

ОАО «Гомсельмаш»
Научно-технический
центр комбайностроения

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра

Сборник тезисов докладов пятой международной
научно-практической конференции

17 ноября 2021 года
г. Гомель, Беларусь



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

5-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ -
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

17 ноября 2021 г.

**Сборник тезисов докладов международной
научно-практической конференции**

Гомель, Республика Беларусь

УДК 631.3:620.22:001895

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник тезисов докладов 5-ой международной научно-практической конференции - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2021. - 290 с.

ISBN 978-985-6477-56-3

В сборнике опубликованы тезисы докладов участников 5-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.

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

СЕКЦИЯ №1

«ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО»

УДК 339.138

ПРОДВИЖЕНИЕ НА РЫНКАХ ПРОДУКЦИИ ХОЛДИНГА «ГОМСЕЛЬМАШ» С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ КОММУНИКАЦИИ

С.В. Михолап, Д.Е. Муляр

ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ», г. Гомель, Республика Беларусь

С целью сохранения традиционных рынков продаж и освоения новых, наращивания экспортного потенциала выпускаемой сельскохозяйственной техники холдинга «Гомсельмаш», необходимо использовать различные публичные коммуникации в комплексе маркетинговых коммуникаций. Для этого рассмотрим маркетинговый инструментарий выставочной деятельности в продвижении продукции холдинга.

По состоянию на 01.11.2021 г. товаропроводящая сеть (ТПС) холдинга «Гомсельмаш» за рубежом включает в себя 113 субъектов в 24 странах мира. Состав ТПС был оптимизирован по итогам работы в 2019-2020 годах. Анализ работы ТПС включает в себя и анализ их выставочной деятельности в регионах функционирования.

Сегментация по географическому признаку потребителей сельскохозяйственной техники – разбивка регионов по основным видам культур (зерновые, кормовые, кукуруза на зерно, подсолнечник, картофель) и определение номенклатуры техники, которая могла быть ими востребована, позволили сформировать актуальный перечень выставочных мероприятий в Республике Беларусь и за рубежом, в которых приняли участие организации, входящие в холдинг «Гомсельмаш» или субъекты ТПС. Сформированные программы продвижения направили усилия дилеров на реализацию продукции в наиболее перспективных регионах.

Учитывая лидирующей позиции на рынке зерноуборочной и кормоуборочной техники Беларуси (доля на рынке не менее 90 %) организации холдинга приняли участие в 17 выставочных мероприятиях: «Машиностроение-2021», г. Минск; «Весна-2021», г. Гомель; «Белагро-2021», Минская область; «Белорусский промышленный форум-2021», выставка

«ТехИнноПром: Технологии и инновации в промышленности», г. Минск; областных праздниках «Дожинки-2021», Республика Беларусь, а также, в республиканских и областных семинарах, показах техники и форумах.

Для более полного удовлетворения спроса сельхозпроизводителей Беларуси по сельскохозяйственной технике необходимо сохранение позиций на внутреннем рынке, а также повышение показателей надёжности, технических характеристик серийно выпускаемых машин и разработка новых образцов техники.

Увеличение объемов реализации зерно- и кормоуборочной техники на рынках стран ближнего и дальнего зарубежья определило перечень перспективных стран, куда входят: страны СНГ – Российская Федерация, Украина, Казахстан, Молдова, Узбекистан, Азербайджан и Кыргызстан; страны дальнего зарубежья – Польша, Литва, Латвия, Эстония, Чехия, Словакия, Румыния, Венгрия, Болгария, Сербия.

Развитие совместного предприятия ЗАО СП «Брянксельмаш» и включения предприятия в федеральные и региональные программы субсидирования, потребовали расширения географии участия холдинга в выставках и показах техники в регионах Российской Федерации. Так, организации холдинга самостоятельно или через дилерские центры в РФ приняли участие в 25 выставках и показах техники в регионах России: Ростовская область, Вологодская область, Краснодарский край, Воронежская область, Ульяновская область, Республика Татарстан, Курская область, Тамбовская область, Рязанская область, Волгоградская область, Самарская область, Приморский край, Алтайский край, Республика Башкортостан, Свердловская область, Челябинская область, Кемеровская и Новосибирская области.

Организации, входящие в холдинг «Гомсельмаш» приняли участие в 7 выставках стран ближнего зарубежья: Выставка «Made in Belarus» в рамках Белорусско-Таджикского бизнес-форума, Таджикистан; «ИННО-ПРОМ. Большая промышленная неделя в Узбекистане», Узбекистан; «Казахстанский День поля «Jańa Dala/GreenDay-2021» и «KazAgro/KazFarm-2021», Казахстан; «ARMENIA EXPO-2021», Армения; «AGROEXPO-2021», Украина; «MOLDAGROTECH 2021», Молдова и в 2-х выставках стран дальнего зарубежья: «AGRO SHOW-2021», г. Беднары, Польша и «NOVOSADSKI SAJAM» г. Нови Сад, Сербия.

Одним из новых направлений в выставочной деятельности предприятий является использование экспозиционных технологий в режиме онлайн. Основная цель предприятия, при выставлении экспозиций онлайн, заключается в правильном создании и размещении привлекательного изображения, которое не только привлечёт внимание потребителей, а также сформирует у них благоприятное мнение о продукции предприятия.

Создание экспозиции онлайн, размещенной на сайте холдинга, является одним из самых важных элементов в работе над рекламой производимой продукции.

Стратегической целью холдинга «Гомсельмаш» на рынках Беларуси, стран СНГ, ближнего и дальнего зарубежья является сохранение лидирующей позиции на рынке зерноуборочной и кормоуборочной техники республики. Основным направлением в продвижении продукции является использование инструментов коммуникации в организации информационных встреч-семинаров (с показами техники в работе) с аграриями различных стран, принятие участия в крупнейших сельскохозяйственных выставках для информирования о новинках техники холдинга и формирования портфеля заказов. В планах участия холдинга в выставках в 2022 году в Республике Беларусь, странах ближнего и дальнего зарубежья предусмотрено более 100 мероприятий.

