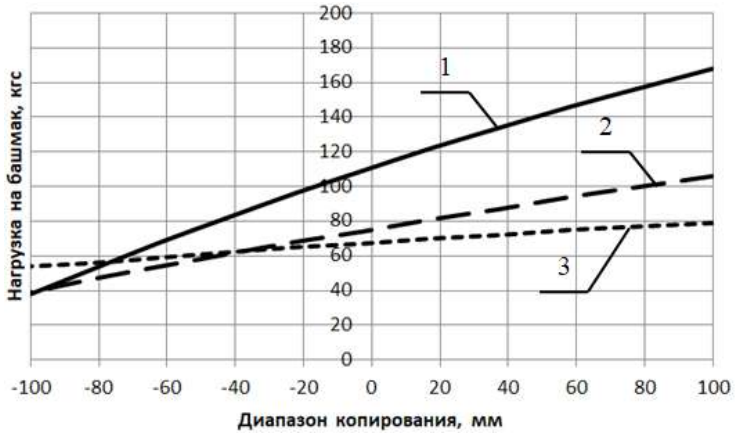
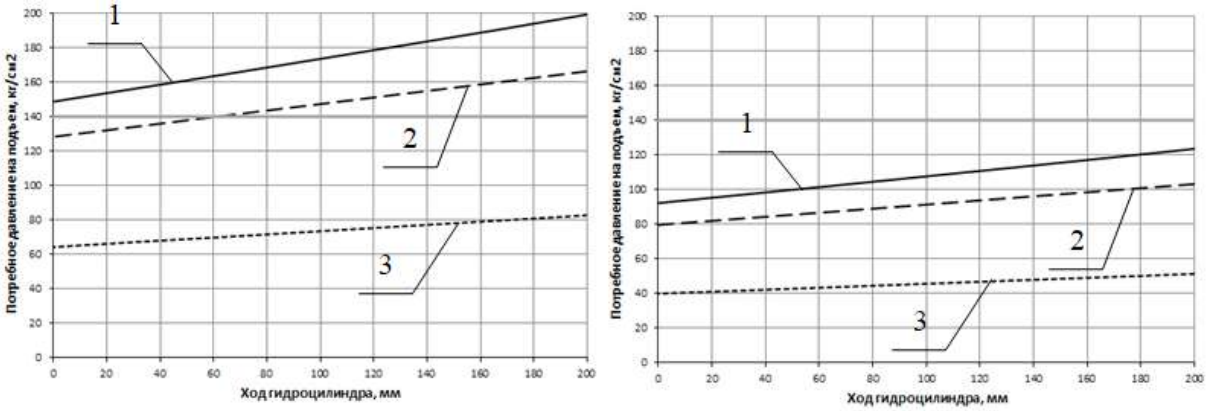


Рис. 2 – Изменение нагрузки в диапазоне копирования на башмаках: 1 – адаптера 1, 2 – адаптера 2, 3 – адаптера 3.

По результатам расчета нагрузка на башмак в среднем положении диапазона копирования при движении вверх с использованием гидроцилиндров ∅63 мм составляет: для адаптера 1 – 109 кгс, для адаптера 2 – 75 кгс, для адаптера 3 – 65 кгс. Разброс значений реакции от минимального до максимального значения составляет: для адаптера 1 – 130 кгс, для адаптера 2 – 67 кгс, для адаптера 3 – 48 кгс. Как видим из результатов полученных характеристик для всех трех адаптеров, наибольшая величина нагрузки на башмак и максимальный разброс значений это нагрузке в диапазоне копирования наблюдается для адаптера

1. При этом для адаптеров 2 и 3, как величина нагрузки, так и ее разброс находится в допустимых пределах. Снизить величину реакции для адаптера 1 при принятых параметрах механизма копирования не представляется возможным. Поэтому предполагалось выйти из положения за счет применения башмаков жатки с повышенной площадью контакта с опорной поверхностью.

Дальнейшее исследование работоспособности системы гидропневматической системы показало, что при хорошей полученной характеристике копирования всех трех адаптеров, невозможен подъем самых тяжёлых адаптеров 1 и 2 (см. рис. 3, а). Как показывают результаты расчета, это связано с тем, что потребное для подъема адаптера давление превышает давление предохранительного клапана системы, заложенное техническим заданием. При этом для адаптера 1 превышение давление происходит во всем диапазоне подъема, а для адаптера 2 наблюдается не полный подъем до величины хода ГЦ 75 мм или 150 мм по башмаку, что недостаточно для полноценной работы комбайна при уборке.



(*а*) (*б*)

Рис. 3 – Характеристика подъема адаптеров с ГЦ ∅63 мм (*а*) и с ГЦ ∅80 мм (*б*): 1 – адаптер 1, 2 – адаптер 2, 3 – адаптер 3.

Как видим из предыдущего анализа, установка гидроцилиндров с диаметром плунжера 63 мм, хорошо подходящего для обеспечения удовлетворительной характеристики копирования, недопустима, так как не обеспечивается полный подъем адаптеров 1 и 2. Следовательно, для обеспечения максимального подъема любых адаптеров, применяемых с кормоуборочным комбайном, необходимо использовать гидроцилиндры с большим диаметром. Предварительный расчет показал, что для обеспечения работоспособности комбайна со всеми адаптерами во всем диапазоне подъема необходимо использовать гидроцилиндры с диметром плунжера не менее 80 мм (рис. 3 б). В этом случае подъем самого тяжелого адаптера обеспечивается с запасом 13% по давлению.

В то же время использование гидроцилиндров с диаметром плунжера 80 мм приводит к тому, что значительно изменяется характеристика копирования адаптеров (рис. 4).

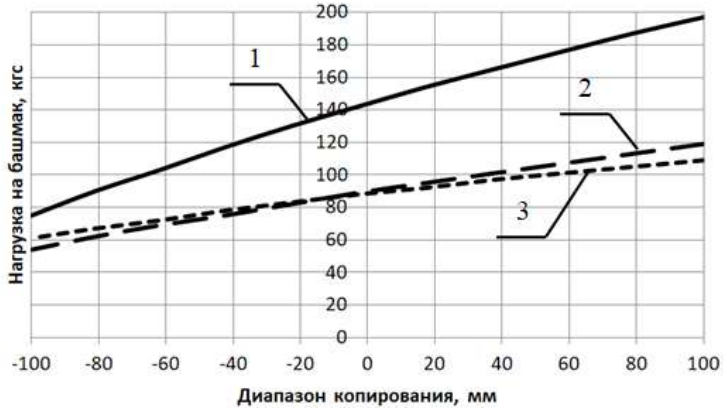


Рис. 4 – Изменение нагрузки в диапазоне копирования на башмаках (с ГЦ ∅80 мм): 1 – адаптера 1, 2 – адаптера 2, 3 – адаптера 3.

По результатам расчета нагрузка на башмак адаптера (рис. 4) в среднем положении диапазона копирования при движении вверх с использованием гидроцилиндров ∅80 мм составит: для адаптера 1 – 142 кгс, для адаптера 2 – 90 кгс, для адаптера 3 – 88 кгс. Разброс значений реакции от минимального до максимального значения составит: для адаптера 1 – 122 кгс, для адаптера 2 – 65 кгс, для адаптера 3 – 48 кгс.

Как видим из результатов расчета механизма копирования с гидроцилиндрами с диаметром плунжера 80 мм, значительно растет не только величина нагрузки на башмаке в середине диапазона копирования в 1,2…1,35 раза, но и ее разброс для наиболее легкого адаптера 3 в крайних точках диапазона копирования.

Из вышеизложенного следует, что применение первого ГЦ (с плунжером ∅63 мм) не обеспечивает подъем наиболее тяжелых адаптеров во всем диапазоне, а применение второго ГЦ (с плунжером ∅80 мм) – не обеспечивает удовлетворительную характеристику копирования всех трех адаптеров. Для решения этого противоречия коллективом авторов [6] было предложено техническое решение, обеспечивающее работоспособность систем подъема и уравновешивания во всем диапазоне работы навески кормоуборочного комбайна с помощью использования тандем-ГЦ, схема которого представлена на рис. 5.

Он состоит из двух совмещенных в одном корпусе гидроцилиндров, плунжерного и поршневого типов с разделенными рабочими полостями, и совмещает две функции в механизме навески: функции подъема и функции копирования. При подъеме и опускании адаптеров работает поршневая полость большего диаметра, а при осуществлении технологического процесса происходит закачка жидкости до давления, необходимого для

уравновешивания адаптера, в полость с меньшим диаметром плунжера системы ГЦ-ПГА.

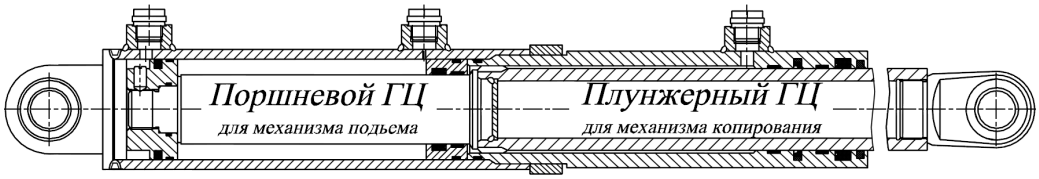


Рис. 5 – Тандем-гидроцилиндр.

Таким образом, благодаря сформированной математической модели механизмов подъема и уравновешивания адаптеров было выявлено и сформулировано противоречие, устранение которого позволило найти техническое решение, обеспечивающее работоспособность механизма копирования и подъема кормоуборочного комбайна при агрегатировании его со всем шлейфом используемых с ним адаптеров. Данное техническое решение успешно испытано в полевых условиях и внедрено в конструкцию навески и системы копирования гидропневматического типа некоторых кормоуборочных машин производства ОАО «Гомсельмаш».

ЛИТЕРАТУРА

1. Джасов Д. В. Математическая модель механизма уравновешивания и подъема косилки-плющилки ротационной /Д.В. Джасов, А.Д. Конявский, А.С. Шантыко, Ю.В. Чупрынин// Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр./ ГНУ «Объед. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси». – Минск, 2020 – Вып. 9/ редкол.: С. Н. Поддубко (пред.) [и др.]. – С. 27-30.

2. Джасов Д. В. Обзор и классификация систем копирования поверхности поля в конструкциях уборочных сельскохозяйственных машин/ Д.В. Джасов// Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – №4 (65). – С.5-15.

3. Рехлицкий О. В. Математическое описание системы уравновешивания адаптеров мобильной кормоуборочной машины с применением пневмогидроаккумулятора/ О.В. Рехлицкий, Ю.В. Чупрынин // Механика машин, механизмов и материалов.– 2014. – №1(26). – С. 40–48.

4 Джасов Д. В. Оптимизация параметров механизма подъёма капота косилки с применением газовых пружин/ Д.В. Джасов, Д.Н. Иванов, А.С. Шантыко// Вестник аграрной науки Дона. – 2018.–№2(42). – С.65-73.

5. Котов А. В. Векторный анализ кинематических характеристик двухшарнирной карданной передачи// Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – Т.87. – №1. – С.39-48.

6. Гидравлический привод подъемного устройства уборочного модуля сельскохозяйственной машины: пат. BY 22334 / В.В. Подрез, И.В. Волков, Н.В. Шиш. – Опубл. 28.02.2018.

УДК 621.634

МЕХАНИЗМ НАТЯЖЕНИЯ ПРИВОДНОЙ ЦЕПИ

В. А. Кацуба, А. В. Хаданович
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

История цепных передач уходит своими корнями в далёкое прошлое. В 1880 году *Ганс Ренольд* предложил и внедрил первую в мире втулочно-роликовую цепь. Это стало решающим моментом, обусловившим успех и повсеместное использование цепных передач во всех областях промышленности по всему миру. Все современные приводные цепи основаны на конструкции, разработанной Гансом Ренольдом [1].

В машиностроении механизм натяжения втулочно-роликовой приводной цепи играет важную роль в обеспечении надёжной и стабильной работы цепных передач. Цепные приводы широко применяются в различных отраслях промышленности и техники благодаря их способности передавать большие нагрузки на значительные расстояния.

Введение

Организация надёжной и долговечной работы приводной цепи представляет собой сложную инженерную задачу, требующую тщательного подхода к проектированию механизма натяжения. Этот механизм играет критически важную роль в поддержании стабильного натяжения цепи, что, в свою очередь, предотвращает её износ и способствует увеличению срока службы всей системы. Однако одной из наиболее значимых проблем, с которой сталкиваются инженеры, является организация механизма натяжения цепи. Недостаточная жёсткость опор или их неправильное расположение может привести к неравномерному натяжению цепи, что вызывает ускоренный износ цепных звеньев и зубьев звездочек, снижает общую надёжность системы и, в конечном итоге, может стать причиной её поломки.

Особенно сложной задачей становится проектирование натяжного механизма в тех случаях, когда опоры передачи обладают большим вылетом или ограниченным пространством на раме, что значительно усложняет процесс их проектирования и монтажа. В некоторых конструкциях может возникнуть ситуация, при которой организация опор оказывается невозможной из-за наличия других передач или компонентов, занимающих необходимое пространство. Эти ограничения особенно актуальны для реверсивных передач, где при смене направления вращения цепь подвергается дополнительным нагрузкам, создающим значительные

колебания натяжения. Такие колебания требуют особого внимания к проектированию не только самого натяжного механизма, но и системы его опор [2].

В данной работе рассмотрены основные подходы и существующие решения для организации опор натяжных механизмов в условиях ограниченного пространства и сложных конструкционных ограничений. Также предложен механизм натяжения приводной цепи, который позволит повысить их надёжность и эффективность в условиях реверсивных цепных передач. Рассматриваемое решение направлено на обеспечение стабильного и равномерного натяжения цепи, даже в условиях сложных эксплуатационных нагрузок, что является ключевым фактором для долговечной и бесперебойной работы приводной системы.

Цель исследования

Цель данного исследования заключается в разработке механизма натяжения приводной цепи для конструкций, где имеется значительное расстояние между цепной передачей и рамой, а также в тех случаях, когда невозможна организация опоры натяжного механизма на раме. Дополнительно исследование направлено на проектирование реверсивной цепной передачи, в которой натяжная звёздочка не испытывает нагрузок при изменении направления вращения.

Методология исследования

Для достижения целей данного исследования была разработана комплексная методология, включающая следующие этапы:

1. Анализ существующих решений и теоретическое обоснование:

1.1 Проведен обзор научной литературы и технической документации по механизмам натяжения приводных цепей.

1.2 Исследованы типовые конструкции натяжных механизмов, используемых в промышленных цепных передачах, включая реверсивные системы.

1.3 Проанализированы основные проблемы, связанные с проектированием механизмов натяжения в условиях ограниченного пространства и большого расстояния между цепной передачей и рамой.

2 Моделирование и проектирование:

2.1 Разработаны теоретические модели для оценки натяжных усилий и распределения нагрузок в цепных передачах с учётом большого вылета и отсутствия возможности установки опор на раме.

2.2 Выполнено компьютерное моделирование различных конструкций натяжных механизмов, включая реверсивные передачи, с целью оптимизации их работы.

3 Экспериментальная проверка и верификация моделей:

3.1 Создан прототип разработанной конструкции натяжного механизма для испытаний в реальных условиях эксплуатации.

3.2 Проведены полевые испытания для оценки работоспособности и надёжности спроектированных механизмов натяжения.

3.3 Полученные экспериментальные данные сопоставлены с результатами моделирования для верификации теоретических моделей и корректировки конструкций.

4 Оценка эффективности и оптимизация:

4.1 Выполнена оценка эффективности разработанных механизмов по ключевым показателям, включая стабильность натяжения, долговечность цепи, и устойчивость к нагрузкам при реверсировании.

4.2 Проведена оптимизация конструкций с учётом результатов испытаний, а также экономических и технологических факторов.

5 Подготовлена конструкторская документация, включающая чертежи, спецификации и руководство по эксплуатации и обслуживанию новых механизмов натяжения.

Использование данной методологии позволило не только разработать и протестировать новые решения для механизмов натяжения приводных цепей, но и предложить эффективные подходы к их применению в условиях сложных эксплуатационных ограничений.

Результаты исследования.

В рамках исследования рассмотрена классическая конструкция цепной передачи и механизма натяжения приводной цепи 2, представленные на рис. 1. Данная система включает ведущую 6, ведомую 1, обводную 5 и натяжную 3 звёздочки. Ввиду значительного межосевого расстояния между ведущей и ведомой звёздочками дополнительно используется обводная звёздочка. Это расстояние не только увеличивает срок службы цепи, но и благодаря близкому расположению цепи 2 к раме упрощает организацию механизма натяжения. Механизм натяжения закреплён на кронштейне, приваренном к раме, и включает в себя натяжную звёздочку 3 и натяжной винт 4. Для регулировки натяжения необходимо ослабить болт 7 крепления натяжной звёздочки 3 к кронштейну, переместить её вдоль паза с помощью натяжного винта 4 и, достигнув необходимого натяжения, снова затянуть болт 7 [3].

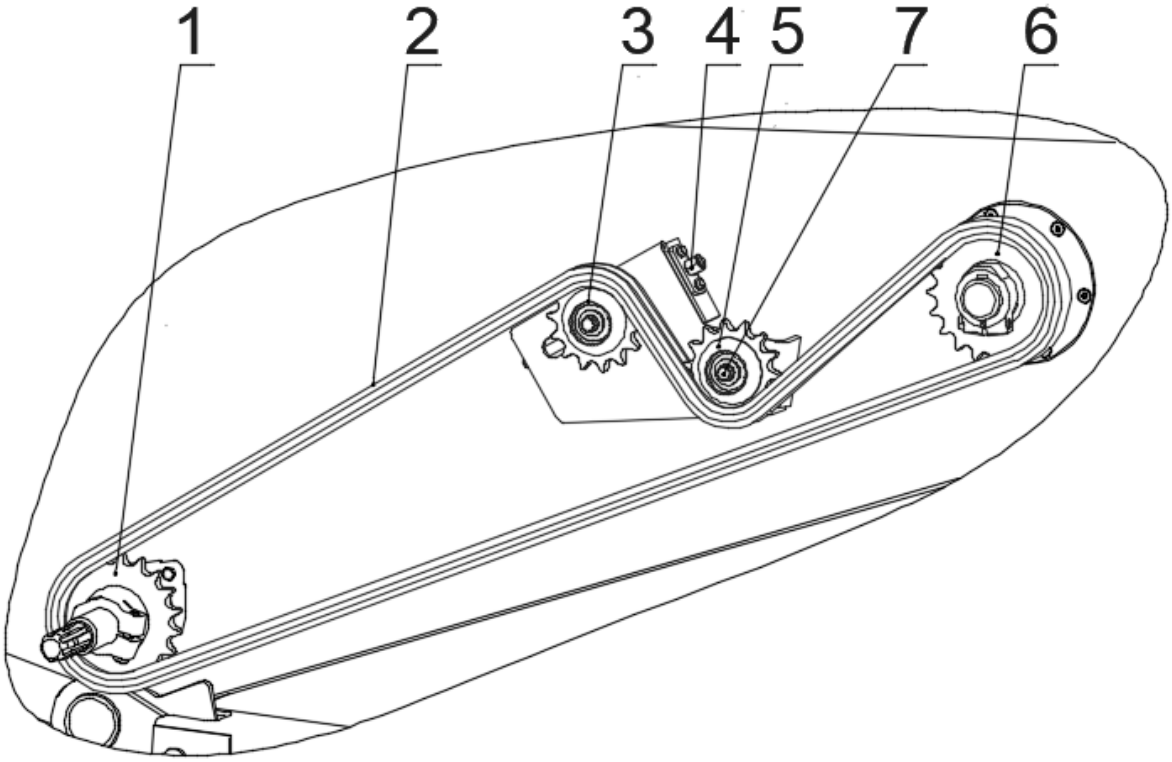


Рис. 1 – Классическая конструкция цепной передачи и механизма натяжения приводной цепи

Эта конструкция, хоть и является простейшей, выявляет несколько критических недостатков:

1. Невозможность использования в передачах с большой консолью.
2. Ограничения в применении там, где конструктивные элементы не позволяют установить опору на раме.
3. При реверсивной работе цепной передачи натяжная звёздочка воспринимает полную нагрузку, что негативно сказывается на её ресурсе.

Рассмотрим для сравнения предлагаемую конструкцию цепной передачи, представленную на рис. 2. Здесь выявлены следующие особенности:

1. Цепная передача расположена на большой консоли.
2. Весь контур цепи конструктивно изолирован от рамы приводным шкивом.
3. Небольшое межосевое расстояние значительно ограничивает пространство для размещения механизма натяжения.

Для решения проблемы натяжения цепи в данных условиях был предложен инновационный механизм натяжения. Его конструкция размещена на рычаге 1, который для обеспечения устойчивости и надёжности установлен на ведущем валу через подшипник 5. На рычаге находятся две звёздочки: одна 3, перемещаемая вдоль паза, расположена на ведомой ветви цепи и выполняет функцию натяжения; другая 4,

стационарная, установлена на ведущей ветви. Обе звёздочки участвуют в натяжении цепи, при этом они не подвергаются нагрузке от передачи крутящего момента.

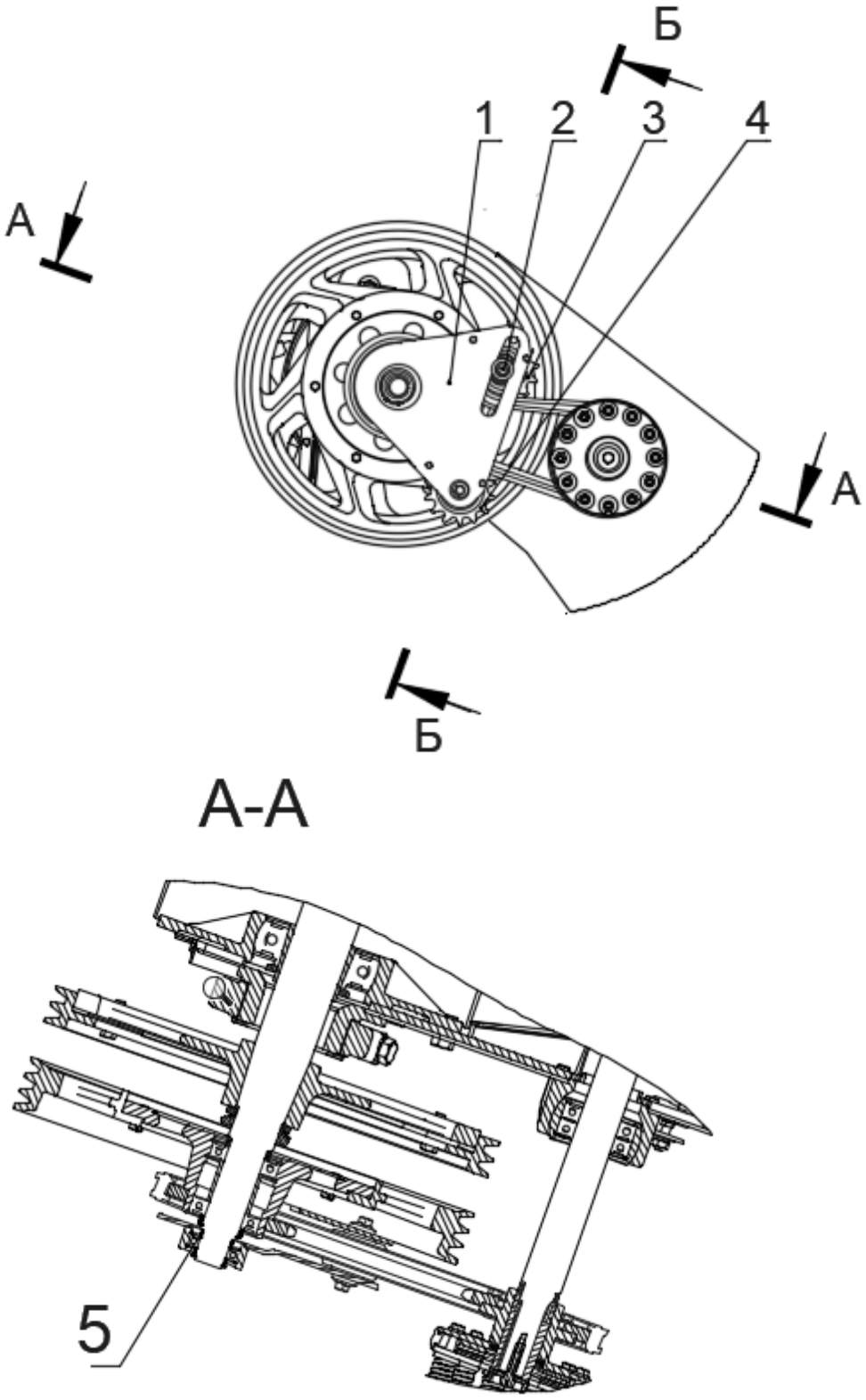


Рис. 2 – Предлагаемый механизм натяжения цепи

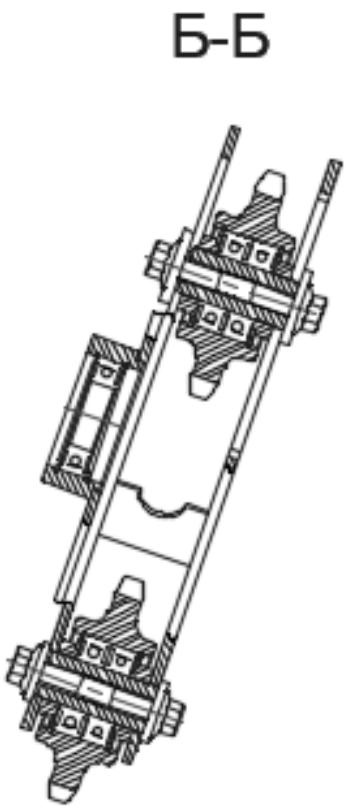


Рис. 2 – Предлагаемый механизм натяжения цепи (продолжение)

В процессе работы цепной передачи, когда передаётся крутящий момент, ведущая ветвь цепи отклоняет одну из звёздочек, тем самым инициируя натяжение цепи второй звёздочкой. При реверсировании направления вращения звёздочки меняются ролями, сохраняя свой статус ненагруженных элементов системы. Благодаря этому механизму натяжение цепи остаётся стабильным независимо от направления вращения. Приводная цепь автоматически натягивается во время передачи крутящего момента и ослабляется, когда вращение прекращается.

Регулировка натяжения цепи осуществляется путём ослабления болта 2 крепления звёздочки 3 к рычагу 1, перемещения звёздочек по направлению друг к другу и последующего затягивания болта 2. Для обеспечения надёжности работы цепной передачи рекомендуемый прогиб нижней ветви цепи должен составлять от 2 до 4 мм.

Этот механизм представляет собой значительный шаг вперёд в области проектирования приводных систем, устраняя основные недостатки традиционных конструкций и обеспечивая высокую надёжность и долговечность цепных передач даже в условиях ограниченного пространства и реверсных нагрузок.

Вывод

Конструкция предложенной цепной передачи представляет собой тщательно продуманное техническое решение для случаев, когда цепная передача расположена на значительном удалении от рамы, а возможности для организации традиционного натяжного механизма ограничены. Использование рычажного механизма с двумя звёздочками, каждая из которых автоматически выполняет функцию натяжения в зависимости от направления вращения, существенно повышает надёжность и долговечность цепной передачи. Эта система обеспечивает постоянное натяжение цепи вне зависимости от направления вращения, что снижает нагрузку на натяжную звёздочку при реверсировании, уменьшает износ и продлевает срок службы цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ренольд Ганс – Википедия (Wikipedia.org).
2. Проектирование цепных передач с применением ЭВМ.pdf – Яндекс Документы (yandex.by).
3. КОМБАЙН ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ САМОХОДНЫЙ (gomselmash.by).
4. ГОСТ 13568-97. Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 1997.
5. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. 2 — 8-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2001.

УДК 658.512.2

ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ И ЭСТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

А. В. Третинников
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Статья рассматривает улучшение эргономики рабочего места оператора и изменение экстерьера при модернизации универсального энергетического средства УЭС-280. В сравнении с 80-ми годами, когда разрабатывалось энергосредство, требования и ожидания пользователей сегодня существенно изменились, что требует от производителей адаптации к современным стандартам. Модернизация УЭС направлена на улучшение эргономики, функциональности и дизайна, что, в свою очередь, повысит его конкурентоспособность на рынке. Рассматриваются ключевые аспекты, такие как улучшение условий эксплуатации, обслуживания, отображения информации и современные отделочные материалы. В результате, предложенные изменения позволят не только удовлетворить текущие потребности пользователей, но и значительно повысить привлекательность машины и её эксплуатационные характеристики, способствуя улучшению эффективности труда механизаторов.

Введение. Универсальное энергетическое средство (УЭС) было разработано в 80-х годах и рабочее место оператора долгое время не претерпевало существенных изменений. С учетом небольшого, но устойчивого спроса на эту машину, назрела необходимость произвести её частичную модернизацию с целью улучшения потребительских качеств и получения более современного продукта. Это привлечет внимание большего числа потребителей, в результате мы можем повысить уровень продаж.

Предлагаемое обновление включает в себя внедрение современных технологий и улучшение функциональности рабочего места, чтобы соответствовать современным требованиям рынка и ожиданиям потребителя. Новая модернизированная версия будет обладать улучшенной эргономикой рабочего места, современными приборами отображения информации, лучшим уровнем освещенности, обновленным верхним строением, сохраняя при этом свой исторический стиль и узнаваемый дизайн.

Объект исследования. Универсальное энергетическое средство.

Цель исследования. Эргономические исследования универсального энергетического средства.

Методология исследований. Сравнительный анализ.

Результаты исследований

В последнее время уровень требований к комфорту у потребителя значительно вырос и выходит на первый план. Эта эволюция в требованиях и ожиданиях пользователей не останавливается, ведь планка комфорта неумолимо растёт вместе с техническим прогрессом. Современные технологии и инновационные решения становятся стандартами, к которым стремятся производители.

Обсуждая УЭС, важно подчеркнуть, что оно создавалось с большим заделом на будущее. На протяжении всех лет производства, оно не потеряло своей конкурентоспособности и продолжает оставаться актуальным на рынке. Технические характеристики этой машины отвечают множеству современных потребностей.

Учитывая требования современного потребителя, который ожидает не только функциональности, но и высокий уровень комфорта, становится очевидным, что есть перспектива в модернизации УЭС. Улучшая эргономику рабочего места и обновляя элементы дизайна, можно усилить привлекательность машины и привлечь большее число покупателей. Улучшение условий работы механизатора, добавление новых функций и современных технологий взаимодействия сделают УЭС более привлекательным для потребителей, которые ищут комфортные и эффективные решения для своих нужд.

Для оптимизации рабочего места оператора предлагается ряд модернизаций, которые существенно улучшают уровень комфорта. Первым шагом является улучшение обзорности с рабочего места, что может быть достигнуто за счёт применения новой кабины с большей площадью остекления, а также перекомпоновки пульта управления. Это позволит оператору лучше видеть рабочие зоны

Перенос входной двери избавит от неудобств, связанных с входом и выходом при сложенном силосопроводе (рис. 1). Это улучшит обзорность, доступ в кабину и упростит процесс перевода силосопровода в транспортное положение [1].

Новая кабина будет обладать улучшенной эргономикой, современными отделочными материалами, а также шумо- и виброизоляцией. Это создаст более комфортные условия, снизит уровень шума и утомляемость. Кроме того, в кабине будут установлены климатическая установка, места для хранения личных вещей, магнитола, розетка зарядного устройства, бортовой терминал (рис. 2), что сделает рабочее пространство более удобным и функциональным.





Рис. 1 – Общий вид модернизированного УЭС



Рис. 2 – Потолочная панель с охлаждаемым боксом, панелью управления климат-контролем и панелью управления освещением

Также стоит отметить, что современные приборы контроля и управления позволят постоянно держать под контролем все важнейшие параметры машины и техпроцесса. Это упрощает настройку оборудования и повышает эффективность работы (рис. 3). Удобный доступ к фильтрам климатической установки, электронным блокам и световым приборам также будет способствовать упрощению сервисного обслуживания.

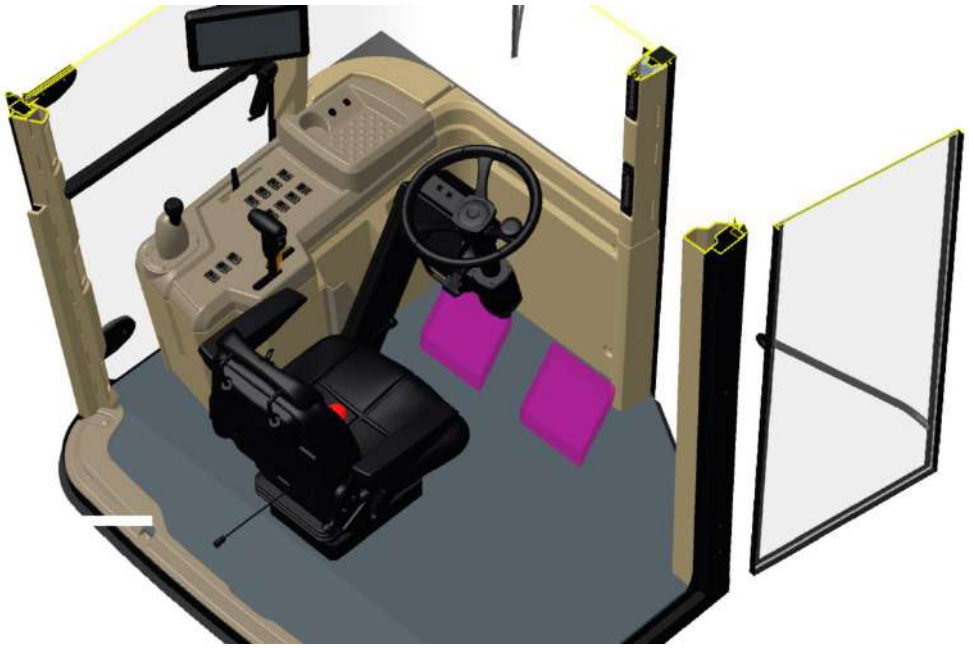


Рис. 3 – Общий вид рабочего места при движении капотом вперед

Новая более просторная кабина с новым креслом позволит повысить комфорт в работе, снизить утомляемость и упростить реверс поста управления (рис. 4). Все предложенные меры по улучшению комфорта значительно улучшат условия работы оператора, что важно для

повышения производительности труда и безопасности [2].

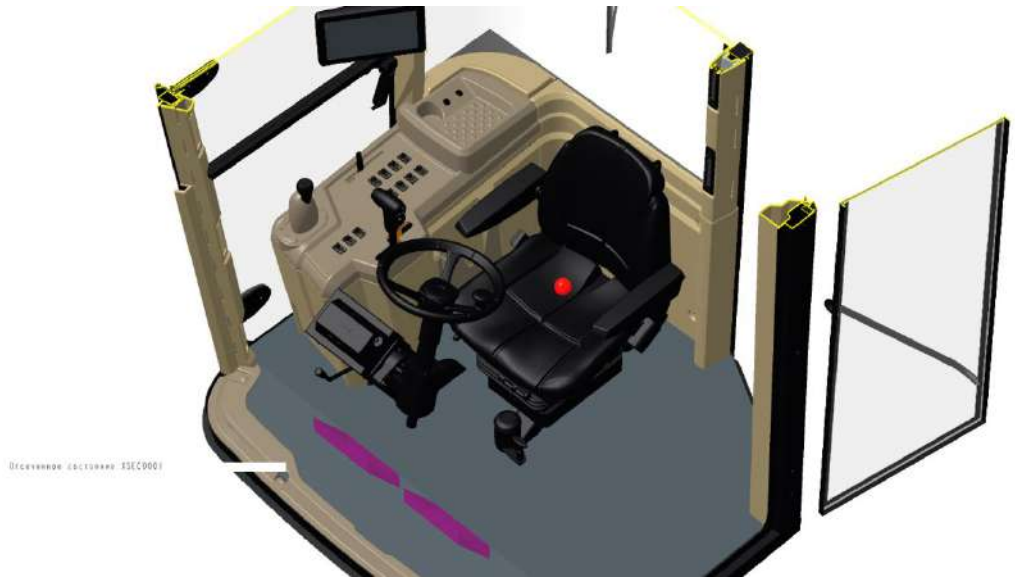


Рис. 4 – Общий вид рабочего места при движении кабиной вперед

Говоря о дизайне верхнего строения, на мой взгляд, оно не должно претерпевать значительных изменений, так как машина нацелена на бюджетный сегмент. Однако стоит отметить, что доработанный УЭС имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с серийными моделями УЭС-250 и УЭС-280 [1]. Одним из основных достоинств является улучшение обслуживания моторной установки. Благодаря увеличенной площади открывания новых капотов, проведение технических проверок и ремонта станет более удобным и быстрым процессом (рис. 5, рис. 6).

Также стоит упомянуть о реализации эффективного освещения и управления. Расположение полного комплекта фар и фонарей с двух сторон полностью устраняет необходимость в их перестановке при реверсе поста управления. Установленные два комплекта зеркал заднего вида существенно увеличивают видимость и безопасность, что позволяет значительно сократить время на выполнение манёвров [3]. Это является важным аспектом при работе в ограниченных пространствах и такие решения позволят уменьшить до минимума время реверсирования движения машины (рис. 7).



Рис. 5 – Общий вид УЭС с открытыми капотами



Рис. 6 – Вид сбоку УЭС с открытыми капотами



Рис. 7 – Вид сбоку УЭС

Улучшенная освещённость рабочей зоны также выделит новый УЭС среди остальных моделей. Установка большего количества рабочих фар позволяет обеспечить достаточную освещенность в условиях низкой видимости, что, в свою очередь повышает безопасность и эффективность выполнения задач, особенно в сложных условиях эксплуатации.

Более того, оптимизированная продувка моторной установки влияет на снижение тепловой нагрузки на двигатель и гидросистему, что не только увеличивает срок службы оборудования, но и снижает риск перегрева в условиях длительных нагрузок. Удобный доступ к фильтрам упрощает их замену и обслуживание, что позволяет оперативно осуществлять очистку и замену, напрямую влияя на ресурс машины.

В целом все эти доработки делают новый УЭС более удобным и функциональным в управлении. Важно сохранить баланс между функциональностью и экономичностью, и предложенные решения прекрасно вписываются в этот концепт. Благодаря таким улучшениям, оператор может сосредоточиться на выполнении своих задач, минимизируя время, затрачиваемое на техническое обслуживание и управление машиной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, модернизация УЭС направлена на полное удовлетворение растущих требований современного потребителя.

Сегодняшний потребитель ценит не только функциональность, но и комфорт. Ключевые изменения, такие как значительное улучшение эргономики, доступности и внедрение современных технологий, обеспечивают ощутимые преимущества, как для пользователей так и для производителей. Улучшая уровень комфорта, мы не просто повышаем удовлетворённость клиентов, но и создаём более эффективное рабочее пространство. Это, в свою очередь, станет мощным фактором роста рынка и укрепления лояльности к продукции. Новые решения и технологии кардинально трансформируют даже самые привычные операционные процессы, делая их невероятно удобными и современными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуринов В. А., Иоффе М. П. Кормоуборочный комплекс «Полесье»: Учеб. Пособие. – Мн.: Ураджай, 1992. – 176 с.: ил. – (Кадрам массовых профессий).

2. Макарова В. Ф. Методические основы проведения эргономической оценки промышленных образцов. – М., 1992, 29 с.

3. Повлоцкий Б. А., Федосов Р. В. Методические рекомендации по эргономике для конструкторов и художников-конструкторов и сельскохозяйственных машин – М., 1975, 172 с.

УДК 65.011.56

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЕКТА ТЕСТИРОВАНИЯ ПО АСКОН В УГТ

Д. В. Дубовский
ОДО «КЭЛС ЦЕНТР ПРО-Технолоджис»
г. Минск, Республика Беларусь

В середине 2023 года на ОАО «Гомсельмаш» было принято решение по организации проекта по выбору комплексной системы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства на основе импортозамещающих решений разработки Республики Беларусь и Российской Федерации, о чем на Предприятии был выпущен соответствующий приказ № 833 от 13.07.2023. Далее, в 3 квартале 2023 года, ОАО «Гомсельмаш» совместно с ОДО «КЭЛС ЦЕНТР ПРО-Технолоджис» согласовали «дорожную карту» и стартовали проведение пилотного проекта по данному направлению на базе решений российского разработчика ПО АСКОН.

Цели проекта:

Оценка возможности применения программного комплекса АСКОН, как основы для организации комплексной системы ТПП в ОАО «Гомсельмаш»

Основные задачи проекта:

- Ознакомление с возможностями базовой функциональности программного комплекса АСКОН
- Определение наличие необходимой функциональности
- Определение соответствия функционала требованиям ОАО “Гомсельмаш”
- Создание условий для успешного выполнения проекта внедрения
- Отработка взаимодействие и состав проектных команд
- Подготовка технической инфраструктуры
- Определение требований к адаптации и доработке программного комплекса

Оценка результатов проекта велась по следующим направлениям:

- САПР КОМПАС-3D
- ПОЛИНОМ: MDM + ЛОЦМАН: PLM + САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ
- Системное администрирование

На рис. 1 приведена функциональная архитектура, состав и ПО проекта.



Рис. 1 – Функциональная архетиктура состав и ПО проекта.

На рис. 2 приведены 105 критериев оценки результатов проекта объединенных в следующие группы



Рис. 2 – Критерии оценки результатов проекта объединенных в группы.

Критерии оценки проекта были выбраны не только технические (реальные задачи, которые требовались предприятию исходя из практических задач и той продукции, которое предприятие выпускает), но и охватывающие такие области, как методическая обеспеченность и реальная импортонезависимость. Далеко не все отечественные продукты, если рассматривать в деталях архитектуру технологий, на которых построен инженерный софт, являются полностью импортонезависимыми.

На рис. 3 приведены структура управления проектом и его ключевые вехи.



Рис. 3 – Структура управления проектом и его ключевые вехи.

При формировании организационной структуры управления проектом был выбран подход, аналогичный подходу при организации проекта полномасштабного внедрения, а именно выделение трех уровней управления: управляющий комитет, рабочая группа и группа экспертов. И далее были объединены в одной организационной структуре как сотрудники предприятия, так и сотрудники компании-поставщика ПО, что позволило завершить проект в запланированные сроки (15.06.2023 – 15.11.2023).

На рис. 4 приведены разработанные при проведении проекта документы:



Рис.4 – Разработанные при проведении проекта документы.

На рис. 5 показаны краткие результаты проекта с бальной оценкой ПО.

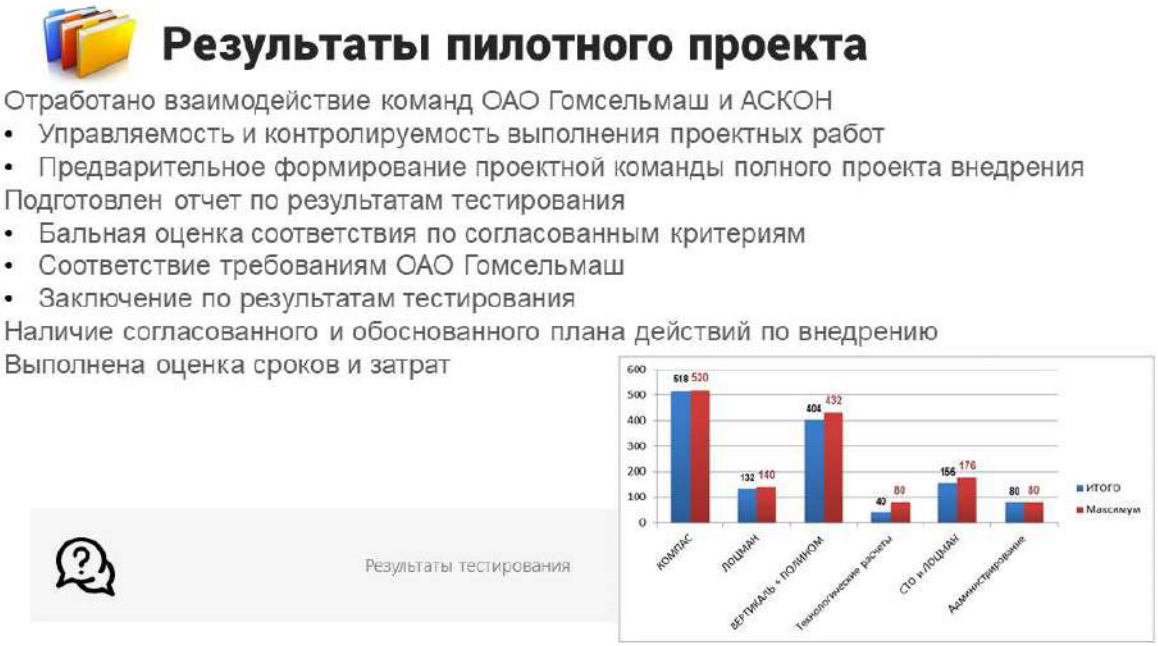


Рис. 5 – краткие результаты проекта с бальной оценкой ПО.