УДК 631.58

КАРТИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

В.В. Гусаров

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь

Урожайность сельскохозяйственных культур на различных участках в пределах поля не бывает одинаковой. Однако в условиях хозяйств в настоящее время урожайность на конкретном поле оценивают средним значением, по которому делают вывод об обеспеченности почвы элементами питания. При этом часто вывод об обеспеченности почвы элементами питания в среднем по всему полю не всегда соответствует фактическим данным обеспеченности элементами питания на конкретных участках [1].

При внедрении технологии точного земледелия учет урожая происходит с каждого участка поля. Для этого создается специальная система картирования урожайности, которая позволяет регистрировать непостоянные характеристики одного поля и определять урожайность на отдельных его участках непосредственно при работе комбайна.

Известно, что каждый производственный процесс должен завершаться контролем его успешного выполнения, поэтому основной задачей картирования урожайности является подтверждение того, были ли ранее проведенные мероприятия по внесению удобрений, посеву успешными и привели ли к поставленной цели [2].

Использование картирование урожайности как отдельной единицы системы точного земледелия, для составления карт заданий по дифференцированному внесению удобрений и посеву, не рационально, и не может дать того объема и качества информации, которое могут дать карты по содержанию питательных веществ в почве, полученные при отборе почвенных проб с использованием пробоотборников.

Одной из проблем при отборе почвенных проб, для определения содержания питательных веществ в почве является определение мест отбора таких проб. При многолетнем наблюдении с помощью картирования урожайности можно определить геолокацию мест с постоянно низкой или постоянно высокой урожайностью для дальнейшего выяснения причин этого. Также полученные карты позволяют определить дифференцированные зоны отбора проб. При дифференцированном внесении удобрений является возможным определение выноса питательных веществ с полученным урожаем [3].

Не стоит забывать, что рельеф также оказывает влияния на урожайность. Низина или возвышенность – оказывает существенное влияние на

урожайность. Использование высотной модели позволяет надежно локализовать такие зоны и определить не только места для отбора проб, но и сделать корректировку карты задания по дифференцированному внесению удобрений или посеву.

В настоящее время основными элементами систем картирования урожайности являются: датчик потока зерна, датчик влажности зерна, датчик скорости движения комбайна, датчик наклона комбайна, датчик положения жатки, DGPS-система, бортовой компьютер и дисплей (рис. 1) [1].

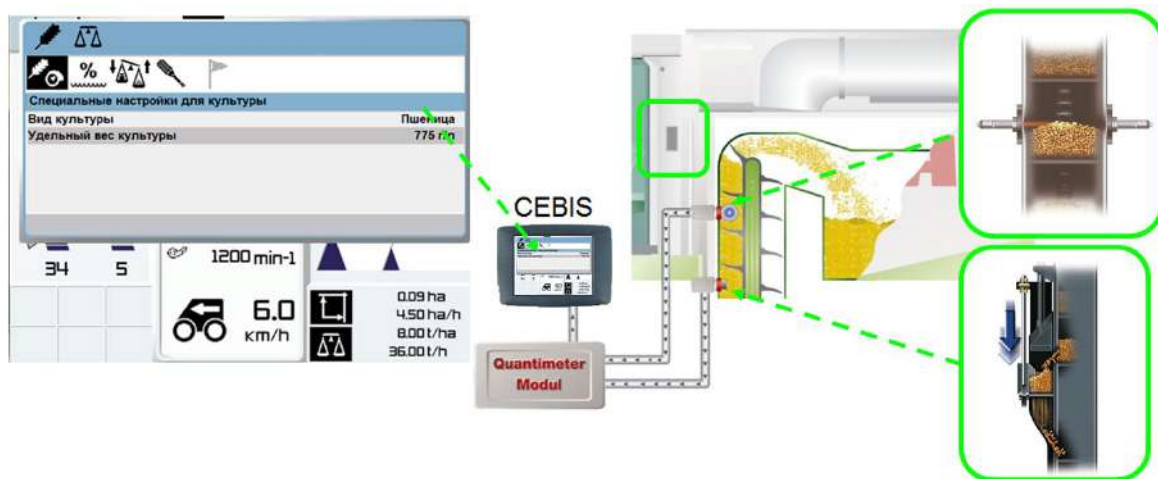


Рис.1 - Элементы системы картирования урожайности зерноуборочного комбайна CLAAS

Задача элементов картирования урожайности является составление цифровой карты урожайности, к которой в реальном времени привязываются показания датчиков определения урожайности приемником сигналов GPS со спутниковой группировки.

Технические решения этих элементов у каждой из фирм производителей, как правило, подобны и значительно не разнятся, однако решают одни и те же задачи.

Часто возникает вопрос, на сколько важна точность определения величины урожайности при работе системы картирования. Если использовать систему для определения геолокации мест с постоянно низкой или постоянно высокой урожайностью, то точность особой роли не играет, а если определять вынос питательных веществ с полученным урожаем, то точность играет решающую роль.

Для корректной работы системы картирования урожайности требуется калибровка, которую можно разделить на установочную (выполняется перед началом работы и выполняется несколько раз за уборочный сезон) и эксплуатационную (необходимо выполнять минимум три раза в день) [2].

Зачастую сам механизатор работающий на зерноуборочном комбайне не может произвести установочную калибровку, хотя на современ-

ных зерноуборочных комбайнах данный процесс не составляет большого труда и в принципе им под силу. Установочная калибровка включает в себя: введение рабочей ширины захвата жатки зерноуборочного комбайна в терминал, изучение рабочего положения жатки комбайна, изучение нулевой урожайности при номинальной частоте вращения двигателя с включенной молотилкой при отсутствии подачи зерновой массы, калибровку влагомера, калибровку гирокомпаса (датчика наклона), производство контрольного взвешивания для калибровки датчика потока зерна. Эксплуатационная калибровка включает в себя определение насыпной плотности 1 дм³ убираемого зерна и внесения его в терминал (рис. 2).