Выводы по результатам пилотного проекта:

– ВЕРТИКАЛЬ по сравнению с программными продуктами, с которыми УГТ знакомилось ранее, более приближена к требованиям по автоматизированной разработке техпроцессов, установленных на ОАО «Гомсельмаш». ВЕРТИКАЛЬ в базовом исполнении более приближена к требованиям ОАО «Гомсельмаш», потребуются донастройка ПО в рамках проекта внедрения.

– КОМПАС – График и КОМПАС 3D отвечают требованиям к проектированию СрТО.
- ЛОЦМАН – как система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия отвечает требованиям технологических подразделений по разработке и управлению технологическими данными, процессами и отчетами.
- ПОЛИНОМ – как система управления нормативно-справочной информацией отвечает требованиям технологических подразделений по работе со справочной информации, в том числе ЕСКД, стандартным изделиям, материалам и сортаментам.

Результаты проекта:

- Специалисты управления главного технолога протестировали базовые возможности PLM-решения, определили наличие необходимой функциональности и ее соответствие требованиям предприятия. Также в ходе проекта было отработано взаимодействие и состав проектных команд, подготовлена техническая инфраструктура, сформулированы требования к адаптации и доработке программного комплекса.
- Подтверждено, что российское программное обеспечение АСКОН отвечает основным требованиям и задачам по разработке технологических процессов сборки и изготовления деталей, технологической оснастки, а также управления конструкторскими и технологическими данными.
- Запланировано полномасштабное развертывание PLM-решения АСКОН в контуре технологических подразделений ОАО «Гомсельмаш».

В продолжение развития проекта подготовлено технико-коммерческое предложение на поставку комплексной системы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства для УГТ ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ» с учетом стоимости владения в горизонте 5 лет, а также с учетом интеграции ПО АСКОН с действующей на предприятии системой ERP SAP.

Кроме того, результаты проекта и опыт компании-внедренца говорят о том, что проекты перехода на отечественный импортонезависимый софт стоит рассматривать не как переход с одного ПО на другое, а как проект дальнейшего развития предприятия в области цифровизации. Для достижения максимального результата необходимо в первую очередь ставить перед собой цели по переходу предприятия на следующий уровень зрелости, и помимо замещения одного ПО на другое, необходимо ставить задачи развития предприятия.

УДК 631.171:631.362

МЕХАНИЗАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ – КАК ПУТЬ К КАЧЕСТВУ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. Г. Бакач
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь

Сегодня промышленность страны представлена различными направлениями, но большинство из них связаны с сельским хозяйством или зависят от произведенной им продукции. Это – во-первых, сельхозмашиностроительные предприятия, которые обеспечивают механизацию технологических процессов в АПК, а, во-вторых, это перерабатывающие предприятия, которые обеспечивают переработку полученной сельскохозяйственной продукции.

Доказано, что любая попытка увеличить сельскохозяйственное производство без учета надлежащей стратегии механизации технологических процессов никогда не приводит к положительному результату. Поэтому механизация сельского хозяйства сегодня имеет очень широкое значение, которое включает производство, внедрение и использование различных инструментов, машин и оборудования для производства сельскохозяйственной продукции.

Механизация сельского хозяйства – это ключ к продовольственной безопасности страны и качеству производимой продукции.

На сегодняшний день сельскохозяйственное машиностроение - одна из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности республики, которая не только сохранила свой производственный и интеллектуальный потенциал, специализацию ведущих предприятий, но и значительно их развила. Реализация целого ряда программ развития сельхозмашиностроения начиная с 1995 года позволила освоить в производстве около 1000 марок и моделей сельскохозяйственной техники, что надо отметить как несомненное достижение. При этом нельзя недооценивать и ее экспортное значение.

В настоящее время предприятия сельскохозмашиностроительного профиля и тракторокомбайностроения, в том числе благодаря и НПЦ по механизации сельского хозяйства, выпускают почти 30% всей продукции промышленности республики, что позволяет производить почти 90% сельскохозяйственной продукции, а по отдельным позициям все 100%, с помощью техники отечественного производства. Благодаря значительной государственной поддержке в республике освоено собственное

производство более 90% технических средств, востребованных отечественным АПК, и в том числе в странах СНГ. И этот процент растет.

Одновременно, следует отметить, что до 1990 года сельхозмашиностроение Республики Беларусь формировалось как составная часть машиностроительной отрасли Советского Союза. Предприятия страны имели достаточно узкую специализацию и обеспечивали своей продукцией многие регионы Союза. При этом практически не принимались во внимание вопросы необходимости создания и развития производства дополнительной номенклатуры техники в соответствии с потребностью народного хозяйства Беларуси, а, значительная часть машин и оборудования в страну завозилась из других республик. Объем производства техники в Республике Беларусь в 1990 годы составлял лишь 10-12% от необходимого перечня машин.

Следовательно, после распада Советского Союза, из-за отсутствия собственного производства, в страну стали массово завозить импортную технику, не смотря, на то, что некоторая из них не была адаптирована к почвенно-климатическим условиям страны. При этом хозяйствами приобреталась техника различных зарубежных фирм, между которыми отсутствовала унификация рабочих органов. И это происходило до тех пор, пока она не стала выходить из строя, а, запчасти на нее продавались дороже самой техники.

Поэтому в целях развития отечественного сельхозмашиностроения и упорядоченья соблюдения технологических операций при производстве сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь была сформирована Система машин для растениеводства и животноводства, основанная на новейших зарубежных достижениях в области механизации сельского хозяйства.

Целью одобренной Правительством республики данной Системы машин являлось создание и освоение производства недостающих средств механизации для реализации перспективных технологий производства основных видов продукции растениеводства и животноводства.

Так, на первом этапе предусматривалось создание и освоение производства машин для сокращения закупок импортных аналогов, обеспечения агрегатирования техники с отечественными тракторами мощностью до 250 л.с., механизации уборки урожая зерноуборочными комбайнами с пропускной способностью до 12 кг/с, послеуборочной доработки зерна на зерноочистительно-сушильных комплексах производительностью до 30 плановых тонн в час, замена морально изношенной и низко производительной техники и оборудования.

В результате уже в 2006-2010 годы в растениеводстве удалось сократить поставки машин из-за рубежа, создать и освоить производство тракторов мощностью от 150 л.с. и выше; типоразмерного ряда машин шириной захвата до 6 метров и другой техники.

В 2011-2015 годы на 40-50% произошло обновление машинно-тракторного парка сельхозорганизаций более высокопроизводительными отечественными машинами и оборудованием, стали внедряться нетрадиционные возобновляемые источники энергии и техника с элементами системы точного земледелия.

В период 2016-2020 годы ведется уже создание отечественных тракторов и кормоуборочных комплексов с мощностью двигателя 450 л.с. и более, высокопроизводительного комплекса почвообрабатывающих и почвообрабатывающе-посевных агрегатов шириной захвата 12 м и более, зерноуборочных комбайнов с пропускной способностью 16 кг/с и более и т.д.

На сегодняшний день Комиссией по вопросам промышленной политики Совета Министров Республики Беларусь одобрена Система перспективных машин и оборудования на 2021-2025 годы и на период до 2030 года, которая отражает научно-техническую политику страны в области механизации и автоматизации процессов в сельском хозяйстве, оценивает достигнутый уровень и определяет перспективы применения современных технологий и средств механизации для их реализации.

Все это позволяет приблизиться вплотную к показателям удельных затрат на производство сельскохозяйственной продукции лучших зарубежных стран.

Сегодня стратегические планы развития белорусской экономики ориентированы на повышение конкурентоспособности отечественной продукции и услуг, увеличение доли наукоемких, экспортоориентированных и импортозамещающих производств, внедрение инноваций и современных энергоэффективных технологий и требуют особенно слаженной и эффективной работы всех организаций – как занимающихся производством продукции, так и создающих условия для эффективного функционирования промышленности.

Например, производство машин и оборудования для АПК зависит не только от сельхозмашиностроителей, но и от других отраслей промышленности. Это топливно-смазочные материалы, шины и другие резинные изделия, различные приборы и датчики, электроника и т.п. и т.д.

Главой государства, Правительством Республики Беларусь поставлена цель – создать условия для выпуска не просто качественной, а именно высококачественной, наукоемкой и конкурентоспособной продукции, используя все существующие способы. Ибо от качества и конкурентоспособности белорусской продукции зависит успех не только каждого предприятия, но и экономики страны в целом.

Так, одними из трудоемких процессов в АПК является подготовка овощей и фруктов к реализации, где в основном используется физический труд.

При этом картофель является одним из традиционных продуктов питания в рационе людей, поэтому большое значение имеет контроль качества этого продукта. Клубни, повреждённые различными болезнями (парша), проросшие и имеющие следы позеленения и другие повреждения не только негативно сказываются на выборе покупателя, но и могут быть причиной пищевых отравлений.

Для отделения некондиционных клубней картофеля на стадии их предреализационной доработки используются инспекционные столы, на которых распознавание клубней производится персоналом визуально, а отбор – вручную. Поэтому качество такой продукции напрямую зависит от физиологического состояния обслуживающего персонала, уровня освещённости и запылённости на рабочем месте и других факторов.

На сегодняшний день одним из перспективных методов является идентификация и отделения некондиционных клубней картофеля с использованием систем технического зрения и автоматической инспекции, которые направлены на выполнение технологического процесса отделения некондиционных клубней из общей массы с оптимальной точностью и независящий от человеческих факторов. Основой этого метода является фото/видео съемка образцов, анализ изображений, сравнение их со стандартом и принятие решения об отделении некондиционных образцов.

Сложность данного метода заключается в разнообразии дефектов клубней картофеля, которые подразделяются на механические (при уборке), физиологические (при хранении), микробиологические (различные болезни) и поврежденные клубни вредителями (проволочник и др.).

Проанализированные внешние дефекты картофеля были положены в основу создания базы данных некондиционных клубней, где в основу работы оптической системы распознавания положена концепция интеллектуального анализа данных, согласно которой, полученные с видеокамеры изображения клубней картофеля обрабатываются и формируются в образы с последующим распознаванием и выдачей сигнала исполнительному устройству системы автоматической инспекции в виде единичного импульсного сигнала (рис.1).

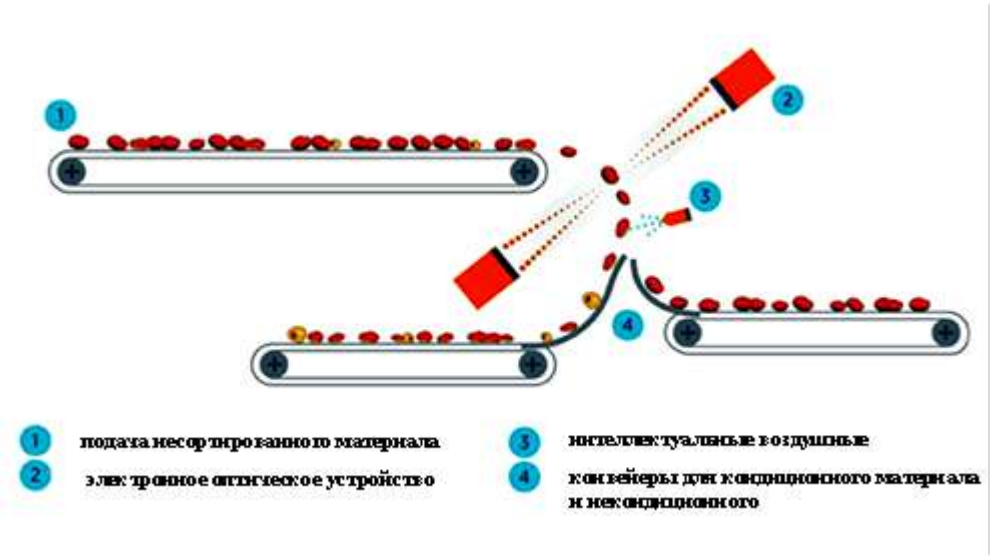


Рис. 1 – Принципиальная схема оптической сортировки

Клубни картофеля, идентифицированные оптической системой распознавания как некондиционные, перемещаясь вальцовым транспортирующим устройством к пневмомодулю, удаляются с вальцового конвейера струей сжатого воздуха. Неотделенные клубни продолжат движение по технологической линии.

С учетом выше указанного был разработан и изготовлен макетный образец и проведены экспериментальные исследования, которые показали точность сортирования 99% и подтвердили предложенную гипотезу определения и отделения некондиционных клубней.

В настоящее время ведутся исследования по определению внутренних дефектов клубней картофеля. Установлено, что одним из эффективных методов идентификации скрытых дефектов картофеля является метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), который основан на измерении энергии атомных ядер водорода (H+) в тканях картофеля, помещенного в сильное постоянное магнитное поле.

В магнитном поле протоны в ядрах водорода меняют свою пространственную ориентацию. Так, если поместить протон во внешнее магнитное поле, то его магнитный момент будет либо сонаправлен, либо противоположно направлен магнитному полю, причем во втором случае его энергия будет выше. При воздействии на исследуемую область электромагнитным излучением определенной частоты часть протонов поменяют свой магнитный момент на противоположный, а потом вернутся в исходное положение. При этом системой сбора данных томографа регистрируется выделение энергии во время релаксации предварительно возбужденных протонов и преобразование томографом на экран компьютера.

На рис. 2 представлены результаты исследования внутренней структуры кондиционных клубней картофеля с помощью ядерного магнитного резонанса. Для удобства восприятия результат может быть отображен на экране в различной цветовой гамме. На полученных с помощью ядерного магнитного резонанса изображениях очень четко просматриваются структуры клубня в различных его сечениях: особенно видна сердцевина, кора и сосудистые пучки.

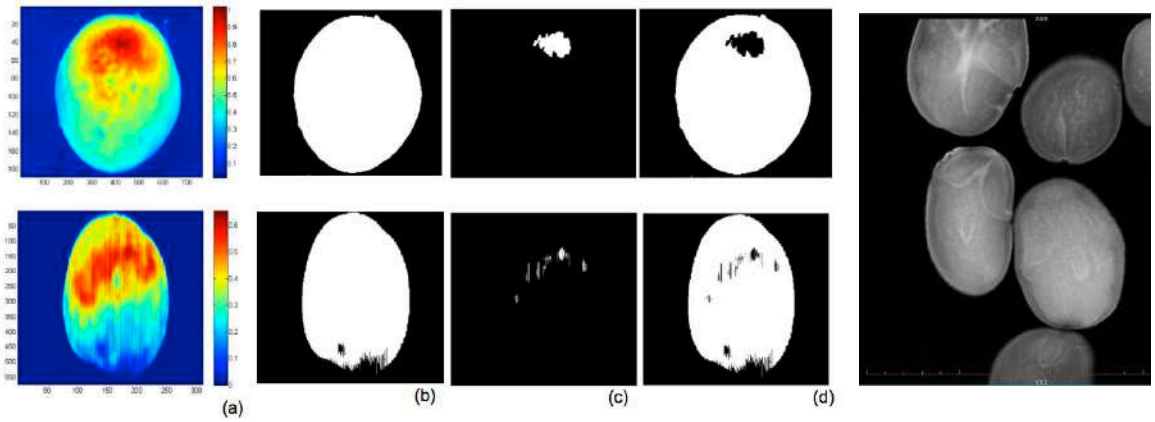


Рис. 2 – Определение внудренних дефектов картофеля

При детальном изучении полученных снимков не было выявлено областей, отличающихся от общей массы мякоти клубней. Полученные результаты позволили сделать вывод об отсутствии внутренних дефектов в данной выборке клубней картофеля. При дальнейших исследованиях изображения кондиционных клубней картофеля использовались в качестве эталонных при определении наличия внутренних дефектов в других классах. Работы в данном направлении продолжаются.

Еще одним из результатов работы является создание линии по сортировке яблок, где отличительной особенностью является использование в конструктивно-технологической схеме оптического сортировщика, обеспечивающего получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу исполнительному устройству пакета данных, содержащего номер распознанного класса текущего яблока и номер его позиции на конвейере (рис. 3).

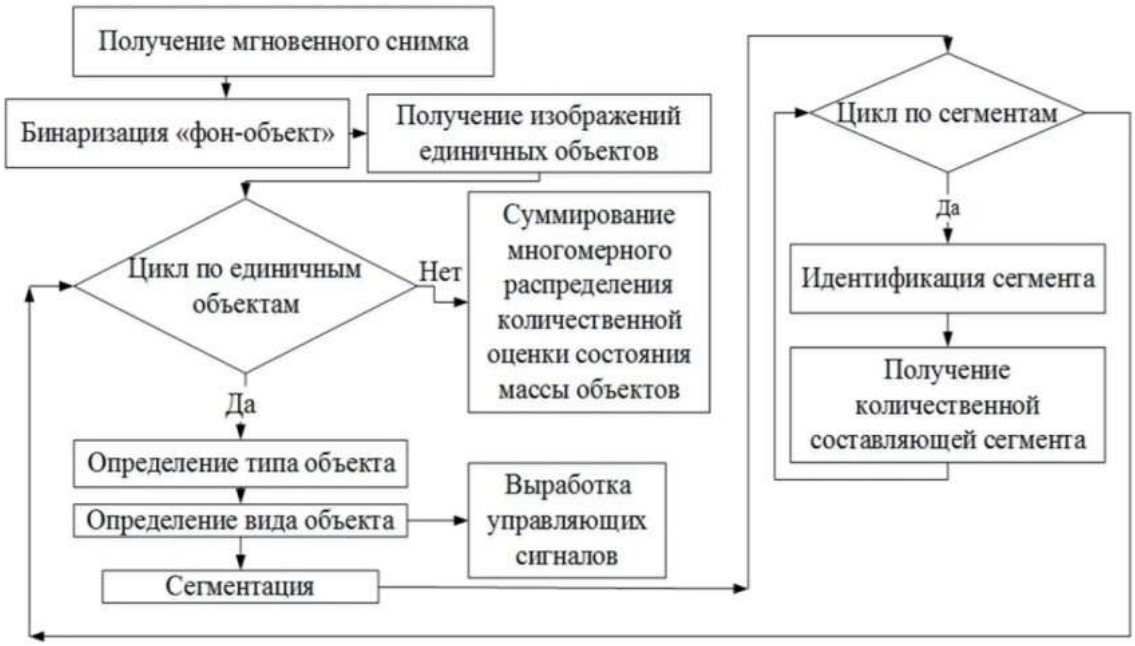


Рис. 3 – Алгоритм определения качественных показателей плодов.

Данные исследования предполагают, что оцифровка и автоматизация технологических процессов в сельском хозяйстве позволят сельхозпроизводителям работать более гибко, экономить время и, в итоге, стремиться к получению более качественной продукции.

УДК 625.08

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЩЕБНЕРАЗБРАСЫВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ШАССИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА БЕЛАЗ

В. А. Мендель, П. С. Литвинюк, А. О. Шукюров, А. Л. Кисельков
ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

Развитие карьерного автомобильного транспорта требует разработки все более совершенных конструкций автотранспортных средств, обладающих высокими технико-эксплуатационными характеристиками. Для обеспечения бесперебойного и безопасного движения технологического автотранспорта в зимний период эксплуатации на шасси автосамосвала БЕЛАЗ применяется навесное оборудование щебнеразбрасывателя. Оборудование представляет собой комплекс конструкций, предназначенных для распределения по поверхности автомобильных дорог карьера щебня или гравия (далее щебня) для обеспечения сцепления колес с дорогой при гололеде.

Конструкция бункера щебнеразбрасывателя должна обладать достаточной жесткостью и прочностью для обеспечения бесперебойной работы оборудования. Это достигается рациональностью спроектированной конструкции и правильным использованием материалов.

Применение современных технологий компьютерного моделирования при проектировании мобильных транспортных средств позволяет ускорить процесс доводки и минимизировать возможные ошибки и недочеты, допущенные на этапе проектирования конструкции.

Для эффективного проведения расчетных исследований необходима методика расчетных исследований, включающая описание создания конечно-элементной модели щебнеразбрасывателя, учитывающая взаимодействие подвижных составных элементов конструкции. На основе анализа работы транспортного средства во время движения и выполнения технологических процессов загрузки-разгрузки бункера должны быть учтены особенности нагружения объекта исследования.

Описание объекта исследования

Объектом исследования являются силовые конструкции оборудования навесного щебнеразбрасывающего, установленного на шасси карьерного самосвала БЕЛАЗ грузоподъемностью 50 т (рис. 1).

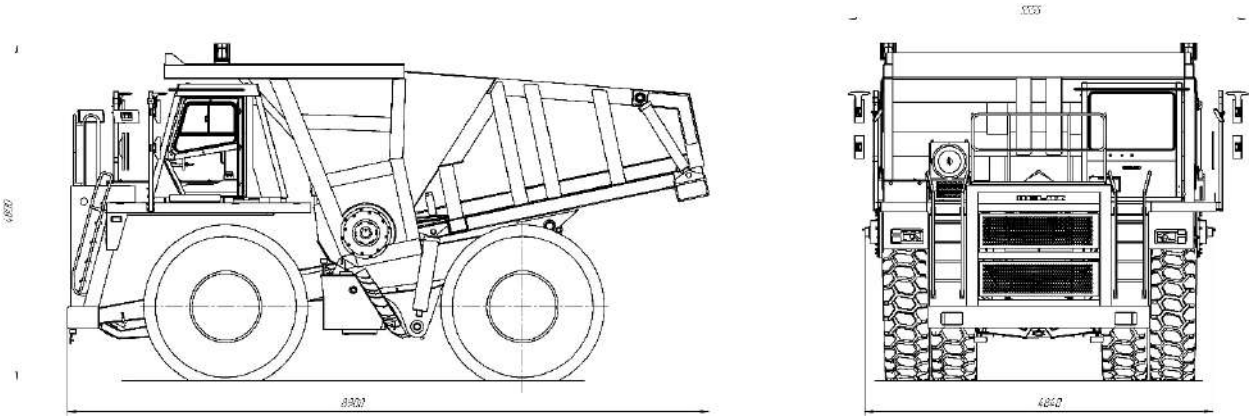


Рис. 1 – Внешний вид щебнеразбрасывателя на шасси БЕЛАЗ

Щебнеразбрасыватель представляет собой специальный агрегат, включающий емкость (бункер) для размещения сыпучего материала, а также рабочие механизмы, осуществляющие его подачу и распределение по дорожной поверхности.