Рис.2 - Определение насыпной плотности убираемой культуры на примере зерноуборочного комбайна CLAAS

При правильной калибровке всех элементов системы картирования погрешности измерения урожайности составляет, как правило, не более 3 %. Проверкой корректности работы датчика потока зерна является сравнение веса намолоченного зерна с весом полученном при взвешивании убранного зерна отвезенного на элеватор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По карте урожайности поля, возможно, определить участки с низкой урожайностью из-за недостатка питательных веществ; зоны, имеющие уплотнение почвы; зоны, пораженные сорняком и паразитами.

Также карта урожайности позволяет определить в процентном и количественном соотношении участки с определенной урожайностью, среднее и текущее значение влажности зерна, производительность работы комбайна и многие другие параметры, касающиеся уборки урожая. Полученная таким образом цифровая карта урожайности вместе с картой агрохимического обследования может быть использована для создания технологической карты дифференцированного внесения удобрений, средств химической защиты растений и посева.

Дифференцированная обработка полей учитывает данные о том, какой участок поля принесет больший урожай, исходя из оптимизации затрат

и извлечения максимальной прибыли. Возможно решение и противоположной задачи – снижение затрат в соответствии с потенциалом урожая на обеднённых участках поля, что повлияет на изменения в севообороте, конфигурации полей и выборе высеваемых культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванченко, П.Г., Султанов, И.И. Система картирования урожайности и ее элементы при внедрении технологии точного земледелия / П.Г. Иванченко, И.И. Султанов // Вестник Курганской ГСХА, 2020. – № 1. – С. 57-61.
2. Электронные системы и устройства сельскохозяйственных машин: учебное пособие / А. В. Клочков [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 140 с.
3. Труфляк, Е.В. Точное земледелие: учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин; Кубан. гос. агр. ун-т. – Краснодар, 2015. – 383 с.

УДК 631.354.2

ИННОВАЦИИ В ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ ФИРМ CLAAS И РОСТСЕЛЬМАШ

А.В. Клочков, В.В. Гусаров, И. В. Гусаров
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь

Новой серией TRION компания CLAAS завершила полное обновление модельного ряда комбайнов, которое было начато с выпуском нового поколения LEXION 8000/7000 в 2019 г. Базовая линейка включает две модели серии 500 с 5-и клавишными соломотрясами, три модели серии 600 с 6-и клавишными соломотрясами, а также три модели серии 700 (роторные), в т. ч. две модели однороторных комбайнов и одну двухроторную модель. Общей для всех моделей TRION является система первичного обмолота APS. С целью увеличения пропускной способности машины серий 500 и 700 оборудованы системой обмолота шириной 1,42 м, а серии 600 имеют ширину 1,7 м. На комбайнах TRION система APS состоит из ускорителя диаметром 450 мм и закрытого молотильного барабана диаметром 600 мм, что на треть больше, чем в TUCANO. В результате площадь подбарабанья в TRION 600 на 31 % больше, чем в TUCANO 450, а в TRION 700 – на 9 % больше, чем в TUCANO 580. Передние подбарабанья регулируемые, а скорость всех трех барабанов синхронизирована с помощью SEBIS.

Гибридные модели TRION 730 и 720 оборудованы ротором длиной 4,2 м и диаметром 570 мм, а модель TRION 750 – двумя роторами длиной 4,2 м и диаметром 445 мм. Общая площадь сепарации у моделей серии 500 составляет 6,25 м², а у серии 600 – 7,48 м². Система управления обновлена и упрощена: гибридные модели имеют на 6, а клавишные – на 3 ремня меньше, чем предыдущая линейка TUCANO.

Презентация новых комбайнов CLAAS на мероприятии FOCUS CAMP Ukraine 2021 проходила в поселке Терезино Белоцерковского района Киевской области с 12 по 30 июля 2021 г. Сравнивали работу зерноуборочных комбайнов LEXION 7700, LEXION 6800 и TRION 730, которые использовались на уборки озимого и ярового ячменя, озимой пшеницы. Средняя урожайность озимого ячменя составила 62 ц/га, ярового 58 ц/га, озимой пшеницы 71 ц/га. Все зерноуборочные комбайны имели систему SEMOS AUTOMATIC, обеспечивающую автоматическую настройку систем зерноуборочного комбайна при изменении условий уборки, которая позволяет увеличить производительность комбайна на 10-15%.

Система CEMOS AUTOMATIC автоматически регулирует настройки машины в соответствии с условиями уборки и может включать в себя следующие функции:

- CRUISE PILOT: регулирование скорости движения;
- AUTO THRESHING: настройка молотильного агрегата;
- AUTO SEPARATION: управление оборотами и заслонками ротора;
- AUTO CLEANING: управление оборотами вентилятора, и решетами;
- AUTO CROP FLOW: контроль потока массы в т.ч. в колосовом шнеке;
- AUTO SLOPE: управление вентилятором очистки в зависимости от продольного крена машины;
- 4D: управление заслонками ротора в зависимости от поперечного уклона местности;
- AUTO CHOPPING оптимизация степени измельчения в зависимости от влажности растительной массы.

Система автоматического контроля потока масс AUTO CROP FLOW совместно с системой CEMOS AUTOMATIC позволяет максимально реализовать производительность комбайна.

В июне 2021 года «Группа Ростсельмаш» представила новую модель двухбарабанного зерноуборочного комбайна 6 класса T500, предназначенного для уборки всех основных культур на полях с урожайностью выше 40 ц/га. Производительность новой машины до 30 т/ч, площадь обмолота – 3,3 м². Комбайн оснащается дизельным двигателем Cummins мощностью 360 л.с. Новая модель оборудована системой обмолота Tetra Processor с гибкой декой с электрогидравлическим регулированием зазоров, которая устанавливается в выпускаемой заводом серийной модели зерноуборочного комбайна RSM 161.

Зерноуборочные комбайны производства «Ростсельмаш» Acros 595 Plus имеют все положительные черты от старой модели ДОН-1500Б: молотильный барабан диаметром 800 мм, угол охвата 130° и ряд других решений. У данной модели отсутствует барабан-ускоритель перед входом в основной обмолачивающий барабан. Роторное устройство домолачивает оставшиеся колоски за счет меньшего количества ударов и трения, что особенно важно при уборке семенников трав. У новой двухкаскадной системы очистки стрясная доска и нижнее решето движутся в одну сторону, а противоположно движется предварительное и верхнее решето. Дополнительное решето образует второй продуваемый каскад, более мощный поток воздуха создаётся высокопроизводительным 2-х секционным вентилятором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клочков А.В. Концепция зерноуборочного комбайна / А.В. Клочков – Горки, 2011. - 142 с.
2. <https://propozitsiya.com/claas-prezentuet-novyuy-modelnyy-ryad-kombaynov-trion>.
3. <http://новости-россии.ru-an.info/новости/компания-ростсельмаш-выпустила-новую-модель-зерноуборочного-комбайна-т500/>

УДК 004.02

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

И.В. Матвейкин, И.В. Попов, А.Н. Кондрашов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
г. Оренбург, Российская Федерация

Системный подход к рассмотрению различных процессов, как отмечают многие ученые, является одним из важнейших требований современного этапа научно-технического прогресса и должен найти применение при изучении всех вопросов, связанных с развитием и совершенствованием методов и форм работы предприятий независимо от форм собственности и их места в общей структуре производства материальных ценностей [1].

Информационные системы в настоящее время рассматриваются как средство повышения производительности и эффективности труда работников информационной сферы, а также как средство поддержки принятия решений [2].

Классифицируя информационные системы, следует отметить, что все они делятся на группы по трем основным признакам: структурированности, уровню управления и функциональному признаку. Наибольший интерес с точки зрения организации информационного обеспечения представляет собой классификация по признаку структурированности поставленных задач.

При рассмотрении тенденции развития науки выявлено, что с развитием информатики и информационных технологий в настоящее время все большее распространение получают интеллектуальные системы или экспертные системы, базирующиеся на понятиях искусственного интеллекта и тех возможностях, которые дают современные средства вычислительной техники [3].

Экспертные системы применяются для тиражирования профессионального опыта и решения сложных научных, производственных и экономических задач.

В процессе производственной деятельности любого предприятия АПК, включая и предприятия ТС, имеют место задачи, связанные с решением вопросов, для которых кроме имеющейся фактической информации необходима еще и прогнозная.

В общем случае прогнозирование – исследовательский процесс, в результате которого получают научно обоснованные вероятностные данные о будущем состоянии или поведении прогнозируемого объекта [4].

Задачи выработки прогноза возлагаются на прогнозирующую систему, которая должна входить в структуру информационной системы.

Главным требованием, предъявляемым к прогнозирующим системам, является достоверность прогноза, решающее влияние на который оказывает полнота и точность исходной информации, а также степень соответствия методики прогнозирования реальным закономерностям производственного процесса.

Таким образом, на данный момент развитие информационных технологий позволяет использовать информационные системы как стратегические источники информации. Информационные системы внедряются в организации любого профиля, предоставляя необходимую информацию, помогают специалистам достичь успеха в своей деятельности, создавать новые товары и услуги, находить новые рынки сбыта, обеспечивать себе достойных партнеров, организовывать выпуск продукции по низкой цене и многое другое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров М.М. Системы информационной и интеллектуальной поддержки управленческой деятельности в структурах государственной службы - М.: РАГС, 1995. - 126с.
2. Информационное обеспечение интегрированных производственных систем/ Под ред. В.В. Александрова.-Л.: Машиностроение, 1986.
3. Матвеев Л.А. Информационные системы: поддержка принятия решений: Учеб. пособие.- СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1996.
4. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. - М.: Наука 1990. -127с.

УДК 631.354.2

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.В. Ключков, В.В. Гусаров

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь

Сельскохозяйственные организации Республики Беларусь в определенной степени обеспечены зерноуборочными комбайнами, среди которых (85,5 %) преобладают модели производства ОАО «Гомсельмаш». В ходе проведения уборочной кампании 2021 г. всего по Беларуси предполагалось убрать 2145 тыс. га зерновых и зернобобовых культур и 359 тыс. га озимых рапса и сурепицы. В распоряжении хозяйств имелось 7889 зерноуборочных комбайнов, и в дальнейшем по областям количество используемых комбайнов несколько изменялось (таблица 1).

Таблица 1 – Наличие и использование зерноуборочных комбайнов

Регионы	Наличие комбайнов в 2021 г. на дату, штук				Среднее количество работавших комбайнов, %		Простои комбайнов по техническим причинам		
							Всего	Гомсельмаш	Импортные
	%	штук	штук						
	15.07	22.07	27.07	05.08	22.07-23.08.2020	16.07-23.08.2021	23.7-23.08.2021		
РБ	7889	7874	7856	7902	67,2	69,4	3,0	152,3	25,5
Брестская	1379	1375	1375	1381	63,5	65,9	1,7	20,9	1,5
Витебская	1297	1272	1254	1236	60,5	63,9	2,8	34,7	0
Гомельская	1009	1019	1019	1025	64,4	76,2	4,7	*	*
Гродненская	1245	1249	1249	1260	65,1	67,8	4,3	30,8	14,8
Минская	1859	1859	1859	1850	77,7	71,1	1,4	18,0	5,2
Могилевская	1100	1100	1100	1150	66,3	72,7	4,8	47,9	4,1

* - данные отсутствуют

Количество ежедневно работавших комбайнов также изменялось по периоду уборки в основном в связи с погодными условиями и необходимостью ремонтов. При этом весьма показательны обобщенные данные по использованию зерноуборочных комбайнов в течение основного периода проведения уборочных работ.