Основными конструкциями щебнеразбрасывателя (рис. 2) являются: передняя часть бункера с рамой (рис. 2 выноска 1), подъемная задняя часть бункера (рис. 2 выноска 2), вращающиеся барабаны с приводом для выдачи щебня из бункера (рис. 2 выноска 3) и навесные щиты для распределения потока щебня (рис. 2 выноска 4). Для направления щебня на барабаны в кузове установлен разделительный конус-перегородка (рис. 2 выноска 5).

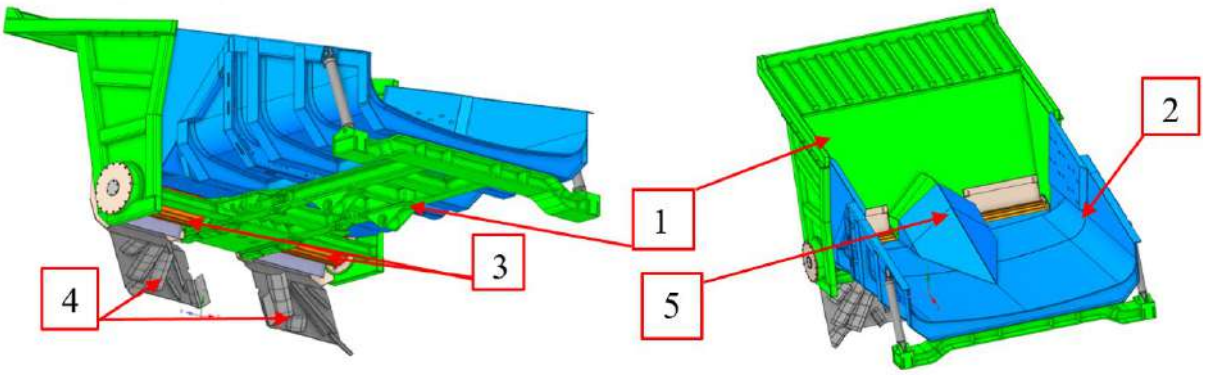


Рис. 2 – Основные конструкции навесного щебнеразбрасывающего оборудования: 1 – передняя часть бункера с рамой; 2 – подъемная часть бункера; 3 – барабаны с приводом для подачи щебня; 4 – навесные щиты для распределения потока; 5 – конус-перегородка, направляющая щебень на барабаны.

Принятые для расчета нагрузочные режимы воспроизводят условия эксплуатации транспортного средства (ТС) и, соответственно, нагружения, при которых конструкция находится под действием номинальных и предельных нагрузок: прямолинейное движение, торможение, движение в повороте, а также технологические операции, связанные с загрузкой-разгрузкой бункера и перераспределением массы щебня внутри бункера в процессе обработки дорог карьера.

На основе условий эксплуатации ТС были приняты следующие основные режимы нагружения объекта исследования:

– действие нагрузок от веса груза и собственного веса щебнеразбрасывателя;

– действие нагрузок, возникающих при перекосе передних и задних опор бункера щебнеразбрасывателя с учетом действия веса груза и собственного веса бункера;

– действие инерционных нагрузок в продольном и поперечном направлениях при полной загрузке бункера, возникающих во время движения ТС;

– действие нагрузок от веса груза и собственного веса щебнеразбрасывателя при начале разгрузки щебня;

– действие нагрузок в начале поднятия подъемной задней части бункера при подаче щебня в переднюю часть бункера.

Граничные условия – в задней части, в проушине рамы щебнеразрасывателя задавались кинематические связи с одной вращательной степенью свободы, как показано на рис. 3 выноска 1, разрешающие вращение конструкции относительно поперечной оси ТС. В передней части моделировалось опирание элементов рамы бункера на раму самосвала, путем описания контактного взаимодействия между рамой щебнеразбрасывателя и рамой ТС (рис. 3 выноска 2).

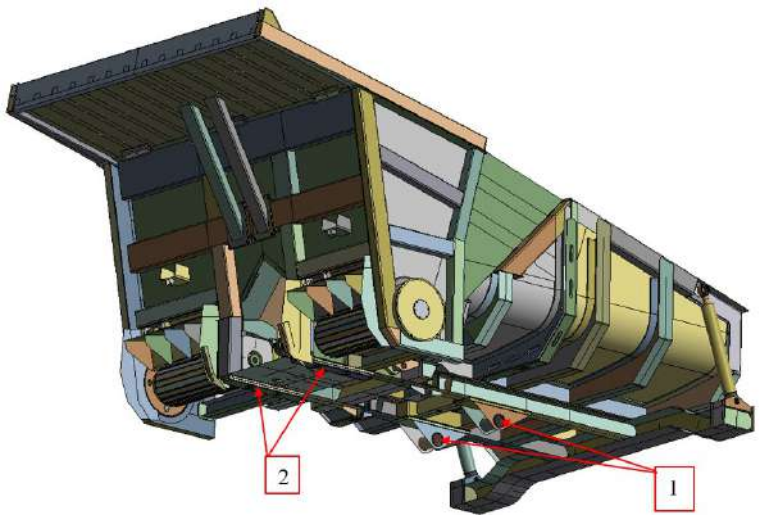
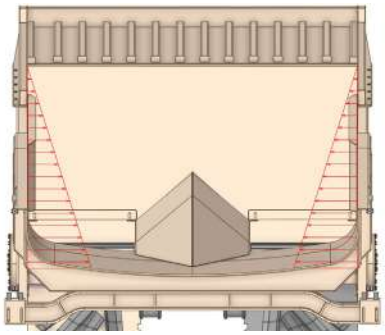


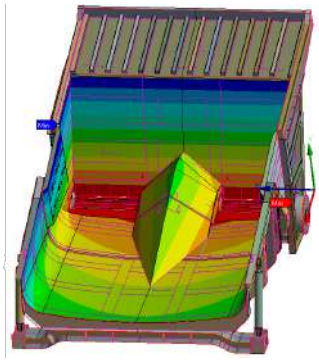
Рис. 3 – Схема закрепления щебнеразбрасывателя на шасси: 1 – задняя опора; 2 – передняя опора

Нагрузка от веса щебня задавалась моделированием гидростатического давления. При некотором допущении, поведение сыпучих грузов при действии внешних инерционных нагрузок можно рассматривать близким к поведению жидкости. Таким образом, воздействие груза на стенки бункера можно рассчитать с использованием зависимостей для расчета гидростатического давления жидкости. При этом сделанное допущение не учитывает взаимодействие и трение частиц сыпучего груза между собой, что делает расчет консервативным, т.е. полученный результат будет иметь определенный запас прочности. Использование такого допущения упрощает задание весовых и инерционных нагрузок, действующих на стенки бункера, и позволяет значительно сократить время расчетов.

Эпюра нагрузки на вертикальные стенки бункера представлена на рис. 4а. На рис. 4б показано графическое представление распределения давления груза на стенки для численной расчетной модели несущей системы щебнеразбрасывателя, разработанной в программном комплексе ANSYS Mechanical [1-3].



а



б

Рис. 4 – Моделирование гидростатического давления: а - Эпюра нагрузки на вертикальные стенки бункера; б - графическое представление распределения давления груза на стенки для численной расчетной модели несущей системы щебнеразбрасывателя.

Результаты расчетов

Расчеты проводились в статической постановке с использованием программного комплекса ANSYS.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния бункера щебнеразбрасывателя представлены на рис. 5 – 8.

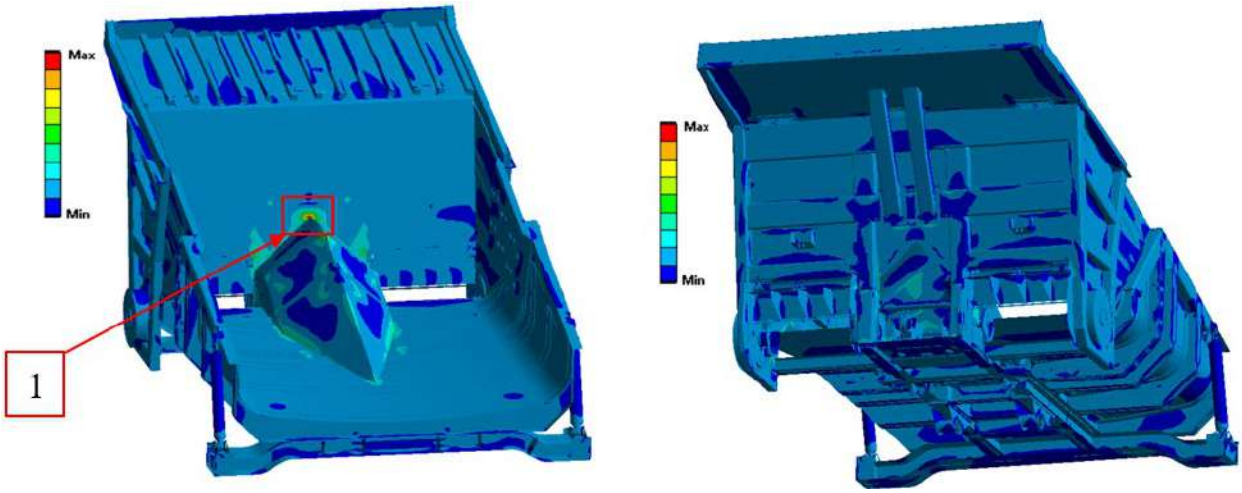
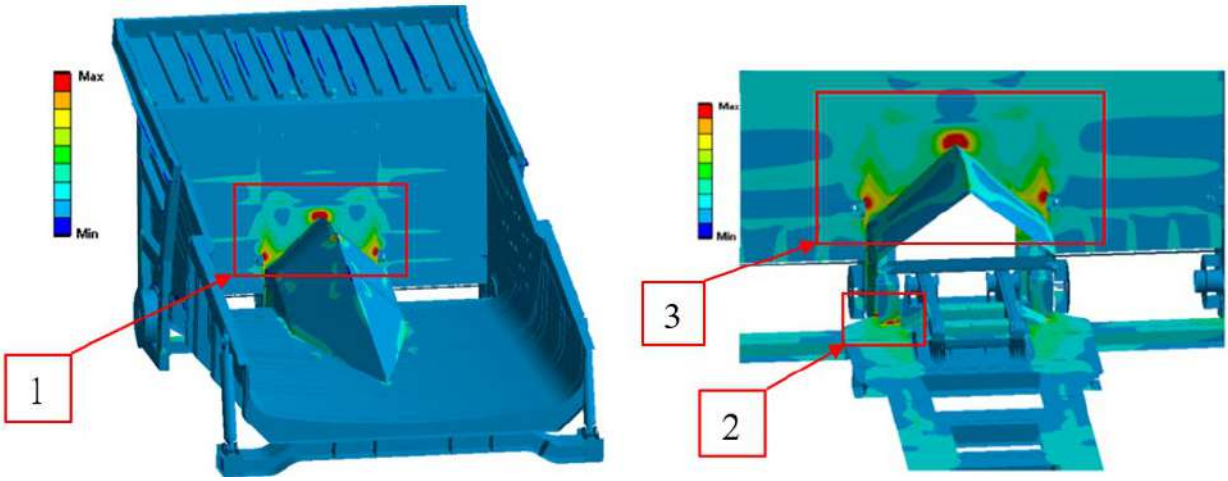
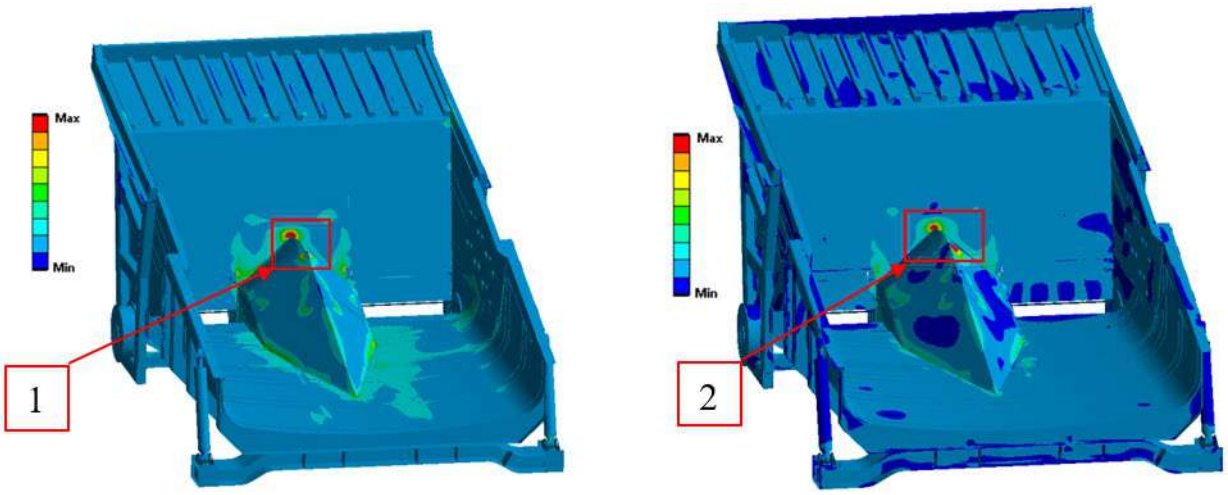


Рис. 5 – Распределение первых главных напряжений, нагрузка от веса, МПа



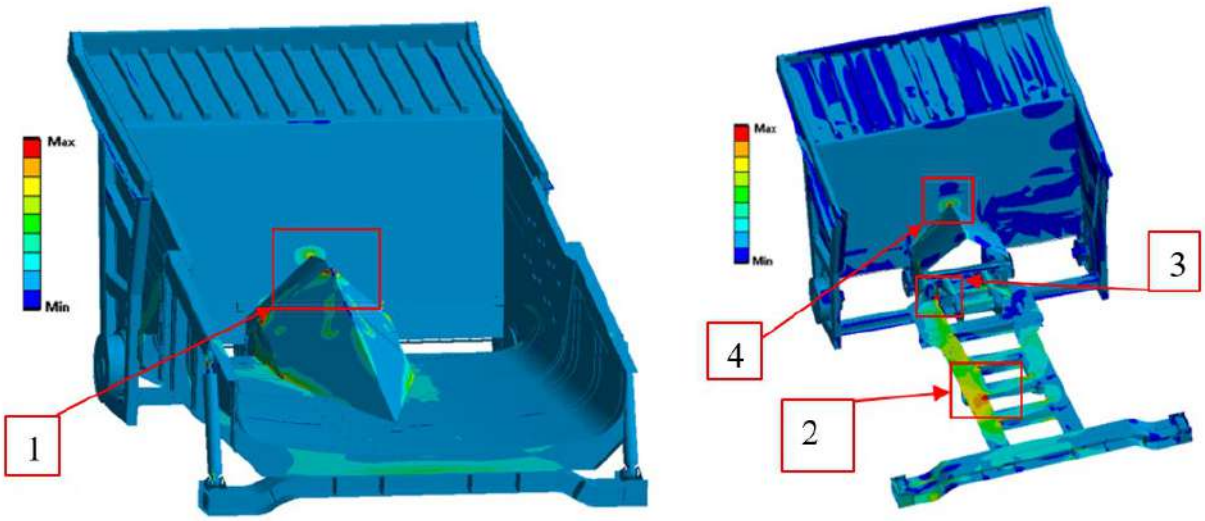
а б

Рис. 6 – Распределение первых главных напряжений, режим торможение, МПа: а - НДС бункера; б - НДС рамы щебнеразбрасывателя.



а б

Рис. 7 – Распределение первых главных напряжений, МПа: а - движение в повороте; б - перекос передних опор бункера.



а б

Рис. 8 – Распределение первых главных напряжений, режим перекос опор задней части бункера, МПа: а - НДС бункера; б - НДС рамы щебнеразбрасывателя.

Как видно из результатов расчетов наиболее нагруженной является зона бункера в области стыка передней стенки бункера и конуса-перегородки, рис. 5 - 8.

Наиболее нагружена зона стыка стенки с конус-перегородкой на режиме торможения (рис. 6 а выноска 1, рис. 6 б выноска 3). Кроме того, из-за действия на переднюю стенку дополнительной горизонтальной инерционной нагрузки в зоне стыка передней поперечины, стоек и лонжеронов рамы возникают изгибные напряжения, рис. 6 б выноска 2.

При режимах движение в повороте и перекосе передних опор бункера также наиболее нагружена зона стыка стенки с конус-перегородкой, рис. 7 а выноска 1 и рис. 7 б, выноска 2 соответственно.

При перекосе опор задней подвижной части бункера высокие напряжения возникают в лонжероне, за опорой щебнеразбрасывателя на раму, как показано на рис. 8б выноска 2.

На режиме торможения максимальные напряжения в 2 раза превосходят напряжения, возникающие при нагрузке от веса. На режиме поворота уровень возникающих напряжений соответствует уровню напряжений от действия веса груза. На режимах перекоса передних опор и перекоса опор задней части бункера уровни возникающих напряжений примерно соответствует друг другу и выше напряжений от веса груза в 1,5 раза.

По результатам проведенных расчетов даны рекомендации по доработке конструкции щебнеразбрасывателя в передней зоне рамы и зоне стыка передней стенки конуса-перегородки бункера.

Проведенные расчеты с использованием программного комплекса Ansys WB позволили определить напряженно-деформированное состояние основных силовых конструкций навесного оборудования щебнеразбрасывателя, установленного на шасси БЕЛАЗ, на различных режимах нагружения.

Исследовано поведение конструкции в различных условиях эксплуатации, таких как залипание груза при разгрузке, несогласованность работы гидроцилиндров и перераспределение груза при поворотах. Полученные результаты работы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования конструкции щебнеразбрасывателя, обеспечивая более высокую прочность, надежность и безопасность при его эксплуатации в условиях сложных режимов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 4543 – 2016 Металопродукция из конструкционной легированной стали. – М.: Стандартинформ, 2019. – 47 с.

2. Басов К. А. ANSYS: Справочник пользователя / – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

3. Каплун А. П. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Ольферьева. – Изд. 2-е, испр., М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.

УДК 631.171:631.3(476)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. *В статье рассмотрены результаты исследований применения перспективных моделей зерноуборочных комбайнов в различных условиях эксплуатации сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь на уборке зерновых культур в 2024 году.*

Ключевые слова: мобильные энергетические средства, зерновые и зернобобовые культуры, зерноуборочные комбайны, эффективность применения техники.

Цель работы – совершенствование структуры парка зерноуборочных комбайнов в условиях сельскохозяйственных организаций для обеспечения уборки зерна в оптимальные агротехнические сроки, повышения качества работ и снижения при этом ресурсопотребления.

Методы исследования – применены информационные методы, включающие аналитические, статистические обработки данных и анализа информации, современного системного подхода.

Введение

Формирование перспективной структуры парка сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь осуществляется на фоне неблагоприятных тенденций, характеризуемых значительным (в 1,2…1,3 раза) превышением доли списания ее над обновлением. Кроме того, около 60 % машинно-тракторного парка выработало свой ресурс и требует значительных затрат на поддержание ее в работоспособном состоянии. В следствие этого, а также из-за нарушений технологий возделывания сельскохозяйственных культур увеличиваются затраты на производство продукции, а следовательно, снижается ее конкурентоспособность. Так, например, удельные затраты труда, энергоресурсов и условного топлива на производство зерна по информации Минсельхозпрода в 2024 году составят не менее 5,4 чел.ч/т, 12,6 кВт·ч/т и 12,0 кг. ус. топлива/т, что превышает аналогичные показатели стран Западной Европы [1]. Поэтому основное внимание в механизации процессов производства продукции растениеводства должно быть направлено на снижение ресурсопотребления, повышения ее качества и конкурентоспособности на основе применения перспективных машин и

оборудования, включенных в Систему машин [2], что в полной мере можно отнести и к зерноуборочным комбайнам.

Изложение основного материала исследования.

Для реализации технологий уборки зерновых и зернобобовых культур в условиях сельскохозяйственных организаций в республике задействовано около 7,4 тыс. ед. зерноуборочных комбайнов. В структуре их парка комбайны с пропускной способностью 6-8 кг/с составляют 38 ед. (0,35 %), 8-10 кг/с – 515 ед. (около 7 %), 10-12 кг/с – 5839 ед. (78,8 %) и свыше 12 кг/с – 1028 ед. (13,9 %). В парке машин комбайны отечественного производства (ОАО «Гомсельмаш» и ОАО «Лидсельмаш») составляют около 6,4 тыс. ед. (86,7 %), стран ближнего зарубежья (Российская Федерация) – 29 ед. (0,39 %) и дальнего зарубежья – 979 ед. (13,2 %). Вместе с тем, около 52 % зерноуборочных комбайнов (3,8 тыс. ед.) используются в сельскохозяйственных предприятиях со сверхнормативным сроком эксплуатации, что требует их замены [2].

В настоящее время сельскохозяйственные организации республики оснащаются более современными моделями зерноуборочных комбайнов – КЗС-1218 (1218А-1), КЗС-1624, КЗС-2124 и КЗС-32319. Они в перспективе должны заменить устаревшие образцы. В структуре парка применяемых комбайнов новые образцы машин составляют около 6,0 тыс. ед. (81,1 %).

Для оценки эффективности применяемых перспективных моделей зерноуборочных комбайнов в различных условиях хозяйств в течении уборочного сезона 2024 года проведены исследования по определению показателей по намолоту зерна, убранной площади, производительности и расходу топлива. Для исследований выбраны сельскохозяйственные организации в различных регионах республики: ОАО «Столовичи- Агро» и ОАО «Агрокомбинат МИР» Барановичского района, АГК «Возрожение» и СХП «Мазоловогаз» Витебского района, СПК имени «Деньщикова» Гродненского района, ОАО «17 Сентября» и ОАО «Новая жизнь» Несвижского района, ОАО «Александрийское» и ЗАО «АСБ-Агро-Городец» Шкловского района, которые имеют в структуре парка комбайнов значительное их количество. Вместе с тем, выбранные для исследования хозяйства отличаются условиями использования техники и урожайностью зерновых культур.

Предварительно проведена группировка сельскохозяйственных организаций республики по урожайности зерновых за последние 10 лет (2014-2013 гг.). Выделены 4 группы хозяйств по уровню урожайности: до 25 ц/га, 25-40 ц/га, 40-60 ц/га и свыше 60 ц/га. Установлено, что среди сельскохозяйственных предприятий республики, занимающихся производством зерна (1186 ед.), в 2023 году число хозяйств с урожайностью до 25 ц/га составляло 550 ед. (46,6 %), 25-40 ц/га – 361 ед. (30,4%), 40-60 ц/га – 193 ед. (16,3 %) и свыше 60 ц/га – 82 ед. (6,9 %). Это

является основой для формирования перспективной структуры парка зерноуборочных комбайнов для хозяйств республики. С учетом выделенных в республике 4-х почвенно-климатических зон по условиям применения средств механизации – Северной, Центральной, Южной и Юго-Восточной зоны [2] выполнена группировка сельскохозяйственных организаций в разрезе административно-территориальных районов по уровню урожайности зерновых культур. Установлено, что из 118 административно-территориальных районов республики в 5 (4,2 %) районах Северной зоны урожайность зерновых не превышает 25 ц/га, в 2 (1,7 %) –от 25 до 40 ц/га; в 29 (24,6 %) районах Центральной зоны – до 25 ц/га, в 34 (28,8 %) – от 25 до 40 ц/га, в 16 (13,6 %) – от 40 до 60 ц/га и в 3 (2,5 %) – свыше 60 ц/га; в 7 (5,9 %) районах Южной зоны – до 25 ц/га, в 11 (9,3 %) – от 25 до 40 ц/га и в 3 (2,5 %) – от 40 до 60 ц/га; в 3 районах Юго-Восточной зоны (2,5 %) – до 25 ц/га, в 4 (3,4 %) – от 25 до 40 и в 2 (1,7 %) – от 40 до 60 ц/га. Это позволит заключить, что в 44 районах республики (37,3 %) урожайность зерна не превышает 25 ц/га, в 51 (43,2 %) – 25-40 ц/га, в 21 (17,8 %) – 40-60 ц/га и в 3-х (2,5 %) – составляет свыше 60 ц/га. Это подтверждает результаты предыдущих исследований.

Результаты исследований эффективности применения перспективных моделей зерноуборочных комбайнов на уборке зерна в условиях сельскохозяйственных организаций республики в зависимости от сроков их эксплуатации показали, что при использовании комбайнов КЗС-1218 на уборке зерновых колосовых культур намолот зерна и объем убранной площади посевов при сроках их эксплуатации до 3-х лет составляет соответственно: от 1153,5 т/ед. (ОАО «Агрокомбинат МИР») и 1443,7 т/ед. (ОАО «17 Сентября»), 317,4 га/ед. и 212,5 га/ед.; от 3-х до 5 лет – 1303 т/ед. (ОАО «Столовичи-Агро») и 1444 т/ед. (ОАО «Александрийское»), 368,1 га/ед. и 267,4 га/ед.; от 5-и до 8-и лет –1161,3 т/ед. и 1381,6 т/ед., 306,9 га/ед. и 255,8 га/ед.; свыше 8-и лет –746,4 т/ед. (ОАО «Агрокомбинат МИР») и 832,0 т/ед. (ЗАО «АСБ-Агро-Городец»), 208,3 га/ед. и 255,0 га/ед. При этом, урожайность зерновых колосовых за период уборки в рассматриваемых хозяйствах составила соответственно: 47,1 ц/га (ОАО «Столовичи-Агро»), 54,1 ц/га (ОАО «Агрокомбинат МИР»), 45,9 ц/га (АПК «Возрождение» и СХП «Мазоловогаз»), 89,9 ц/га (СПК имени «Деньщикова»), 85,5 ц/га (ОАО «17 Сентября»), 90,5 ц/га (ОАО «Новая Жизнь»), 51,3 ц/га (ОАО «Александрийское») и 36,3 ц/га (ЗАО «АСБ-Агро-Городец»).

Анализ затрат на эксплуатацию перспективных моделей зерноуборочных комбайнов показал, что с увеличением стоимости применяемых моделей зерноуборочных комбайнов возрастают и затраты на их эксплуатацию несмотря на высокую их производительность и незначительный удельный расход топлива. Наибольшие затраты на эксплуатацию отмечены у зерноуборочных комбайнов типа КЗС-2124. При

этом, себестоимость механизированных работ при использовании данного типа комбайнов составляет не более 134,74 руб/т., что сопоставимо с применением аналогичных зарубежных аналогов.

Заключение

В результате исследований установлено, что применение в сельскохозяйственных организациях республики перспективных моделей зерноуборочных комбайнов КЗС-1218, КЗС-2124, КЗС-1624 и КЗС-3219 позволяет сократить сроки проведения уборочных работ, повысить качество уборки и снизить общую потребность в машинах для этих целей. Применение перспективных моделей зерноуборочных комбайнов по производительности, удельному расходу топлива, объему намолота зерна и убранной площади не уступают показателям лучших зарубежных аналогов, применяемых в хозяйствах республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комлач Д. И. Становление и развитие отечественного сельхозмашиностроения за период новейшей истории Беларуси. Проблемы и пути решения. / Д.И. Комлач, Л.Я. Степук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (Минск, 20–21 окт. 2022 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – С. 12-18.

2. Система перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства и первичной переработки основных видов продукции растениеводства и животноводства на 2021-2025 годы и на период до 2030 года : (методические рекомендации) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2024 – 118 с.

УДК 631.354.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА GS2124

Д. Н. Серенок, А. В. Белый
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В статье рассматривается усовершенствование конструкции молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна GS2124. Предлагаемые изменения позволят направить поток массы практически по одной прямой, что повысить производительность и энергоэффективность работы комбайна.

Введение

Зерноуборочные комбайны являются одними из самых сложных, технологичных и дорогостоящих сельскохозяйственных машин, так как производят комплекс операций с конечным результатом полевых работ – урожаем, который далее с поля в виде зерна поступает на последующую переработку.

Конкурентоспособность комбайна определяется техническим уровнем, надёжностью его агрегатов и систем, а также стабильностью выполнения технологического процесса с заданным уровнем потерь и минимальными затратами энергии. Любые недостатки конструкции комбайна и ошибки в настройке на этапе уборки могут повлечь серьёзные потери в качестве и количестве полученного зерна [1].

Комбайн зерноуборочный самоходный GS2124 – это производительный комбайн для широкого круга потребителей, с двухбарабанным молотильно-сепарирующим устройством гибридного типа, с шириной тракта 1700 мм. Комбайн предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений, для уборки зерновой части кукурузы, подсолнечника, зернобобовых, крупяных культур, семенников трав и рапса на равнинных полях с уклоном до 8°.

Комбайн производит скашивание или подбор зерновых или семенных культур, обмолот, сепарацию, очистку зерна, накопление зерна в бункере с последующей выгрузкой в транспортное средство, а также обеспечивает уборку незерновой части урожая по следующим технологическим схемам:

– укладка соломы в валок;

– измельчение и разбрасывание соломы по полю [2].

Комбайн GS2124 с гибридной системой обмолота и сепарации отличается эффективной сепарацией остаточного зерна – принципиально новая технология сепарации по сравнению с обычными соломотрясами, что обеспечивает существенно большую производительность и повышает качество выполняемого технологического процесса [3]. Он оснащён ускоряющим барабаном, молотильным барабаном, битером отбойным и роторным соломосепаратором.

Комбайн показал устойчивую работу на уборке зерновых культур и кукурузы на зерно, обеспечивая высокую производительность при допустимых потерях. Комбайн ориентирован на передовые хозяйства, выращивающие высокоурожайные (более 60-70 ц/га) хлеба.

Основные конструктивные элементы комбайна отработаны на серийных комбайнах GS10 и GS12A1, что обеспечивает его высокую техническую и технологическую надёжность.

Среди основных тенденций в развитии зерноуборочных комбайнов остаётся рост производительности за счёт увеличения пропускной способности при снижении эксплуатационных затрат и улучшение энергоэффективности отдельных узлов и комбайна в целом. Это достигается путём повышения пропускной способности за счёт увеличения размеров рабочих органов: ширины молотилки, диаметра барабана, угла обхвата подбарабанья, площади соломотряса, очистки и т.д. [4]. Производительность зерноуборочного комбайна в первую очередь определяет совершенство молотильно-сепарирующего устройства и системы очистки зерна.

Чтобы повысить производительность зерноуборочного комбайна и избежать существенных потерь зерна, перед конструкторскими бюро и научными организациями стоит задача внедрять передовые конструкторские решения и разработки.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы зерноуборочного комбайна является подбор рациональных параметров рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства. Это направление совершенствования зерноуборочных комбайнов, которое позволит выйти на качественно более высокий уровень на пути повышения удельных характеристик.

Для решения задачи по оптимизации конструктивных и технологических параметров молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна необходимо проведение большого объёма экспериментальных исследований в процессе уборки всевозможных культур с различной урожайностью, влажностью. Также необходим анализ этих результатов, принятие решений о внесении конструктивных изменений, проверка данных изменений в полевых условиях и т.д. Испытания и экспериментальная доводка молотильно-сепарирующего

устройства на реальном комбайне является весьма трудоёмким процессом. Поэтому перспективным является научный подход, основанный на моделировании. Особенно эффективен этот метод применительно к массовым изделиям машиностроения, к которым относится зерноуборочный комбайн. Это резко снижает затраты и расширяет возможности. Результат – повышение точности оценки служебных свойств изделия, узла, детали [5].

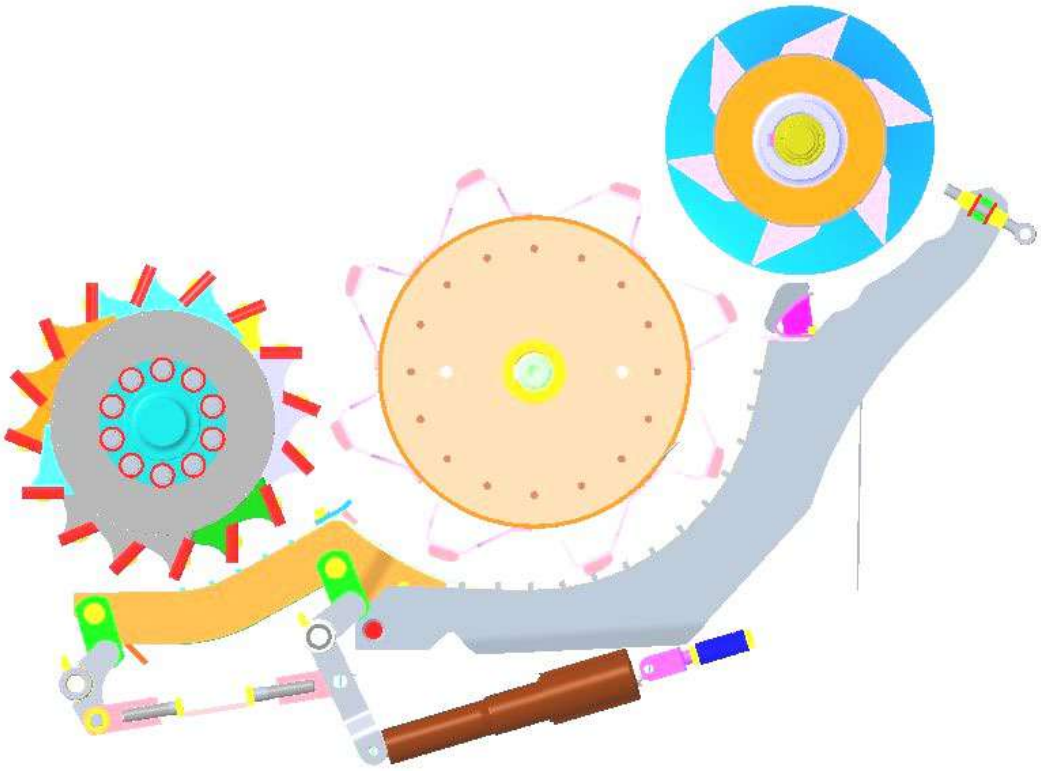
Цель исследования – обосновать комплекс мероприятий по оптимизации технологического процесса работы молотильно-сепарирующего устройства самоходного зерноуборочного комбайна GS2124 для увеличения производительности и эффективности работы с внесением изменений в конструкции молотильного барабана, отбойного битера, подбарабаний и механизма подъёма подбарабаний.

Объект исследования

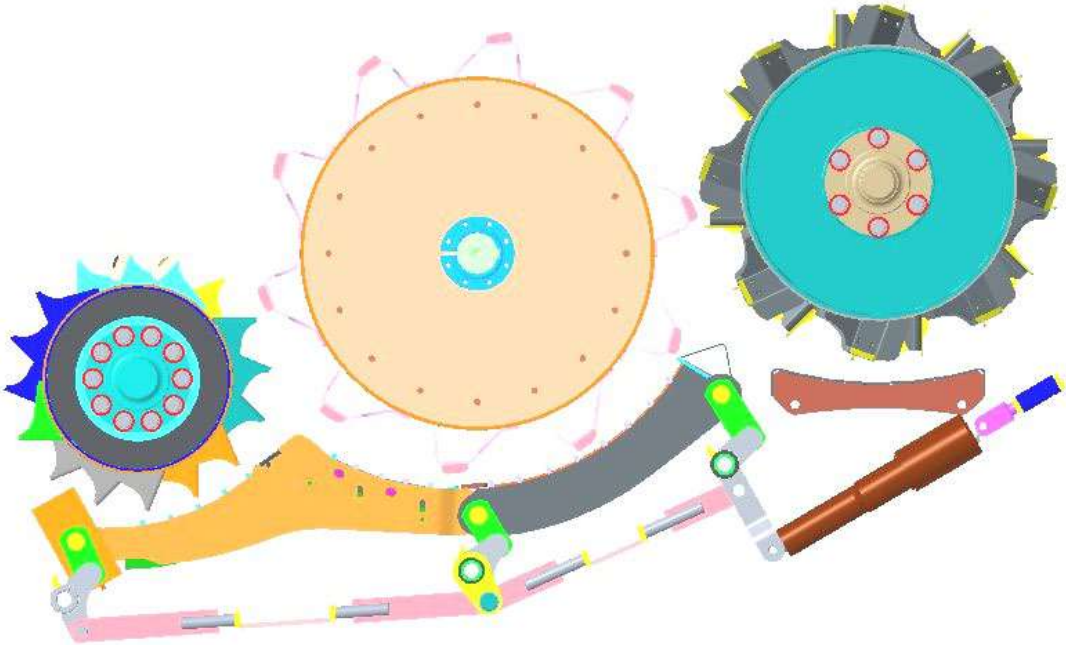
Молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) самоходного зерноуборочного комбайна GS2124, предназначено для вымолота зерна из колоса и выделения (сепарации) его из движущегося потока хлебной массы. В МСУ вымолот, т. е. нарушение связи зерна с колосом, происходит за счёт ударов бичей по колосьям и протаскивания их между неподвижной поверхностью и вращающимся барабаном. При этом зерно отрывается и выдавливается из колоса, приобретая возможность свободно перемещаться в потоке хлебной массы независимо от материнского растения, в том числе выделяться (сепарироваться) из совокупности движущихся стеблей. В результате обмолота однородная хлебная масса преобразуется в смесь из трёх составных частей: соломы, половы и зерна. Смесь зерна и половы называют мелким зерновым ворохом; смесь зерна, половы и соломы – грубым [6].

Анализ конструкции

МСУ состоит из рамы, ускоряющего барабана диаметром 450 мм, молотильного барабана диаметром 600 мм, отбойного битера диаметром 393 мм, переднего и заднего подбарабаний, механизма подъёма подбарабаний, камнеуловителя и механизма привода рабочих органов. Ускоряющий барабан повышает скорость движения хлебной массы, поступающей с транспортёра наклонной камеры, приближая её к скорости вращения молотильного барабана. Ускоряющий барабан оснащён передним подбарабаньем, благодаря чему обмолот и сепарация начинаются уже на стадии ускорения потока. Кроме того, зубья ускоряющего барабана равномерно распределяют массу. Таким образом, снижается нагрузка на молотильный барабан и заднее подбарабанье.



а



б

Рис. 1 – Молотильно-сепарирующее устройство: а - серийная конструкция; б – оптимизированная конструкция.

В серийной конструкции МСУ (рис. 1 а) были выявлены следующие недостатки:

– путь, который проходит хлебная масса, является неэффективным: требуются значительные затраты энергии на протягивание массы по криволинейной выгнутой траектории;

– молотильный барабан диаметром 600 мм работает недостаточно эффективно;

– при большой урожайности и тяжёлых условиях уборки отбойный битер не справляется с потоком зерносоломистого вороха, что приводит к его сгруживанию и забиванию приёмного окна роторного соломосепаратора, а также уход вороха на второй круг;

– при уборке остистых культур происходит наматывание зерносоломистого вороха на отбойный битер;

– происходит износ поперечных лопаток и как следствие выход из строя битера;

– небольшая площадь подбарабаний не обеспечивает необходимое качество и эффективность обмолота.

Для устранения перечисленных недостатков предлагается комплекс мероприятий по изменению существующей конструкции: заменить серийный молотильный барабан на барабан новой конструкции увеличенного диаметра; заменить серийный отбойный битер на сегментированный отбойный битер новой конструкции увеличенного диаметра; изменить конструкции переднего и заднего подбарабаний и механизма подъёма подбарабаний (рис. 1 б).

В дальнейшем предлагаем рассмотреть каждое изменение по отдельности.

Молотильный барабан

Молотильный барабан – главный рабочий узел МСУ, основное назначение которого вымолачивать зерно. Конструкция серийного молотильного барабана представляет собой ротор диаметром 600 мм и длинной 1685 мм. На валу ротора смонтированы диски, к которым присоединено восемь планок-подбичников. На планках-подбичниках закреплены стальные рифлёные бичи. Во время работы молотильный барабан, вращаясь с большой скоростью, бичами ударяет по хлебной массе и протягивает её в зазоре между барабаном и подбарабаньем.

В процессе эксплуатации выявилось ряд существенных недостатков серийной конструкции молотильного барабана:

– наматывание хлебной массы при уборке длинностебельных остистых культур;

– сгруживание массы при тяжёлых условиях уборки (большой урожайности, повышенной влажности и т.д.).

Решающей силой, которая влияет на вымолачивание зерна через подбарабабанье, является центробежная сила. Увеличение диаметра барабана с 600 мм до 800 мм приведёт к увеличению этой силы и создаст большой инерционный момент. Также это позволит снизить скорость вращения барабана из-за более высокой центробежной скорости бичей. Увеличивается количество активных бичей с 8 штук до 10 штук по сравнению с серийной конструкцией, что повышает частоту воздействия на хлебную массу и увеличивает производительность МСУ. Это позволит вымолачивать больше зерна уже на первом этапе обмолота-сепарации, минимизирует его повреждения, а также собирать более влажные зерновые, избегая увеличения потерь.

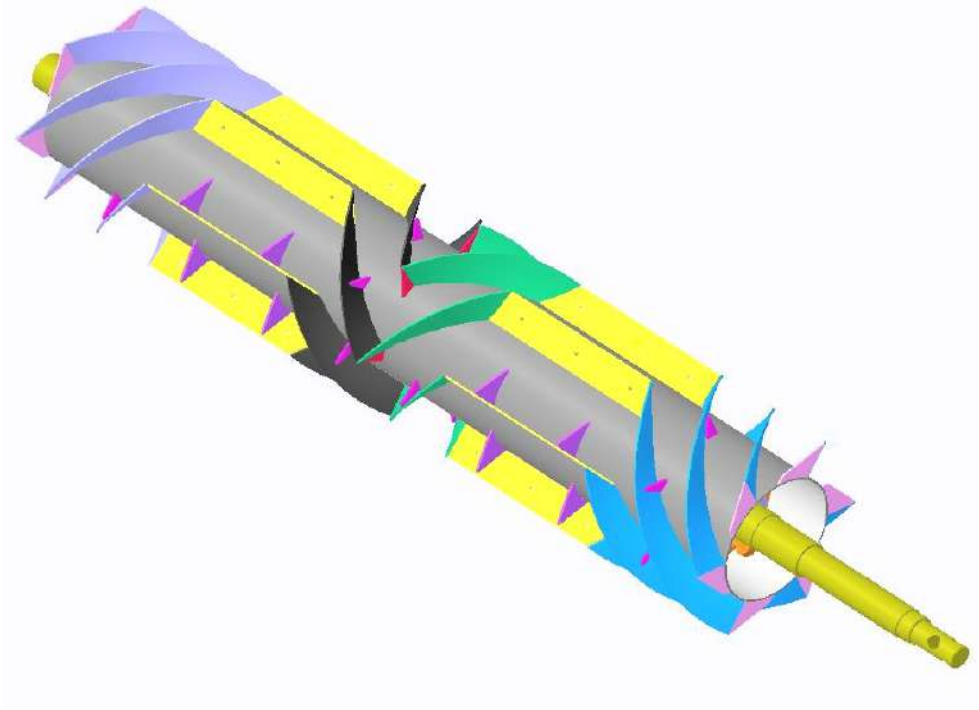
За счёт большей массы и, следовательно, инерционных сил значительно облегчается процесс обмолота. Оптимизированный молотильный барабан способен легко справляться с большим объёмом поступающей хлебной массы. При этом значительно возрастёт его производительность в единицу времени, что позволяет увеличить пропускную способность комбайна при незначительном повышении затрат на привод барабана. Ускорение потока хлебной массы уменьшает риск забивания молотильного барабана при высокой урожайности или неблагоприятных условиях уборки. При увеличении диаметра барабана дуга, по которой движется хлебная масса, становится более плавной – приближаясь к прямой. Движение массы по такой траектории значительно снижает затраты энергии на её перемещение. В результате изменения диаметра молотильного барабана и появления значительно более широкого угла его обхвата меняются и конструкции переднего и заднего подбарабаний.