В отдельные дни на поле выходило 90,5-97,9 % имеющейся уборочной техники, но в среднем работало 63,9-76,2 % комбайнов. Во время уборки 2020 г. среднее количество работавших в областях комбайнов составляло 60,5-77,7 %. Это говорит о существенных резервах в возможности ускорения уборки и количестве используемых зерноуборочных комбайнов.

Немаловажное значение в ходе зерноуборочных работ имеет надежность работы техники. Зафиксированные в 2021 г. на контрольные

даты простои комбайнов по техническим причинам в среднем составили 3 % (табл.1). Больше всего простоев отмечалось в сельхозорганизациях Могилевской области. Более надежной оказалась работа комбайнов в Минской и Брестской областях (рис.1).

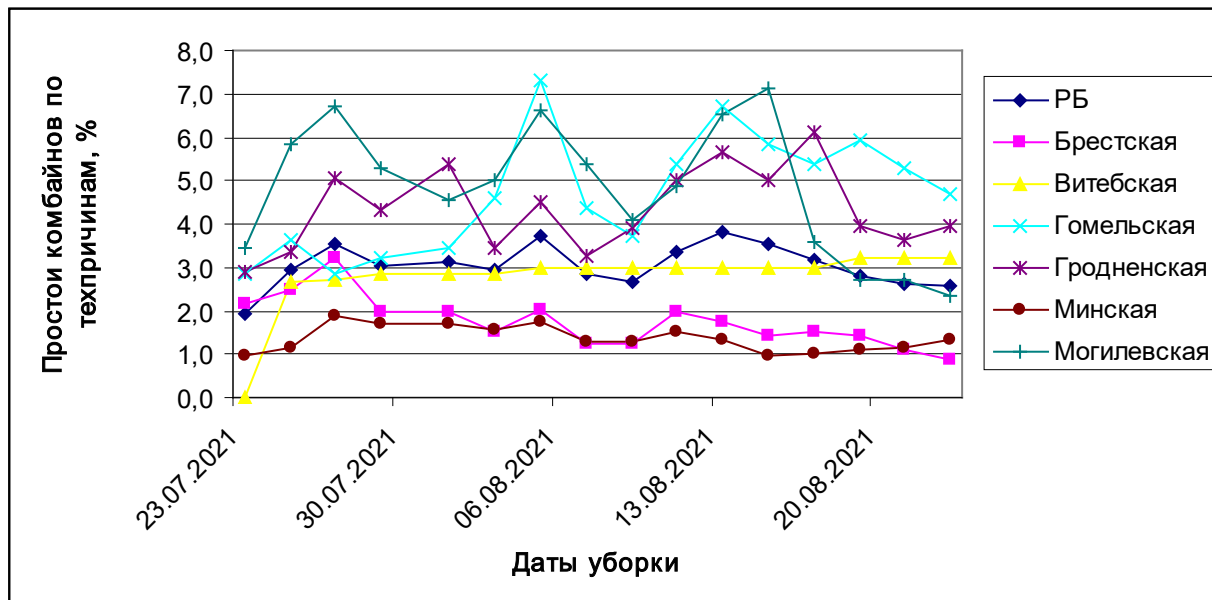


Рис.1 - Динамика простоев зерноуборочных комбайнов по техническим причинам в основной период уборки

Динамика простоев в более значительных пределах отмечалась в сельскохозяйственных организациях Могилевской, Гомельской и Гродненской областей. В Гродненской области имелось также большее количество неисправных комбайнов импортного производства.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в 2020-2021 гг. имеющееся в республике количество зерноуборочных комбайнов по различным причинам использовалось на 67-69 %. Простои по техническим причинам в основной период уборки в среднем составляли около 3 %. Отмечаются региональные различия в показателях использования комбайнов по областям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключков А. В., Шундалов Б. М. Использование комбайнов в сезон уборочной кампании - 2020. Экономический бюллетень, № 6, 2021, С. 17-21.
2. Ключков А. В., Шундалов Б. М., Гусаров В. В. Использование зерноуборочных комбайнов в Республике Беларусь в 2020 году. Вестник БГСХА, № 1, 2021, С. 156-160.
3. Ключков А. В. «ЖНІВО-2021» - основные результаты и уроки. Наше сельское хозяйство, № 15, 2021, С. 21-28.

УДК 620.197.2

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВУОКСИ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ

Н.Н. Федосенко¹, Н.Ф. Соловей², Н.А. Алешкевич¹, А.С. Шантыко²,
Е.А. Кулеш¹, А.Г. Бердиев¹

¹ УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

² Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Тонкие оксидные пленки (толщиной от долей микрометра до нескольких микрометров), получаемые в вакууме, обладают уникальными свойствами. Оксидные и полимерные покрытия микронных и субмикронных толщин представляют большой интерес для формирования антибликовых покрытий на экране бортового компьютера сельскохозяйственной техники.

Ранее, выполненные исследования покрытий показали, что их микроструктура и оптические свойства во многом зависят от технологии их формирования. В свою очередь, покрытия на основе оксида кремния SiO₂ характеризуются стабильным показателем преломления независимо от технологии формирования. При этом оптические свойства таких покрытий на основе двуокиси циркония и кремния являются важным целевым параметром, и определяются спектральной зависимостью энергетических и амплитудных коэффициентов пропускания и отражения, которые, в свою очередь, являются функциями показателя преломления и толщины отдельных слоёв.

Получение покрытий на основе двуокиси циркония и кремния осуществлялось с использованием установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и системой непрерывного контроля оптических характеристик Iris 0211.