Отбойный битер

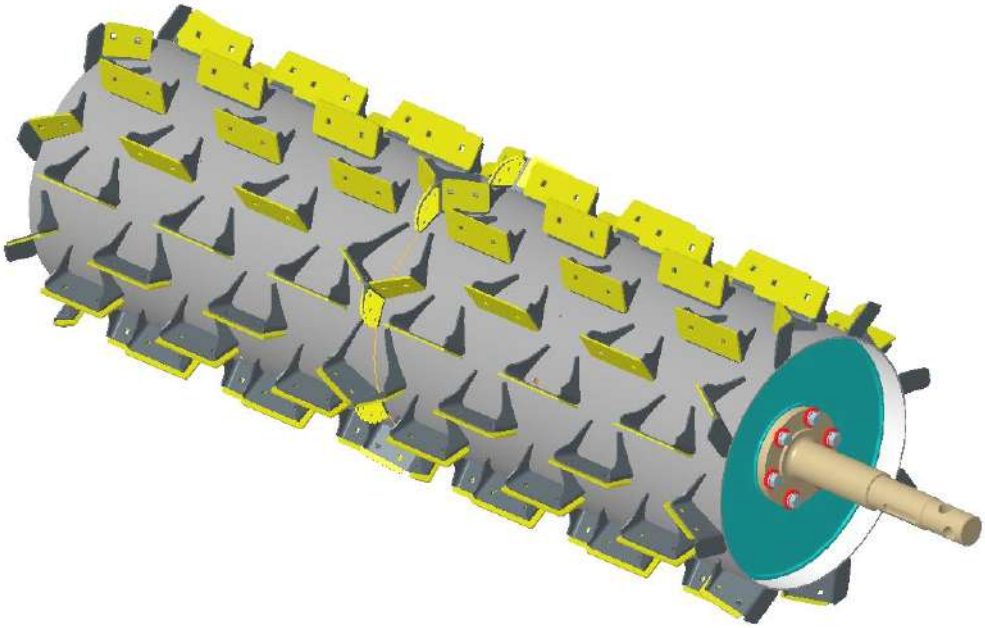
Отбойный битер в технологической схеме МСУ комбайна воздействует на вертикальный поток зерносоломистого вороха, выходящий из молотильного барабана, с определённой окружной скоростью. Отбойный битер снижает скорость движения вороха и направляет его в роторный соломосепаратор: таким образом, создаются условия для эффективной роторной сепарации на стадии подачи вороха от молотильного барабана. Кроме того, битер протрясает солому и зерно, выделенное из соломы.

Конструкция серийного отбойного битера (рис. 2, а) представляет собой полую трубу с вваренными фланцами. В центре и по краям на трубу наварены направляющие витки, закрученные по спирали. Витки производят разделение зерносоломистого вороха на два потока и направляют в приёмную горловину роторного соломосепаратора. В центре приварены лопатки, проталкивающие ворох к входу горловины [7].

Диаметр серийного отбойного битера по наружной кромке лопаток составляет 393 мм.



а



б

Рис. 2 – Отбойный битер: а - серийная конструкция; б - оптимизированная конструкция (сегментированный битер)

В процессе эксплуатации выявилось ряд существенных недостатков серийной конструкции отбойного битера:

– сгруживание зерносоломистого вороха при тяжёлых условиях уборки (большой урожайности, повышенной влажности и т.д.);

– наматывание зерносоломистого вороха при уборке длинностебельных остистых культур;

– происходит износ поперечных лопаток и как следствие выход из строя отбойного битера.

Для улучшения потока зерносоломистого вороха от системы обмолота до роторной системы сепарации предлагается оснастить зерноуборочные комбайны увеличенным сегментированным отбойным битером новой оптимизированной конструкции.

Конструкция сегментированного отбойного битера (рис. 2, б) представляет собой полую трубу с вваренными фланцами. В центре и по краям на трубу наварены направляющие лопатки, производящие разделение зерносоломистого вороха на два потока. В центре в шахматном порядке приварены капы, проталкивающие ворох к входу горловины роторного соломосепаратора. В центре битера крепятся на болтах съёмные пластины-ножи. К капам и к направляющим болтами крепятся съёмные накладки. Диаметр сегментированного отбойного битера по наружной кромке лопаток составляет 600 мм.

В результате сравнительного анализа серийной и оптимизированной конструкций отбойного битера к наиболее существенным отличиям можно отнести следующие:

– большую активную площадь лопаток;

– расположение лопаток в шахматном порядке позволяет значительно активнее воздействовать на зерносоломистый ворох;

– наличие съёмных накладок, которые можно заменить при износе (улучшение ремонтопригодности);

– наличие активного делителя в центральной части отбойного битера (съёмные пластины-ножи), что значительно облегчает уборку остистых культур;

– увеличен диаметр битера с 393 мм до 600 мм, что обеспечит оптимальное движение увеличенного потока зерносоломистого вороха к роторному соломосепаратору.

Увеличение диаметра отбойного битера позволит снизить скорость его вращения из-за более высокой центробежной скорости. За счет большей массы и, следовательно, инерционных сил значительно облегчается процесс подачи зерносоломистого вороха в роторный соломосепаратор. Отбойный битер увеличенного диаметра способен легко справляться с большим объёмом поступающего вороха, при этом увеличивается его производительность в единицу времени (пропускная способность) и обеспечивается дополнительная сепарация. Также

значительно уменьшается риск забивания битера и сгруживания вороха в приёмной горловине роторного соломосепаратора. Увеличенный отбойный битер позволяет передавать зерносоломистый ворох в роторный соломосепаратор без заторов.

Увеличенные диаметры барабанов (молотильного барабана и отбойного битера) создают низкие углы контакта (132°– молотильный барабан и 116°– отбойный битер) и находятся практически на одной прямой. Прямой поток материала обеспечивает снижение мощности и расхода топлива, приводит к меньшему повреждению соломы, что, в свою очередь, улучшает качество зерна и увеличивает пропускная способность, а также повышает эффективность процессов обмолота и сепарации остаточного зерна. Вследствие предложенных изменений конструкции происходит увеличение площади сепарации подбарабаний при уменьшении угла охвата барабанов.

Подбарабанья и механизм подъёма подбарабаний

В МСУ комбайна GS2124 установлено два подбарабанья (рис. 3 а): переднее, расположенное под ускоряющим барабаном, и заднее, расположенное под молотильным барабаном. Конструкция подбарабанья представляет собой сварной каркас, образованный двумя симметричными щеками, поперечными планками и рёбрами, которые проходят через отверстия в планках. Прутки, вставленные с двух сторон, образуют сепарирующую решётку. Переднее подбарабанье трёхсекцинное: имеет три сменные секции, которые меняются в зависимости от культуры. Заднее подбарабанье односекционное и не меняется в зависимости от культуры. Подбарабанья установлены в раме МСУ с помощью подвесок и двуплечих рычагов так, что расстояние между бичами молотильного барабана, капами ускоряющего барабана и планками подбарабаний на входе больше, а к выходу уменьшается. Они охватывают барабаны снизу по дуге. Во время работы МСУ барабаны, вращаясь с большой скоростью, капами и бичами ударяют по хлебной массе и протягивают её.

Механизм регулировки подбарабаний служит для пропорционального изменения зазоров между планками подбарабаний, бичами молотильного барабана и капами ускоряющего барабана, а также предохранения от поломок при попадании твёрдых предметов за счёт упругих деформаций торсионного вала и других звеньев. Корректировка механизма регулировки подбарабаний до обеспечения требуемого изменения величины зазора на входе и выходе МСУ осуществляется при помощи электромеханизма.

В процессе эксплуатации выявилось ряд существенных недостатков серийной конструкции подбарабаний и механизма подъёма подбарабаний:

– регулируются зазоры только переднего подбарабанья под ускоряющим барабаном. Зазоры заднего подбарабанья регулируются

автоматически, т.к. оно подвешено на подвесах за раму переднего. Задняя ось подбарабанья устанавливается неподвижно на раму МСУ и не перемещается во время выполнения процесса обмолота. При такой конструкции не имеется возможности отрегулировать равномерность зазора между молотильным барабаном и задним подбарабаньем. Неравномерность зазора негативно сказывается на качестве протекания технологического процесса обмолота и ухудшает свойства конечного продукта;

– при переходе на другие виды культур (например, уборка кукурузы) сменными являются только три секции переднего подбарабанья. Для замены заднего подбарабанья необходимо разборка МСУ, что требует существенных затрат времени. В условиях уборочного сезона временной фактор является очень значительным.

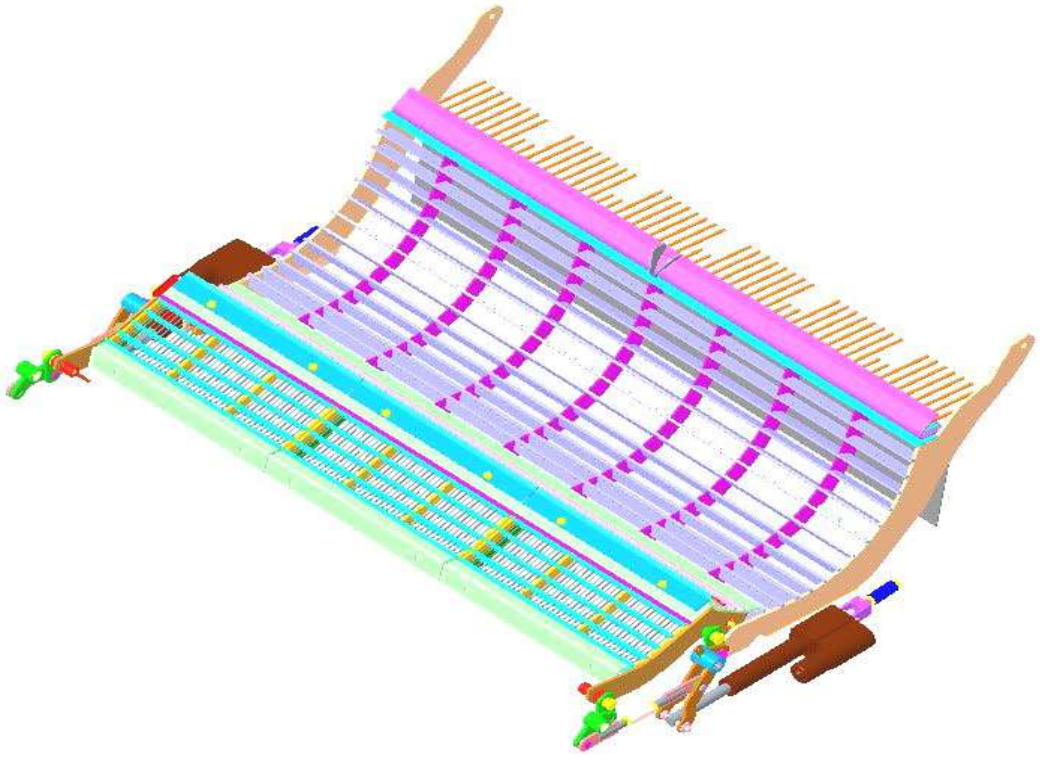
В результате сравнительного анализа серийной и оптимизированной конструкций подбарабаний и механизм подъёма подбарабаний (рис. 3 б) можно увидеть ряд преимуществ новой конструкции:

– оптимизированная конструкция механизма регулировки подбарабаний (подвеска в трёх независимых точках) и самих подбарабаний позволяет добиться равномерного зазора между ними, ускоряющим и молотильным барабанами. При этом положение переднего и заднего подбарабаний изменяется параллельно и синхронно. Это гарантирует равномерное и щадящее прохождение потока хлебной массы;

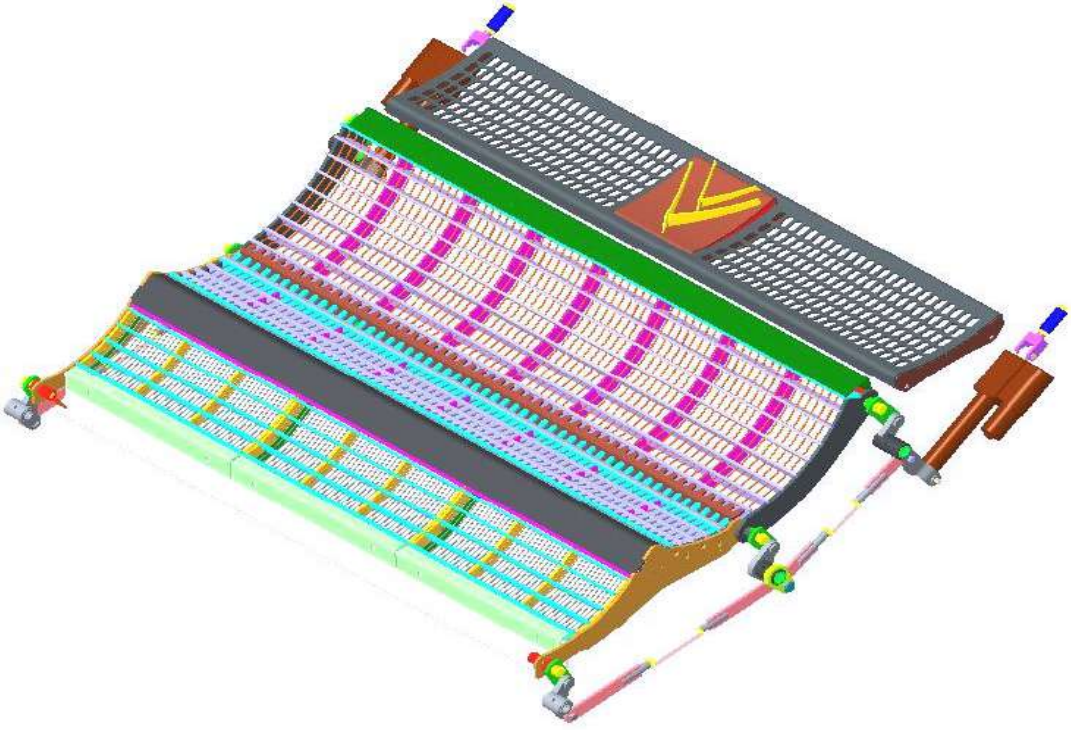
- перенесена ось подвески подбарабаний (с промежуточного положения между барабанами) под молотильный барабан. Это позволит производить более точную регулировку зазора механизмом подъёма подбарабаний, непосредственно в самой важной области, где происходит основной вымолот. Из-за переноса подвески значительно уменьшаются габаритные размеры и масса заднего подбарабанья, что облегчает процесс его замены при необходимости для обеспечения более эффективного процесса обмолота в зависимости от убираемой культуры. Данное изменение улучшит качество выполнения технологического процесса.

– в новых конструкциях подбарабаний предусмотрена быстрая смена сегментов подбарабаний (рис 4). В значительной степени снижается время необходимое для переоборудования комбайна при смене культур. При этом основные компоненты заднего подбарабанья остаются в машине. Замена трёх сегментов переднего подбарабанья осуществляется через камнеуловитель в передней части комбайна, а сменный сегмент заднего подбарабанья просто извлекается сбоку через специальный лючок.

Это обеспечивает снижение затрат на техобслуживание и повышение эксплуатационной надежности.



а



б

Рис. 3 – Подбарабанья и механизм подъёма подбарабаний: а - серийная конструкция; б - оптимизированная конструкция

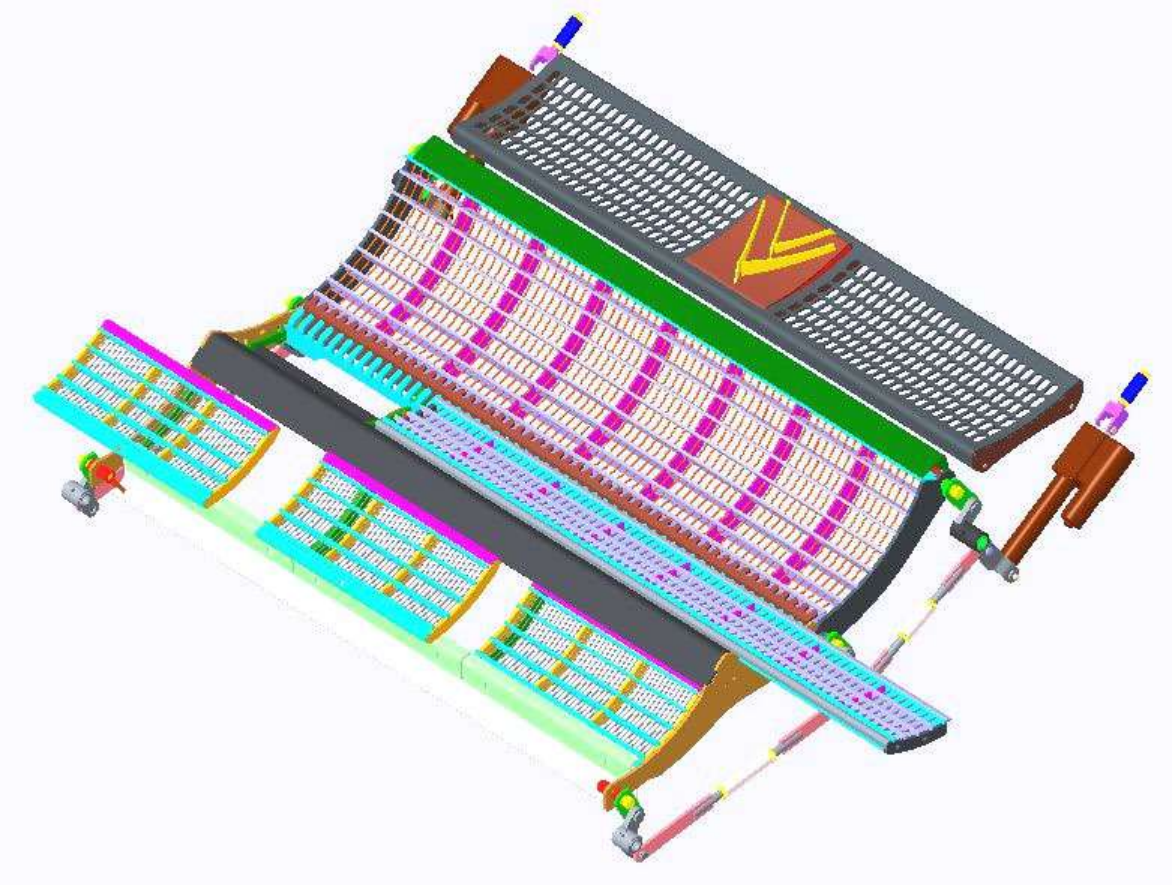


Рис. 4 – Замена сегментов переднего и заднего подбарабаний

В предложенной оптимизированной системе обмолота 450-миллиметровый ускоряющий барабан запускает высокоэффективный процесс обмолота, равномерно ускоряет поток хлебной массы до 20 м/с, создавая большие центробежные силы, обеспечивающие максимальную эффективность сепарации. Происходит равномерное ускорение потока массы на всех подбарабаньях. Увеличенные на 33% диаметр молотильного и на 52% диаметр отбойного битера, а также малый угол охвата обеспечивают горизонтальные переходы между барабанами и роторами. В подбарабаньях новой конструкции площадь сепарации увеличена на 37%.

Заключение

Таким образом, предлагаемые изменения конструкции молотильно-сепарирующего устройства позволят значительно повысить производительность и энергоэффективность процессов обмолота и сепарации зерна. Также они обеспечат значительное улучшение показателей технологического процесса: отсутствие забивания и наматывания на молотильный барабан и отбойный битер при уборке в тяжёлых условиях, более плавную подачу зерносоломистого вороха в

роторный соломосепаратор, его равномерное распределение между роторами, меньшее повреждение вороха, что, в свою очередь, улучшает качество зерна. Благодаря предложенной оптимизации технологического процесса молотильно-сепарирующего устройства комбайн будет способен обеспечить большую пропускную способность, при этом значительно снижается мощность на выполнение процесса обмолота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уборочные машины «ПАЛЕССЕ»: пособие / А.В. Клочков [и др.]. – Минск: РИПО, 2016. – 243 с.

2. Комбайн зерноуборочный самоходный GS2124: Инструкция по эксплуатации. – Гомель: НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2023. – 305 с.

3. Зерноуборочный комбайн GS2124 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gomselmash.by . – Дата доступа: 12.02.2024.

4. Лонцева И. А. Пути повышения эксплуатационной производительности зерноуборочных комбайнов / И.А. Лонцева // Дальневосточный аграрный вестник. – Благовещенск: ДГАУ, 2017 №4(44) – С. 175-181.

5. Тюрин С. А. Силовые системы сельскохозяйственной техники: моделирование и испытания / С.А. Тюрин, Н.Н. Малык // Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023 №2 – С. 5-13.

6. Бердышев В.Е. Исследование процесса обмолота колосков бильными барабанами / В.Е. Бердышев // Сборник научных трудов МИИСП. – 1975. – т.XII, вып.1, ч.1. – С. 161 – 165.

7. Серенок Д. Н. Модернизация системы подачи массы в роторный соломосепаратор зерноуборочных комбайнов с гибридной системой обмолота / Д.Н. Серенок // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем: сб. науч. тр. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – С. 154–157.

УДК 631.354

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А. И. Козлов[1], С. Н. Бобрышева[2]
[1]Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь
[2]Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения полимерных материалов повышенной пожаробезопасности в сельскохозяйственном машиностроении. Представлена оптимизированная модель ступеньки трапа самоходного зерноуборочного комбайна КЗС-10К, выполненная из ABS-пластика, наполненного антипиренами. Прототип создан при помощи FDM-печати.

Введение. Машиностроительная отрасль Беларуси ориентирована сегодня на рост производительности, экономичности и надежности выпускаемой техники, на снижение массы на единицу мощности, а также повышение точности изготовления продукции. Предприятия страны выпускают изделия с высокими эксплуатационными качествами при минимальных затратах общественного труда.

На современном этапе развития сельскохозяйственного машиностроения актуальной является задача разработки и выпуска машин, позволяющих обеспечить максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов. С этой целью способы производства конструкционных элементов сельскохозяйственной техники подвергаются оптимизации. Последняя может заключаться в замене исходного металлического материала на альтернативный, например пластик, что позволяет, в свою очередь, сэкономить большую массу сырья. Оптимизации также подвергаются и сами конструкции деталей, например в случае, когда необходимо иметь способность к быстрому демонтажу, который невозможен в исходной версии. В этой связи возрастает значимость материаловедения как фундаментальной базы для оптимизации процесса производства машин.

Материаловедение в сельскохозяйственном машиностроении играет одну из ключевых ролей, в том числе и потому, что на сегодняшний день остро стоит вопрос о пожаробезопасности элементов технических конструкций. Создание и внедрение в производство композитных пластиковых материалов, наполненных антипиренами, способно решить

данную проблему. Важно, что подобные материалы и наполнители достаточно изучены и уже нашли свое применение в большинстве сфер производства и жизнедеятельности человека.

Для решения задач по разработке новых альтернативных материалов, оптимизации технологических процессов и конструкционных элементов современное материаловедение берет на вооружение новейшие методы и технологии, а именно трехмерное моделирование и анализ, а также аддитивные технологии. Одним из предприятий страны, активно применяющим вышеназванные технологии, является ОАО «Гомсельмаш» (г. Гомель). В состав структуры предприятия входит большое количество отделов, отвечающих за прочностные расчеты, визуализацию, подбор материалов и оптимизацию деталей, сборок, различных ходовых систем посредством 3D-технологий.

Предмет исследования: возможность применения изучаемых материалов в машиностроении (в частности, в комбайностроении).