Исследование оптических свойств полученных оксидных покрытий проводилось на спектрофотометре Photon RT со спектральным диапазоном 200 – 4000 нм. Морфология поверхности покрытий исследовалась на атомно-силовом микроскопе Solver P47 PRO. Адсорбционная активность поверхностей многослойных интерференционных покрытий, осажденных на различные подложки, оценивали путем расчета краевого угла смачивания поверхности. Захват и распознавание изображения лежащей капли жидкости проводили с помощью специально разработанного программно-аппаратного комплекса «Капля-2» с частотой от 1 Гц.

Результатом проведенных ранее комплексных исследований оптических свойств однослойных покрытий на основе оксидов кремния и цир-

кония стала разработка конструкции 7-слойного поляризационного покрытия, представляющего собой чередующиеся четвертьволновые слои с высоким (2,04) и низким (1,46) показателями преломления. Оптические свойства покрытий, такие как коэффициент пропускания T и коэффициент отражения R , были определены с помощью спектрофотометра Photon RT (Essent Optics) в диапазоне длин волн от 380 до 950 нм.

Анализ спектров пропускания 7-слойных покрытий на основе оксидов кремния и циркония показал, что пропускающая способность неполяризованного излучения на полимерных подложках имеет более выраженную зависимость от угла наклона излучения. Так при угле падения света 75° коэффициент пропускания принимает значения от 50 до 70 %, а при угле падения 60° – от 85 до 90 % в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра.

Установлено, что полученные многослойные покрытия характеризуются высокими коэффициентами пропускания поляризованного излучения от 80 до 99 % в видимой области спектра. Можно отметить два интерференционных пика с максимумом пропускания на длинах волн около 500 нм и 740 нм, при этом на длине волны 740 нм коэффициент пропускания покрытий на подложках из стекла и кварца достигает 99 %, а для покрытий на подложках из ПЭТ и ПММА – около 93 % и 95 %, соответственно. Коэффициент отражения многослойного покрытия колеблется в диапазоне от 5 до 45 %, при этом наблюдаются интерференционные пики с максимальными коэффициентами отражения 37 % и 42 % на длинах волн 500 нм и 900 нм, соответственно. Анализ экспериментальных результатов зависимости поляризационной способности 7-слойных покрытий ZrO_2/SiO_2 на разных длинах волн отраженного излучения позволил установить два рабочих значения длин волн (399 нм и 740 нм), для которых наблюдалась максимальная поляризационная способность.

Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что сформированное многослойное покрытие имеет низкие значения шероховатости поверхности и малые размеры зёрен и, как следствие, морфология поверхности сформированного покрытия не оказывает существенного влияния на оптические характеристики многослойного покрытия, связанные с рассеянием и поглощением излучения на дефектах и неровностях поверхности.

Проведенные исследования позволят создавать антибликовые покрытия, состоящие только из 7 слоев, с высоким уровнем однородности структуры, низкой шероховатостью поверхности и стабильностью оптических свойств в видимом диапазоне волн.

УДК 621.893

ПОДБОР ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПРИСАДОК К ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Ф.А. Григорьев, А.А. Грапов, Д.М. Гуцев, И.Н. Ковалева, Н.К. Мышкин
Государственное научное учреждение «Институт механики
металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии
наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

Одним из способов защиты электрических соединений, функционирующих в условиях воздействия факторов окружающей среды, является использование электроконтактных смазок [1]. Такие материалы обычно обеспечивают проводимость электрического тока в зазорах до 0,1 мм, чем обеспечивается их влияние лишь в области непосредственного контакта элементов электрических соединений. Наиболее часто для этих целей используют дисперсии проводящих материалов в консистентных минеральных маслах. Основные требования к таким материалам помимо электропроводности включают низкую точку замерзания, высокую температуру каплепадения, химическую инертность, влагостойкость и хорошую адгезию к контактирующим поверхностям и предохранение их от износа, а также экологические свойства [2].

В 80-х годах XX века широкое применение получила электропроводная смазка СЭМ-1, дисперсная составляющая в которой вводилась путем разложения формиата меди непосредственно в смазке при ее нагреве. Недостатком такого подхода являлась деградация базового масла от высокой температуры и его повышенная кислотность из-за остатков уксусной кислоты, образующейся при разложении формиата меди.

Целью настоящей работы являлось определение оптимальной концентрации дисперсных электропроводных материалов, вводимых непосредственно в базовое масло и их влияния на триботехнические свойства.

В качестве базового пластичного смазочного материала использовали смазку ЦИАТИМ-201 (Ц201, ГОСТ 6467-74). В качестве модификатора использовали коллоидную медь (М), полученную путем термического разложения формиата меди в ПМС-200 и коллоидный графит (Г, марки С-0). Введение присадок осуществлялось в смазочный материал по массовому соотношению перемешиванием в плунжерной мешалке при комнатной температуре в течение 10 мин. Дисперсность частиц меди и графита составляла 20-40 мкм и 5-10 мкм соответственно.

Оценка противоизносных свойств производилась на четырехшариковой машине трения в соответствии с ГОСТ 9490-75. Оценка электропроводности осуществлялась измерением сопротивления пробы масла заданного объема между двумя плоскими электродами, размещенными на изме-

рительных губках микрометра на расстояниях 0,1 и 0,5 мм. Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Проводимость и показатель износа смазочных композиций с медью и графитом

Смазочная композиция		Проводимость, Ом ⁻¹		Показатель износа, мм
		0,1 мм	0,5 мм	
Ц201		→ 0	→ 0	1,06
Ц201+М	1 масс. %	0,043	→ 0	0,74
	3 масс. %	0,123	0,031	0,75
	5 масс. %	0,2	→ 0	1,37
Ц201+Гр	1 масс. %	$0,39 \cdot 10^{-6}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$	0,95
	3 масс. %	→ 0	→ 0	0,77
	5 масс. %	→ 0	→ 0	1,13

Представленные данные свидетельствуют, что наилучшим сочетанием электропроводных и противоизносных показателей обладает смазочная композиция Ц201 с 3 масс. % коллоидной меди.

Установлено, что увеличение электрического сопротивления с увеличением концентрации модификатора, связано с процессами агломерации частиц дисперсных присадок, что подтверждается анализом тонких слоев смазки на микроскопе. В результате существенно увеличивается расстояние между частицами и снижается вероятность образования ими проводящих цепочек. Такое поведение характерно и смазки с дисперсным графитом. Кроме того, модификация смазки графитом не оказывает ощутимого влияния на ее противоизносные свойства.

Таким образом, коллоидная медь может рассматриваться как перспективная дисперсная присадка для создания электроконтактных смазок. При использованной технологии введения ее оптимальна концентрация составляет 3 масс.%. при этом достигается уменьшение показателя износа на 28%. Очевидно, что улучшить функциональные показатели такой электроконтактной смазки возможно при снижении эффекта агломерации дисперсных частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной Программы Научных Исследований (задание 4.2.3 НИР 1)

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц, М. Браунович. Электрические контакты: Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2008 – 560 с.
2. Директива 2009/28/ЕС 23.07.2009. Параграф 17. Критерии экологичности для биотоплива и биожидкостей // Электронный ресурс. – Режим доступа: URL: <http://base.garant.ru/2571107/a7b26eafd8fd23d18ca4410ac5359e0e/> – Название с экрана

УДК 62-8:531.3

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ВИБРАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН С КОЛЕБЛЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Д.А. Дубовик¹, Н.П. Першукевич¹, А.Н. Вырский², А.С. Шантыко²,
¹ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
 г. Минск, Республика Беларусь;

²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
 г. Гомель, Республика Беларусь

Применение колеблющихся рабочих органов в сельскохозяйственных машинах обусловлено преимуществами колебательного движения при выполнении технологических процессов. Недостатком при этом являются переменные силы инерции и силы, возникающие при выполнении технологического процесса, которые нагружают привод рабочих органов и раму машины, вызывая вибрацию. Вибрация рамы приводит к нагружению элементов конструкции машины, расположенных на ней, а также ухудшает условия труда оператора и может наносить вред его здоровью. В связи с этим снижение вибрации несущей конструкции сельскохозяйственной машины с колеблющимися рабочими органами является актуальной задачей.

Цель настоящей работы: анализ путей снижения вибрации сельхозмашин. В результате анализа открытых источников технической информации разработана структурная схема основных методов снижения вибрации с учетом их работы в реальных условиях (см. рис.1).

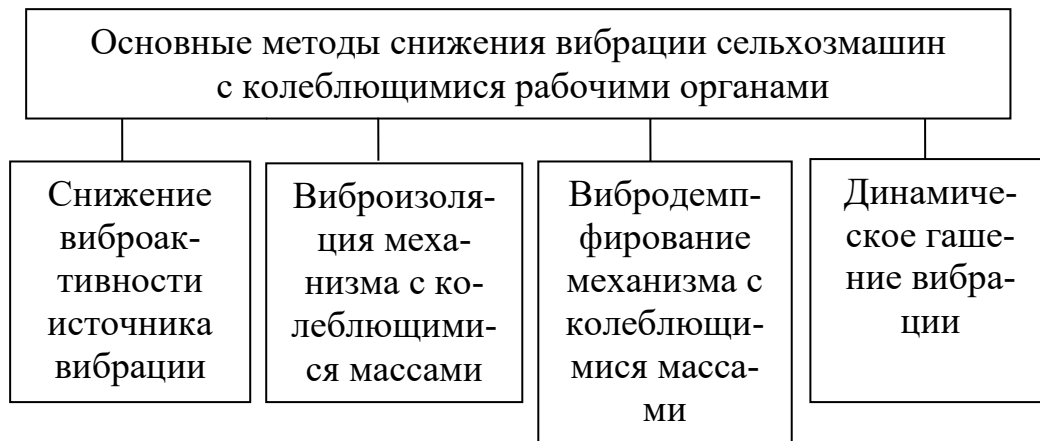


Рис. 1 - Основные методы снижения вибрации сельхозмашин с колеблющимися рабочими органами

Рассмотрим применение этих методов на примере комбайнов ОАО «Гомсельмаш». Наиболее значительными потенциальными источниками вибрации в них выступают колеблющиеся рабочие органы очистки и режущего аппарата жатки. С целью снижения виброактивности механизма очистки выполнено уравновешивание сил инерции колеблющихся масс.

Полное уравнивание на практике трудно достижимо из-за сложности механизма и необходимости обеспечения качественного выполнения технологического процесса очистки зерна. Учитывая то, что рама механизма очистки является частью несущей конструкции комбайна, снижать вибрацию массивных элементов (например, кабины), расположенных на ней, целесообразно за счет их виброизоляции, а имеющих небольшую массу, вибрация которых обусловлена резонансными явлениями, – за счет отстройки от резонанса, вибродемпфирования, динамического гашения вибрации.

На современном этапе одноножевой пальцевый режущий аппарат жатки комбайнов является источником вибрации, так как силы инерции масс колеблющегося ножа не уравновешены. Снижение воздействия виброактивности жатки на несущую конструкцию комбайна при вывешенном состоянии обеспечивается за счет ее частичной виброизоляции, а при опоре жатки на башмаки – за счет вибродемпфирования грунтом поля.