Объект исследования: полимерные материалы повышенной пожаробезопасности и элементы конструкции трапа.

Цель исследования: изучение возможности применения полимерных материалов повышенной пожаробезопасности, перерабатываемых по 3D-технологии, для конструкции элементов трапа самоходного зерноуборочного комбайна КЗС-10К, выпускаемого заводом «Гомсельмаш». Объектом исследования явились полимерные материалы повышенной пожаробезопасности и элементы конструкции трапа; предметом – возможность применения изучаемых материалов в машиностроении (в частности, в комбайностроении).

Методология исследования. В ходе исследования выполнен анализ существующих аддитивных технологий, а также полимеров, способных послужить альтернативной заменой металлическим материалам, традиционно используемым в машиностроительном производстве. В качестве подходящей технологии печати выбрана FDM (FFF) по ряду причин: большой спектр используемых материалов, высокая скорость печати, возможность дополнительной обработки моделей (шлифование, рассверливание, нарезание резьбы и пр.), прочность и надежность получаемых деталей и др. [1, с. 32–35]. Альтернативой основному металлическому материалу детали проекта послужил ABS-пластик как обладающий соответствующими эксплуатационными характеристиками: устойчивость к неблагоприятным воздействиям, конструкционная жесткость, способность выдерживать высокие температуры, усталостная прочность, высокое сопротивление ударным нагрузкам [2, с. 524]. Вопрос повышения огнеупорности ABS-пластика решается путем его наполнения антипиренами (например, добавками с полимерной матрицей, в частности поликарбонатом (ПК-12) и полиамидом (АП-12)) – веществами, предохраняющими материалы органического

происхождения от воспламенения и возгорания. Термопластики (ABS-пластик в их числе), модифицированные антипиренами, приобретают такие характеристики, как повышенная прочность, критическая точка нагрева и пожаробезопасность [3, с. 91].

Результаты исследования. Прочностные и экономические расчеты, выполненные при помощи программного пакета «Ansys WorkBench 2023 R2», свидетельствуют о том, что производственная реализация альтернативной конструкции ступеньки трапа из композитного ABS-пластика, наполненного антипиренами, для зерноуборочного комбайна КЗС-10К является вполне возможной и экономически оправданной. Благодаря использованию пластикового материала вместо металла появляется возможность экономии металлической массы на производстве: масса оригинальной металлической ступени из конструкционной стали марки 30 составляет 1,9 кг, в то время как оптимизированная модель имеет массу 1,3 кг. Таким образом, выполненная оптимизация позволяет сэкономить от 950 до 1000 кг металлической массы на партию выпускаемой продукции, что на текущий момент эквивалентно 47000 белорусских рублей. При этом, проект не вызывает появления дополнительных опасных и вредных производственных факторов в соответствии с требованиями охраны труда.

По сравнению с исходной литой конструкцией оптимизированная модель пластиковой ступеньки трапа (рис. 1) подверглась существенным изменениям: увеличены толщина и высота стенок, а также толщина и высота ребер жесткости; сокращены размеры отверстий, а их форма изменена на окружность; добавлены отверстия под крепления для болтов, что открывает возможность быстрого демонтажа и замены ступеньки в случае поломки. При этом, несмотря на внешний массивный вид, габаритные размеры детали остались прежними.

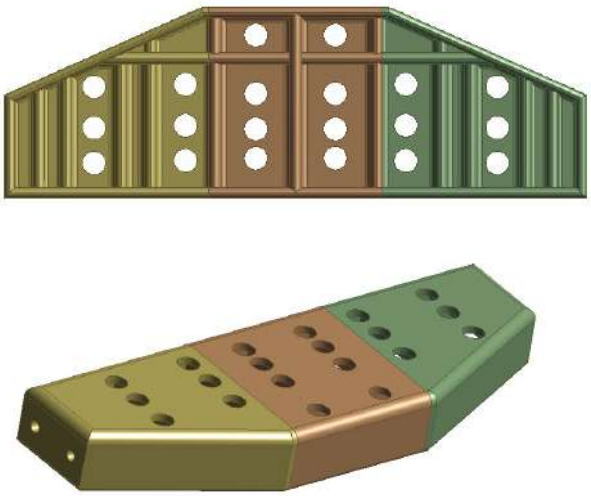


Рис. 1 – Оптимизированная конструкция ступеньки трапа

Выводы. В заключение отметим, что выполненное в рамках настоящего исследования изучение механических, технологических и эксплуатационных свойств альтернативных материалов свидетельствует об экономической и технологической целесообразности их использования для изготовления конструкционных элементов сельскохозяйственной техники и, в целом, открывает широкие перспективы оптимизации машиностроительной отрасли при помощи аддитивных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горьков Д. Е. 3D-печать с нуля / Д. Е. Горьков, В. А. Холмогоров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2020. – 256 с.

2. Реологические и механические свойства АБС-пластиков, полученных полимеризацией в массе / В. Е. Древаль [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия А, Реология. – 2006. – Т. 48, № 3. – С. 524– 533.

3. Козлов А. И. Пожаробезопасность термопластических материалов / А. И. Козлов, С. Н. Бобрышева (науч. рук.) // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XX междунар. науч.–техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2020 г. / М–во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун–т им. П. О. Сухого ; под. общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – С. 89–91.

УДК 621.793.1:669.056.99

СПЕЦИФИКА НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Н. Ф. Соловей[1], Н. Н. Федосенко[2] , А. С. Шантыко[1], Д. Г. Пилипцов[2] , Е. А. Кулеш[2] , Л. А. Мороз[1]

[1] Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь,
[2] УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

Повышение уровня качества продукции машиностроения в целом и сельскохозяйственного машиностроения в частности требует разработки и внедрения высокоэффективных научно-обоснованных решений. Достижения, ранее используемые, например, в радиоэлектронике, теперь успешно применяются при разработке покрытий нового поколения. Способы и методы их осуществления должны позволять выпускать технику высокого уровня, способную конкурировать с лучшими мировыми аналогами. Кормоуборочные и зерноуборочные комбайны, выпускаемые ОАО «Гомсельмаш», эксплуатируемые на площадях с разнородной топографией поверхности в условиях повышенного абразивного износа и электрохимических воздействий органических кислот растений, должны обладать высокой надежностью и производительностью и минимальным отрицательным воздействием на почву.

Комбайн состоит из нескольких тысяч ДСЕ, изготовленных из различных материалов. На стадии проектирования приходится учитывать наличие и возможности имеющегося на производстве технологического оборудования, позволяющего реализовать задуманное. Стремление повысить выходные показатели комбайнов наталкивается на необходимость изготовления деталей с минимальными допусками и посадками. Оснащение производства высокопроизводительными металлообрабатывающими станками и штампами ведет к необходимости использования инструмента с особыми свойствами рабочих поверхностей.

В настоящее время наиболее эффективным способом модифицирования поверхности штампового и режущего инструмента является нанесение покрытия. Нанесение покрытия на режущую поверхность ведет к повышению микротвердости, коррозионной стойкости и термодинамической устойчивости поверхностного слоя, снижению коэффициента трения при фрикционном контакте инструмента и обрабатывающего материала.

На начальном этапе модификация поверхности штампового и режущего инструментов осуществлялась за счет нанесения однослойного покрытия нитрида титана (TiN). Широкому внедрению данного метода способствовал ряд факторов: невысокая стоимость расходных материалов (титан значительно дешевле многих тугоплавких материалов, азот - недефицитный безопасный реакционный газ). При всем этом, покрытия, нанесенные на режущий инструмент, должно обладать целым рядом физико-механических характеристик: высокой адгезионной прочностью с металлической основой инструмента, термостойкостью и теплопроводностью, высокой микротвердостью и вязкостью, низким коэффициентом трения при фрикционном контакте. Зачастую эти требования при обработке различных материалов взаимоисключающие.

Получение покрытия с вышеперечисленными свойствами возможно только при нанесении нескольких слоев. Отличительной чертой многослойных покрытий является стопорение возникающих трещин, развитие которых продолжается не вглубь покрытия, а вдоль границ отдельных слоев. Для этого наносимый слой покрытия должен иметь минимальную толщину и составлять несколько нанометров (10^{-9} метра). Особенностью наноструктурных покрытий является совмещение в себе повышенной микротвердости и необходимой пластичности. Существующие в настоящее время техпроцессы позволяют получать микроструктуру покрытий с размерами зерен менее 100 нм. Среди множества теорий изнашивания тел при трении приоритетной является лепестковая, в основе которой лежат зарождение и распространение дислокаций. При размере зерен порядка 10 нм количество атомов в зернах сравнимо или меньше, чем в их границах, что, в свою очередь, тормозит генерацию дислокаций. В наноструктурных покрытиях дислокации практически отсутствуют. Все вышесказанное определило основные направления получения многослойных наноструктурных покрытий для возможности их применения в области металлообработки режущим и штамповым инструментом. Ранее в исследованиях [1,2] получены результаты, характеризующие перспективность данного направления.

Увеличение эксплуатационного ресурса работы элементов машин и механизмов, работающих в условиях высоких контактных нагрузок, как правило, обеспечивается за счет увеличения поверхностной твердости. Однако [3], в промышленных условиях эксплуатации снижение износа сильно зависит от упругости и стойкости к деформациям поверхностного слоя. Эти свойства определяются основными физико-механическими характеристиками поверхностного слоя, а именно твердостью, модулем упругости и пластичностью.

Для исследования механических свойств покрытий широко применяются методы инструментального индентирования, представляющие собой совокупность методик и оборудования,

необходимых для исследования свойств покрытий в наномасштабах. В литературных источниках на основании экспериментальных исследований различных материалов показано, что значения индекса пластичности H/E=0,15 соответствуют «идеальной упругости» покрытия [4]. Данный критерий может характеризовать структурное состояние материала покрытия: H/E<0,04 – крупнокристаллические материалы, H/E≈0,05-0,09 – мелкокристаллические и наноматериалы, H/E≥0,1 – аморфные и аморфнонанокристаллические материалы [5].

В данной работе были сформированы a-C покрытия на основе аморфного углерода из сепарированного потока импульсной углеродной плазмы на подложки с осажденными (TiO_2, Al_2O_3, Cu, Ni, Ir, Pt**)** подслоями. Подслои осаждались методом магнетронного распыления. Магнетронный метод нанесения покрытий характеризуется высокой степенью равномерности и отсутствием капель в потоке осажденных частиц. Реализация выбранных режимов формирования подслоев позволила получить следующие толщины $d_{(TiO2)}$=61 нм, $d_{(Al2O3)}$=68 нм, $d_{(Cu)}$=65 нм, $d_{(Ni)}$=55 нм, $d_{(Ir)}$=50 нм, $d_{(Pt)}$=60 нм.

В качестве подложек использовали полированные пластины монокристалла кремния (100) толщиной 0,5 мм. Перед нанесением покрытий подложки промывали с использованием органических растворителей (ацетон, спирт) в ультразвуковой ванне при температуре 50 °C, с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушке на воздухе. После размещения подложек в вакуумной камере и ее откачки до остаточного давления 3×10^{-3} Па, проводили их очистку ионами аргона, формируемых ионным источником типа «АИДА». После очистки включали нагреватель подложек и нагревали их до температуры 150 °C или 350 °C. После нагрева и стабилизации температуры подложки и подложкодержателя осаждали углеродную компоненту покрытия. Температура контролировалась с помощью термопары. После осаждения подложки с нанесённым покрытием остывали в вакуумной камере при давлении 2×10^{-3} Па до комнатной температуры 23 °C. После остывания проводили разгерметизацию вакуумной камеры и доставали подложки.

Термообработку осажденных покрытий на основе углерода проводили при различных температурах как в вакууме при остаточном давлении 8 Па использованием вакуумной печи модели Dentamatic 500/Chameleon-Mx (Tokmet-TK Ltd., Болгария), так и на воздухе с использованием печи модели SNOL 8.2/1100. Выбор температурных режимов определялся термостойкостью углеродной компоненты покрытия. Время обработки составляло 60 минут. После обработки образцы остывали вместе с печью. При использовании вакуумной печи остывание происходило при постоянном поддержании пониженного давления.

Измерение механических параметров (твердость, модуль упругости) покрытий проводили с использованием наноиндентора «НаноСкан 4D» производства ФГБНУ «ТИСНУМ» (г. Троицк, РФ) с использованием двух методик: динамического механического анализа (ДМА) и режима с линейной разверткой прикладываемой силы нагружения (Lin. Force). В качестве индентора использовали алмазную трехгранную пирамидку Берковича. При этом в режиме динамического механического анализа типичная амплитуда колебаний составила порядка нескольких нанометров при максимальной нагрузке 40 мН. В результате использования методик динамического механического анализа получали непрерывные зависимости твердости и модуля упругости от глубины индентирования. Измерения механических свойств проводили методом индентирования по стандартной методике (ISO 14577) с однократным нагружением и разгружением. С целью обеспечения метрологически достоверных значений измеренных параметров, на каждом образце покрытий проводилось по 15 измерений) при идентичных условиях нагружения, затем результаты усредняли.

В таблице 1 приведены результаты исследования механических свойств покрытий после термообработки на воздухе, полученные в режиме динамического анализа, которые характеризуют усредненное значение твёрдости покрытий при глубине индентирования 50 нм, т.е. показывают композиционную твердость «углеродный слой - подслой».

Таблица 1 – Механические свойства покрытий, термообработанных на воздухе при различной температуре

Покрытие	Твердость H, ГПа	Модуль упругости E, ГПа	H/E	H^3/E^2
Без термообработки				
Al_2O_3/a-C	11,3	149,6	0,075	0,064
TiO_2/a-C	9,4	161,8	0,058	0,032
Pt/a-C	8,8	141,7	0,062	0,034
Ni/a-C	18,4	207,7	0,089	0,144
Cu/a-C	5,5	140,4	0,039	0,008
Ir/a-C	12,7	273,1	0,046	0,023
Температура термообработки 150 ± 20 °C				
Al_2O_3/a-C	11,8	168,4	0,070	0,057
TiO_2/a-C	9,5	152,4	0,062	0,036
Pt/a-C	8,4	142,6	0,058	0,029
Таблица 1 - Продолжение				
Ni/a-C	14,5	177,4	0,081	0,096
Cu/a-C	3,8	147,9	0,025	0,003
Ir/a-C	11,5	161,1	0,071	0,058

продолжение Таблицы 1

Температура термообработки 350 ± 20 °C				
Al_2O_3/a-C	12,4	161,2	0,076	0,073
TiO_2/a-C	8,2	140,6	0,058	0,027
Pt/a-C	8,5	152,8	0,055	0,026
Ni/a-C	13,7	194,1	0,071	0,068
Cu/a-C	4,4	151,8	0,028	0,003
Ir/a-C	14,9	213,4	0,069	0,072

Анализ значений твердости и модуля упругости показал, что природа подслоя и режим термообработки оказывают влияние на их значения. При высокой температуре отбработки на воздухе наблюдается снижении твердости TiO_2/a-C, Ni/a-C и Cu/a-C покрытий, что может быть связано связано как с протеканием процессов термоокислительной деструкции углеродного слоя, так и с изменением структуры подслоя.

С целью минимизации процесса окислительной деструкции на структуру углеродного слоя полученные слоистые покрытия термообработали в вакууме при 350 °C. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства покрытий, после термообработки в вакууме

Покрытие	Твердость H, ГПа	Модуль упругости E, ГПа	H/E	H^3/E^2
Температура термообработки 350±20 °C				
Al_2O_3/a-C	13,1	174,2	0,075	0,074
TiO_2/a-C	8,8	148,3	0,059	0,031
Pt/a-C	9,1	155,6	0,058	0,031
Ni/a-C	17,4	199,4	0,087	0,132
Cu/a-C	4,8	156,3	0,031	0,004
Ir/a-C	15,6	215,5	0,072	0,081

В режиме однократного индентирования исследованы механические свойства покрытий такие как твердость, модуль упругости и определены коэффициенты упругого восстановления. На рис. 1 приведены кривые индентирования для алмазоподобных покрытий при их осаждении на каталитические слои металлов и соединений после термообработки на воздухе при 350 °C.

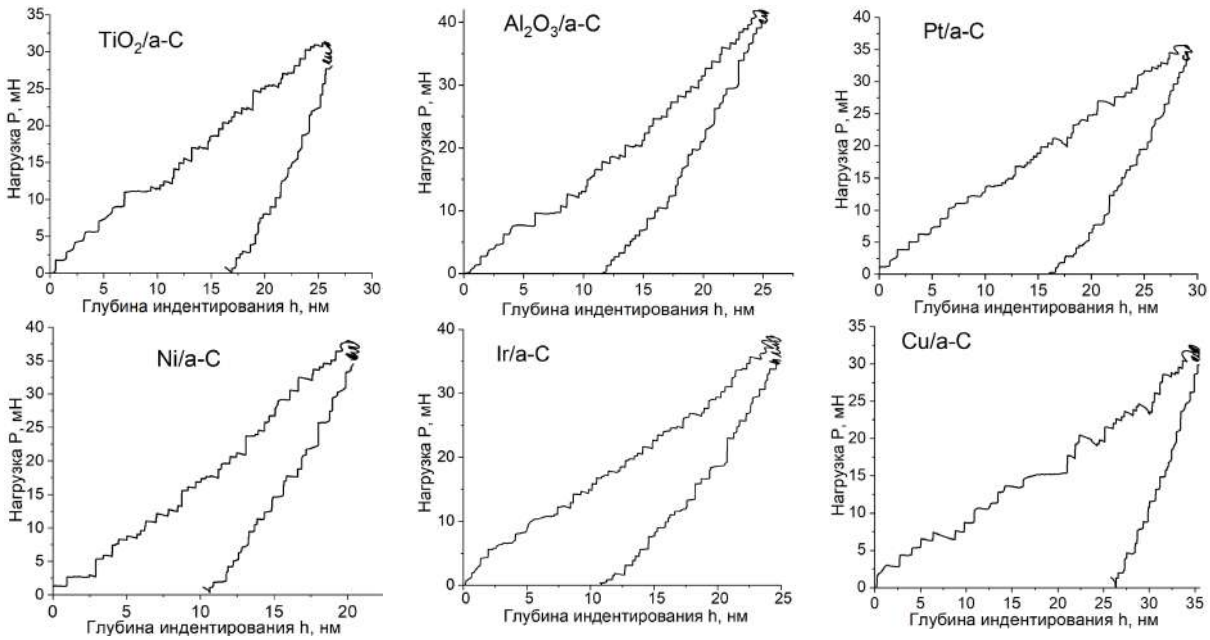


Рис. 1 – Диаграмма зависимости изменения нагрузки P (мН) от глубины индентирования h (нм) для покрытий, термообработанных при 350 °C на воздухе.

Кривые индентирования (рис. 1) показали, что остаточная деформация, определяемая по максимальной глубине отпечатка после снятия нагрузки зависит от природы подслоя, так для алмазоподобных покрытий, осажденных на подслой меди, она достигает максимальных значений, независимо от температуры отжига. Для покрытий Ir/a-C, Ni/a-C и Al_2O_3/a-C величина остаточной деформации снижается с ростом температуры нагрева, что указывает на изменение структуры подслоя, возможно за счет уменьшения размера зерна и формированию более плотной структуры.

Можно предположить, что для таких подслоев, способных изменять структуру в зависимости от условий термообработки происходит трансформация групп атомов в решетку растущих зерен, что приводит к уплотнению структуры и увеличению твердости покрытий с ростом температуры нагрева (таблица 1 и 2).

Установлено, что значения индекса пластичности, коэффициента упругого восстановления для покрытий, отожженных в вакууме, превышают значения для покрытий термообработанных при идентичных условиях на воздухе, что определяется снижением влияния процесса окисления и разрушения верхнего углеродного слоя с ростом температуры нагрева в кислородсодержащей среде.

Дальнейшие исследования многослойных наноструктурных покрытий, нанесенных на режущий инструмент и штамповую оснастку,

позволят изготавливать детали машин и механизмов с высокой степенью точности и износостойкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (номер государственной регистрации 20212202).

ЛИТЕРАТУРА

1. Многослойные покрытия на основе углерода для инструмента и специализированной оснастки / Н.Ф. Соловей, Н.Н. Федосенко, А.С. Шантыко, Е.А. Кулеш, А.С. Руденков //Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: 2-ая международная научно-практическая конференция сб. тез.докл., Гомель 4-5 октября 2018 г./Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», НАН Республики Беларусь-Гомель 2018-с.114-115.

2. Покрытия на основе бора и углерода: особенности метода получения / Н.Ф. Соловей, Е.А. Кулеш, Н.Н. Федосенко, Д.Г. Пилипцов //Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: 3-я международная научно-практическая конференция сб. тез.докл., Гомель 3-4 октября 2019 г./Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», НАН Республики Беларусь-Гомель 2019-с.134-135.

3. Композиционные углеродные покрытия, осажденные из импульсной катодной плазмы / Д.Г. Пилипцов [и др.] // под редакцией А. В. Рогачева. – М.: Радиотехника, – 2020. – С. 283.

4. Oliver W. C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: advances in understanding and refinements to methodology / W. C. Oliver, G. M Pharr // J. of Materials Research. – 2004. – Vol. 19, № 1. – P. 3–20.

5. Hardness, intrinsic stress, and structure of the a-C and a-C:H films prepared by magnetron sputtering / V. Kulikovsky [et al.] // Diamond a. Related Materials. – 2001. – Vol. 10, № 3-7. – P. 1076–1081.

УДК 629.114.2

К ВОПРОСУ ОБ АГРЕГАТИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С НАВЕСНОЙ ТЕХНИКОЙ

В. Б. Попов
Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Мобильный машинный агрегат, состоит из мобильного энергетического средства (МЭС) – трактора, универсального энергетического средства (УЭС), фронтального погрузчика и агрегатируемой с ним навесной машины (НМ) или орудия, Наличие широкого шлейфа сменного рабочего оборудования позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в случаях, когда применение специализированных машин нецелесообразно.

Использование в сельском хозяйстве России и Беларуси прогрессивных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур с использованием комплексов машин на базе УЭС позволяет заменить в машинно-тракторном парке (МТП) устаревшую технику. При высокой годовой загрузке УЭС (1500 ч и более) снизить материалоемкость МТП в 1,5-1,7 раза, повысить производительность труда на 40-60%, снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции на 25-35%, сократить сроки окупаемости затрат в сельском хозяйстве до 1,5-2 лет при снижении стоимости комплексов машин в 2,3-2,7 раза по сравнению с набором заменяемых самоходных уборочных (зерно-кормо-свекло-уборочных) комбайнов [1]. Использование УЭС содействует широкомасштабному применению почвообрабатывающих машин и комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов с активными и активно - пассивными рабочими органами, а также других машин отечественного и зарубежного производства.

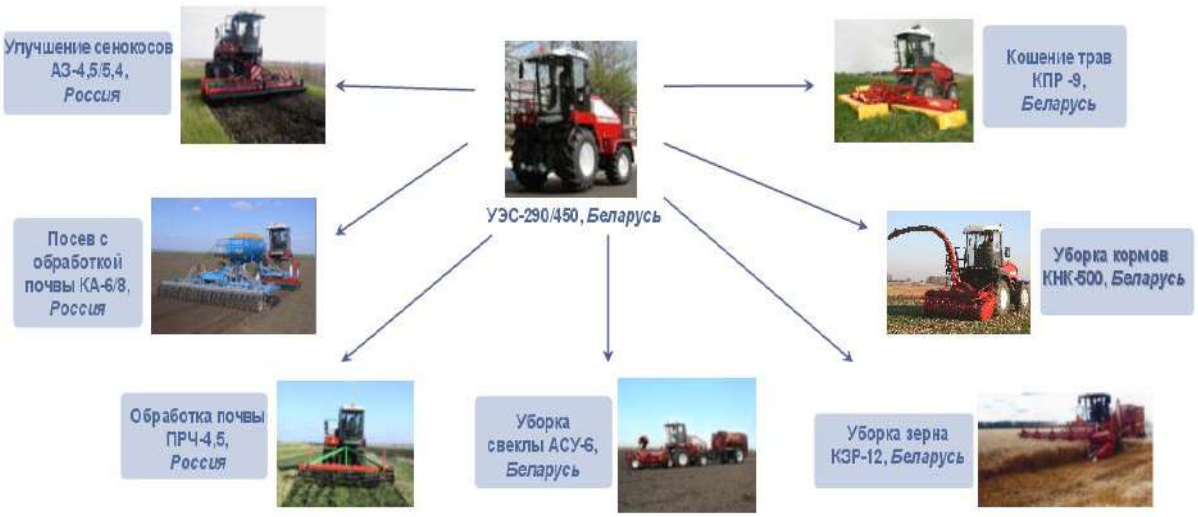
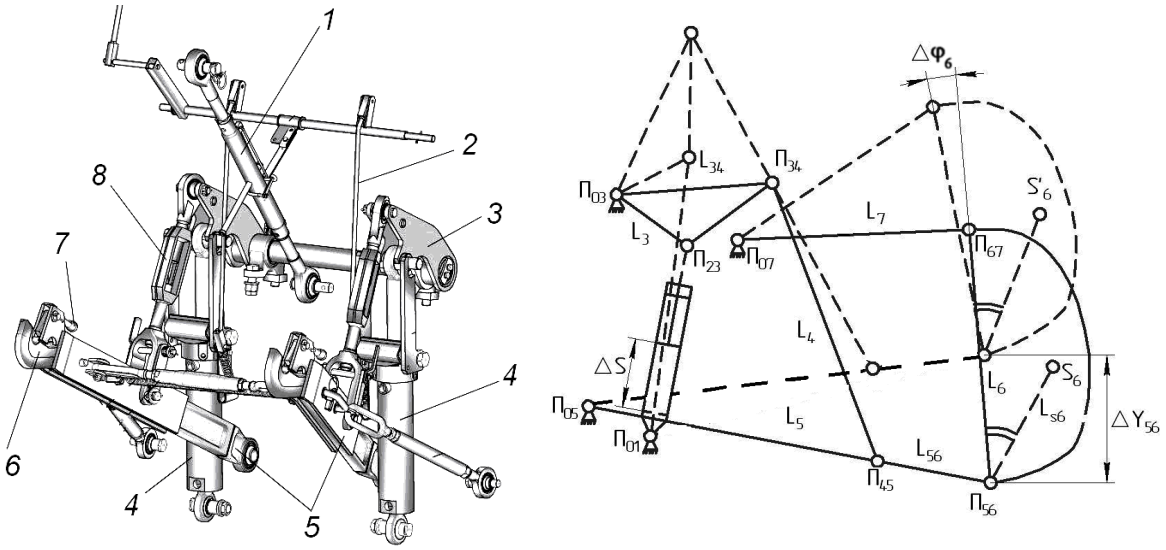


Рис.1 – Агрегатирование УЭС 290/450 с с/х техникой белорусско-российского производства

Агрегатирование МЭС с НМ в каждом конкретном режиме, помимо всего прочего, существенно зависит от выходных параметров подъемно-навесного устройства (ПНУ) МЭС, в основном определяющих количественную оценку и качественный характер агрегатирования.

Подъемно-навесное устройство (ПНУ) как часть универсального энергетического средства (УЭС) функционирует в трех основных режимах [2] - рабочем, транспортном и режиме перевода навесной машины из рабочего положения в транспортное.

Появление в шлейфе навесных машин УЭС тяжелых адаптеров - навесных кормо-, свекло- и зерноуборочных комбайнов весом до 48 кН повысило требования, предъявляемые к грузоподъемности ПНУ и его основному компоненту - МН (рис. 2 а). Для большинства отечественных и зарубежных МН его 2D модель, полученная из 3D модели проецированием центров шарниров МН на продольную плоскость симметрии УЭС, это одноподвижный восьмизвенный шарнирно-рычажный механизм (рис. 2 б).



(а) (б)

Рис. 2 – Подъемно-навесное устройство (а) и схема плоского аналога механизма навески в рабочем и транспортном положениях (б) 1 – тяга верхняя; 2 - тяга механизма фиксации**;** 3 – рычаг поворотный; 4 - гидроцилиндры; 5 – тяги нижние**;** 6 – захват; 7 – ручка фиксатора; 8 – раскос.

Тяги МН через присоединительный треугольник (рис.1а) связаны с НМ, принимаемой за выходное звено МН. Рама УЭС, звенья МН и НМ вместе образуют замкнутую кинематическую цепь. Расчет выходных параметров МН проводится на базе его плоского аналога Изменение входной координаты (ΔS) МН, однозначно связано с изменением его выходных координат ($\Delta\varphi_6$, ΔY_{S6}, ΔX_{S6}).

Большинство выходных параметров МН определяются в **режиме перевода НМ из рабочего положения в транспортное.** Геометрический анализ замкнутой кинематической цепи выполняется по методу замкнутых векторных контуров [3]. В результате определены координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи, например, координаты оси подвеса МН - $П_{05}$:

$$X_{56}(S) = X_{05} + L_{56} \cdot \cos\varphi_5(S) \qquad Y_{56}(S) = Y_{05} + L_{56} \cdot \sin\varphi_5(S) \quad (1)$$

где, X_{05}, Y_{05} - координаты неподвижного шарнира $П_{05}$ на раме УЭС; φ_i - угол, образуемый соответствующим звеном, в правой декартовой с. к.

Координаты характерной точки - центра тяжести НМ определяются как:

$$X_{S6}(S) = X_{56}(S) + L_{S6} \cdot \cos[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}] \quad (2)$$

$$Y_{S6}(S) = Y_{56}(S) + L_{S6} \cdot \sin[\varphi_6(S) + \varphi_{S6}] \ , \quad (3)$$

где L_{S6} и φ_{S6} - характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести рабочего орудия.

Аналитические выражения (1-3) представляют собой функции положения звеньев для МН и одновременно необходимы для формирования процедур кинематического и силового анализа.

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести навесной машины [3], зависящий от внутренних параметров МН и координат центра тяжести навесной машины относительно оси подвеса:

$$I_{S6}(S) = \varphi_3' \cdot U_{53} \cdot \left[L_{56} \cdot \cos\varphi_5 + U_{65} \cdot L_{S6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S6})\right], \quad (4)$$

где $\varphi_3'(S)$ - аналог угловой скорости поворотного рычага; U_{53}, U_{65} - передаточные отношения, показывающие соотношения угловых скоростей звеньев; $\varphi_5(S)$, $\varphi_6(S)$ - углы, образуемые аналогами звеньев в правой декартовой системе координат.

Первая часть суммы в выражении (4) представляет собой передаточное число МН на оси подвеса, позволяющее сравнивать между собой потенциальные возможности МН ПНУ различных МЭС.

Развиваемая на штоке гидроцилиндра сила зависит от давления в его напорной полости $p_{гц}$, площади поршня F_n и приведенных к штоку сил трения $F_{тр}^{пр}(S^\circ)$ и инерции $F_{ин}^{пр}(S^\circ)$:

$$F_{шт} = p_{гц} \cdot F_n - \left[F_{тр}^{пр}(S) + F_{ин}^{пр}(S)\right] \quad (5)$$

Понятие грузоподъемности ПНУ УЭС здесь вводится по аналогии с грузоподъемностью ПНУ трактора и определяется весом поднимаемой НМ при максимально развиваемой силе ($F_{шт}^{\max}$) на штоке гидроцилиндра МН:

$$G_S = \frac{p_{гц}^{\max} \cdot F_n - \left[F_{тр}^{пр}(S^\circ) + F_{ин}^{пр}(S^\circ)\right]}{I_{S6}(S^\circ)} \quad (6)$$

где $S^\bullet$ - значение обобщенной координаты соответствующее максималь-ному значению передаточного числа МН.

Из выражения (6) следует, что для повышения грузоподъемности ПНУ за счет внутренних параметров МН следует уменьшать максимальное значение передаточного числа $I_{S6}(S)$, величина которого связана с расположением центра тяжести конкретной НМ. Одновременно, как это следует из выражения (4), рекомендуется уменьшать и передаточное число на оси подвеса, зависящее только от внутренних параметров МН.

В режиме транспортного переезда для расчёта параметра управляемости МЭС составляется уравнение равновесия моментов сил, действующих на МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{гр} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} - R_A \cdot L = 0$$

где: $P_{гр}$ - вес противовеса, $P_{МЭС}$ - вес МЭС, P_6 - вес навесной машины, L - база МЭС, a и b - расстояние от вертикальной проекции центра тяжести УЭС до вертикальных проекций центра тяжести противовеса и оси моста ведущих колес соответственно.

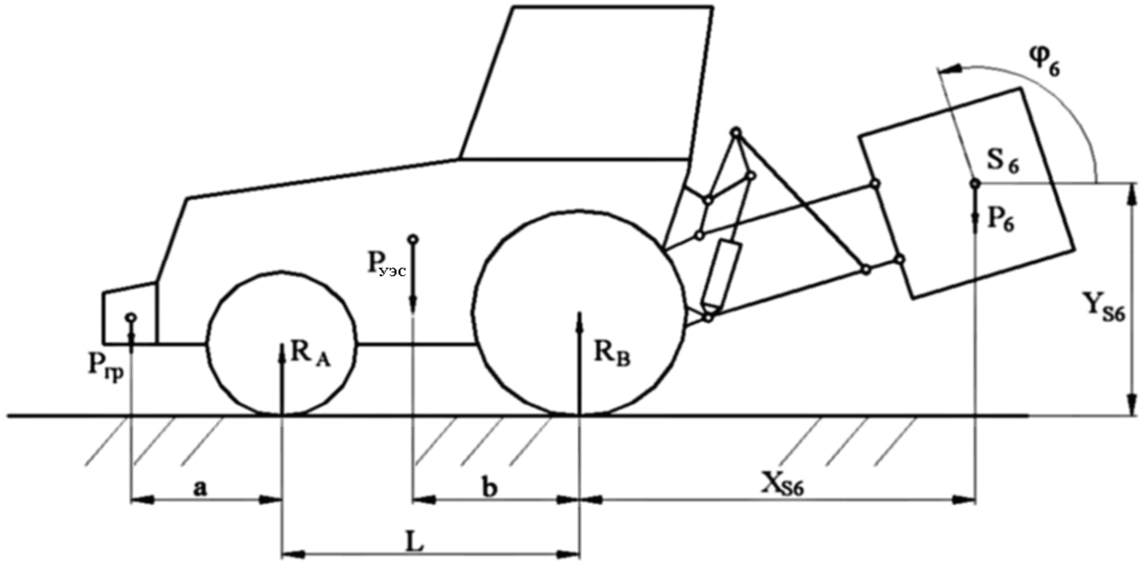


Рис. 3 – Схема сил, действующих на МТА при поднятой навесной машине

Решив уравнение моментов сил, относительно реакции на управляемом колесе - R_A получим:

$$R_A = \frac{P_{гр} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}$$

Вместе с вышеупомянутым ограничением получим систему из уравнения и неравенства:

$$\begin{cases} R_A = \dfrac{P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} + P_{гр} \cdot (L + a)}{L} \\ R_A \geq k \cdot (P_{МЭС} + P_6 + P_{гр}) \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему (7) получим условие соблюдения управляемости МТА, которое состоит в ограничении веса, агрегатируемой с МЭС навесной машины или рабочего орудия:

$$P_6 \leq \frac{P_{МЭС} \cdot (b - k \cdot L) + P_{гр} \cdot \left[a + L \cdot (1 - k)\right]}{X_{S6} + k \cdot L} \quad (8)$$

В режиме транспортного переезда МТА из-за кинематического возбуждения со стороны микрорельефа [4] центры тяжести МЭС и навесной машины совершают сложные колебания в продольной плоскости, получая ускорения, вызванные контактированием колес МЭС с соответствующим агрофоном:

$$P_6^* = P_6 \pm m_6 \cdot \ddot{Y}_{S6} \quad (9)$$

При этом исходная нагрузка P_6^*, передающаяся на тяги МН также приобретает вероятностный колебательный характер, что приводит к переменному характеру силового воздействия на раму МЭС и

перераспределению нормальных реакций между передним и задним мостами МЭС.

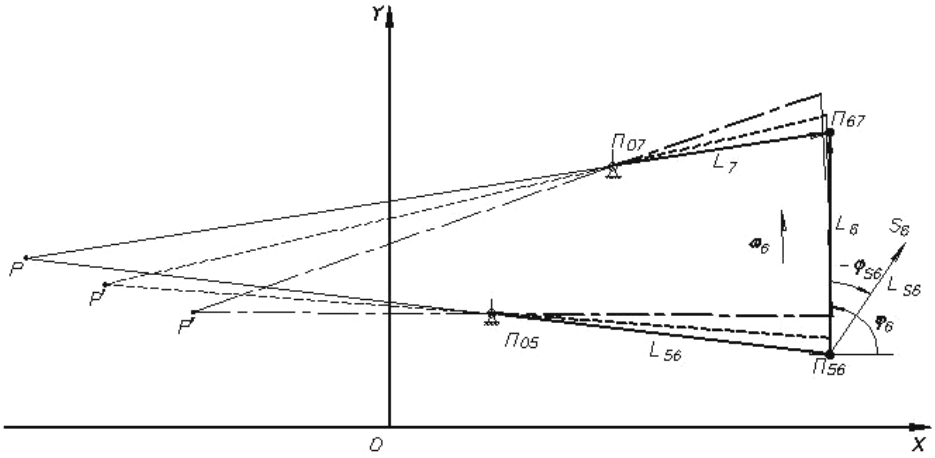


Рис. 4 – Схема движения внешнего четырехзвенника МН и МЦВ выходного звена

Многочисленными теоретическими [3] и экспериментальными исследованиями установлена важность расположения P_1 и P – мгновенных центров вращения (МЦВ) навесных машин в продольно-вертикальной плоскости (рис.4) **в рабочем режиме**. Точка P находится на пересечении линий, являющихся продолжением верхней и нижней тяг МН.

$$X_p = \frac{(Y_{56} \cdot X_{05} - Y_{05} \cdot X_{56}) \cdot (X_{07} - X_{67}) - (X_{05} - X_{56}) \cdot (Y_{67} \cdot X_{07} - Y_{07} \cdot X_{67})}{(Y_{07} - X_{67}) \cdot (X_{05} - X_{56}) - (X_{07} - X_{67}) \cdot (Y_{05} - Y_{56})} \qquad (10)$$

Положение МЦВ оказывает влияние на способность рабочих органов НМ к заглублению в почву без принудительного воздействия. Поэтому координата X_p должна быть выбрана таким образом, чтобы момент, создаваемый внешними силами относительно точки P, при любых условиях работы имел положительное значение.

Заключение Расширение шлейфа навесного рабочего оборудования за счет зарубежных НМ позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в составе новых мобильных машинных агрегатов. Это косвенно способствует распространению как иностранной техники в Беларуси, так и отечественных МЭС зарубежом. При этом для оценки возможности агрегатирования белорусских МЭС с иностранными НМ необходимо, как минимум, выполнить расчеты по выражениям (4-6, 8-10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко О. С. Комплексы уборочных и почвообрабатывающих машин и комбинированных агрегатов на базе универсальных мобильных энергосредств мощностью 200-450 л.с. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и

завтра : сб. тезисов докладов 2-ой междунар. науч.-практ. конф., 4-5 окт. 2018 г. - Гомель, 2018. - С. 93-98.

2. Попов В. Б. Анализ режимов работы подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС–290/450 «Полесье» / В. Б. Попов // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения НАНБ ; редкол.: А. А. Дюжев [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 1. – С. 99–102.

3. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251 с. : ил. – ISBN 978-985-535-315-8.

4. Попов В. Б. Влияние колебаний мобильного сельскохозяйственного агрегата на его управляемость и нагруженность звеньев механизма навески / В. Б. Попов // Вестник Брянской ГСХА – 2017. №6. - С. 43-51.

5. Попов В. Б. Обеспечение грузоподъемности подъемно-навесного устройства мобильного энергетического средства / В.Б. Попов // Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана: сборник материалов науч-практич. конф., Минск, БНТУ, 2016. – С. 224-226.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БАЛКЕ УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА ПРИ СЛОЖНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ
П.Е. Родзевич…….. 3

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ
Т.Ю. Ким, В.В. Голдыбан, В.А. Сычёв…… 9

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕНЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
Л.В. Гринцевич……. 12

МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕС-КОЙ ТРАНСМИССИЕЙ
Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин…….. 16

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАМКИ КРЕПЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА
А.И. Козлов, А.Н. Кондрашова, Н.Л. Прокопенко…….. 21

БУНКЕР С УВЕЛИЧЕННЫМ ОБЪЕМОМ ДЛЯ КОМБАЙНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО САМОХОДНОГО GS200
А.М. Ховпун, А.В. Ермак…….. 35

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИ-ЧЕСКОМ ТРАКТЕ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ
А.А. Дакука……. 39

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМ КАПОТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ
А.В. Желдак…….. 46

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ПРУЖИН НА ПРИМЕРЕ КАПОТА
Н.М. Костров…….. 54

ВИДЕОСИСТЕМА В СОСТАВЕ БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА
А.А. Андреенко, В.Н. Шкирский, О.В. Рехлицкий…… 67

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯ СИЛОВОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО
И.И. Уздовский, А.О. Сидоракин……. 72

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА ХОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 5 Т
А.А. Муратов, В.Ю. Бутько, В.В. Голубев…….. 75

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГУСЕНИЧНОГО БУЛЬДОЗЕРА
Д.Ю. Стреха, С.М. Костюк, А.А. Дюжев……. 81

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕЗВИЯ НОЖА ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КВК-800
П.Е. Родзевич, И.Д. Говор……. 87

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТАКТНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ
А.П. Сазанков, С.В. Шилько, Т.В. Дробыш……. 92

РЕВЕРСИВНЫЙ ВЕНТИЛЯТОР ОЧИСТКИ РАДИАТОРА САМОХОДНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ
В.С. Шиш, А.Н. Тумаров, А.В. Ермак……. 97

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
А.А. Жешко……. 102

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
А.А. Жешко, А.В. Ленский, В.И. Володкевич, Н.Д. Янцов…… 108

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ ПЛЮЩИЛКИ С БИЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ
С.И. Кирилюк…… 114

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АГРЕГАТОВ С ПРИВОДОМ ОТ ВАЛА ОТБОРА МОЩНОСТИ
С.И. Кирилюк, К.В. Ридкина……. 118

РАЗРАБОТКА СОЛОМОРАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С ШИРИНОЙ ЖАТКИ ДО 12 М
А.С. Корчевский, А.В. Ермак, С.И. Чернецкий, В.С. Шиш, А.М. Ховпун….. 122

ПЕРСПЕКТИВНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНТАЖНОГО КОРПУСА ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН
О.К. Гурбан, В.В. Пинчук……. 127

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ КАК ОСНОВА СТРАТЕГИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ
С.В. Михолап…….. 132

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ДВУХШАРНИРНОЙ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧЕ
А.В. Котов…….. 138

ОПЫТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КОПИРОВАНИЯ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА
Д.В. Джасов, Ю.В. Чупрынин…….. 144

МЕХАНИЗМ НАТЯЖЕНИЯ ПРИВОДНОЙ ЦЕПИ
В.А. Кацуба, А.В. Хаданович……. 151

ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ И ЭСТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА
А.В. Третинников…….. 158

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЕКТА ТЕСТИРОВАНИЯ ПО АСКОН В УГТ
Д.В. Дубовский…….. 166

МЕХАНИЗАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ – КАК ПУТЬ К КАЧЕСТВУ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
Н.Г. Бакач…… 171

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЩЕБНЕРАЗБРАСЫВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ШАССИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА БЕЛАЗ
В.А. Мендель, П.С. Литвинюк, А.О. Шукюров, А.Л. Кисельков…….. 178

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
Н.Г. Бакач, В.И. Володкевич, А.В. Шах…….. 185

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ МОЛОТИЛЬНО – СЕППАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЗЕРНО - УБОРОЧНОГО КОМБАЙНА GS2124
Д.Н. Серенок, А.В. Белый……. 189

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
А.И. Козлов, С.Н. Бобрышева……. 202

СПЕЦИФИКА НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ
Н.Ф. Соловей, Н.Н. Федосенко, А.С. Шантыко, Д.Г. Пилипцов, Е.А. Кулеш, Л.А. Мороз……. 206

К ВОПРОСУ ОБ АГРЕГАТИРОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С НАВЕСНОЙ ТЕХНИКОЙ
В.Б. Попов……. 213

Научное издание

8-ая международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра»

В 2 частях
Часть 2

Сборник научных статей

Статьи изданы в авторской редакции

Оригинал-макет: Качанова А.В., Романьков С.А.
Обложка: Шландыкова Н.И.

Подписано в печать 24.01.2025. Формат издания 60х84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 26,1. Тираж 50 экз. Заказ №. 01-25
Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»
Регистрация № 1/244 от 25.03.14
246050 г. Гомель, Беларусь, Кирова, 32а