Еще одним источником вибрации на комбайне могут являться приводы колеблющихся рабочих органов. Даже при полном уравнивании действующих на раму сил инерции колеблющихся масс в их приводах вращения действует переменный крутящий момент, который на опорах валов ременных, цепных, зубчатых передач, а также на опорах двигателя преобразуется в переменные силовые воздействия, вызывающие вибрацию. Одним из путей снижения динамической нагруженности приводов является рекуперация энергии колеблющихся масс в колебательной системе [1]. В [2] предложен метод, обеспечивающий снижение не только нагруженности привода, но и вибрации рамы машины. Его эффективность подтверждена экспериментально [3].

Задачей настоящего времени является разработка на основе этих методов эффективных конструктивных решений, которые позволят повысить технический уровень и конкурентоспособность сельскохозяйственной техники ОАО «Гомсельмаш».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко, Л.И. Механика приводов колеблющихся рабочих органов машин / Л.И. Бойко. – Минск, 2003. – 240 с.
2. Дубовик Д.А. Снижение вибрации рам машин с рекуперативными приводами колеблющихся рабочих органов / Д.А. Дубовик, Н.П. Першукевич, Н.Л. Ракова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2017. – С. 67–68.
3. Вырский А.Н. Снижение нагруженности привода одноножевого режущего аппарата зерноуборочного комбайна / А.Н. Вырский, А.С. Шантыко, Д.А. Дубовик, Н.П. Першукевич // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сб. тез. докл. 3-я Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2019. – С. 72-73.

УДК 631.354.2.076

ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКОЙ ЗЕРНА

В.А. Хатанзейский, А.Л. Бирюков, С.В. Гайдидей, Н.И. Кузнецова
ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда, Российская Федерация

Одним из путей повышения надежности уборки выращенного урожая зерновых является использование теплоты отработанных газов двигателя комбайна для предварительной сушки зерна.

Наиболее распространенной моделью зерноуборочных комбайнов в Вологодской и Архангельской областях на 2020 год являлся комбайн Вектор-410 производства Ростсельмаш, который и принят за объект в качестве прототипа для модернизации.

Рассмотрим варианты подачи сушильного агента в поток зерновой массы в зерноуборочном комбайне.

Сушильный агент в поток зерновой массы в зерноуборочном комбайне можно подать:

- в наклонную камеру;
- в вентилятор;
- в зерновой шнек навстречу потоку зерна;
- в зерновой элеватор навстречу потоку зерна;
- в бункер.

При подаче сушильного агента в наклонную камеру сушильный агент будет распределяться по поступающей скошенной зерновой массе, эффективность сушки будет низкая, т.к. сушильный агент будет также контактировать со стеблями и листьями.

При подаче сушильного агента в вентилятор эффективность сушки, несмотря на то, что сушильный агент будет также контактировать со стеблями и листьями, будет достигаться за счет большой плотности потока сушильного агента проходящего через разреженную массу зерна.

При подаче в зерновой шнек навстречу потоку зерна и в зерновой элеватор навстречу потоку зерна эффективность сушки будет недостаточна по причине малого времени нахождения зерна в потоке сушильного агента и нахождения зерна в плотном состоянии.

При подаче сушильного агента в бункер будет более продолжительное время обработки, что является достоинством такого способа, но необходимо ограничивать температуру сушильного агента.

Таким образом, принимаем способ подачи сушильного агента в вентилятор, подающий воздух на решета и подачи подогретого воздуха в бункер.

Нагрев сушильного агента будет производиться от системы отработавших газов и от системы охлаждения через рекуперативные теплообменники, один из которых кроме того выполняет функции глушителя.

Модернизация комбайна заключается в установке двух аналогичных теплообменников для подогрева воздуха теплотой отработавших газов и охлаждающей жидкости, вентиляторов для подачи воздуха в теплообменники, воздухопроводов.

Подсушка зерна на решетках осуществляется следующим образом. Отработавшие газы из двигателя через патрубок поступают в теплообменник и отдав теплоту в нем выходят через патрубок в окружающую среду. Подогреваемый воздух подается вентилятором в теплообменник, где нагревается и подается через воздухопровод к вентилятору направляющему его плотным потоком на решета.

Подсушка зерна в бункере осуществляется следующим образом. Охлаждающая жидкость из системы охлаждения поступает через патрубок в теплообменник и отдав теплоту в нем возвращается обратно в систему охлаждения. Подогреваемый воздух подается вентилятором в теплообменник, где нагревается и подается в перфорированный в нижней части расположенный в бункере воздухопровод, из которого поток воздуха, проходя через слой зерна и забирая влагу, выходит в окружающую среду.

Нами предлагается двухходовой теплообменник с неподвижными трубными решетками. Его отличительной особенностью является разъемная конструкция для очистки межтрубного пространства (через межтрубное пространство будет проходить сушильный агент). Теплообменник устанавливается вместо глушителя (недопустимы дополнительные сопротивления в системе выпуска отработанных газов) и будет выполнять функцию глушителя.

Выполнен теоретический расчет процесса сушки за счет использования теплоты двигателя внутреннего сгорания. При подаче воздуха 1 кг/с в каждую секунду будет унесено 19 г влаги зерна, а при подаче воздуха 2кг/с -38г влаги, что за час работы составит 136,8 кг/ч при подаче зерна в комбайн в размере 2,0 кг/с. Экономия составляет около 10% топлива на вывоз зерна с поля. И на дальнейшей сушке еще экономится 4,23 кг/ч, за 10 час работы 42,3кг, за уборочный период 20 дней 846 кг топлива с одного комбайна.

УДК 621.762

ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Л.П. Долгий, А.М. Михальцов, И.В. Рафальский, П.Е. Лущик,
И.Г. Раков, А.Д. Руленков

Белорусский национальный технический университет, Республиканское
инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк
БНТУ «Политехник», г. Минск, Республика Беларусь

Целью работы является оценка возможности получения фильтрующих элементов с использованием шлаков – отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов – с высоким содержанием алюмооксидных фаз.

Проблема удаления газовых примесей и твердых неметаллических включений в литейных сплавах до настоящего времени не теряет своей актуальности. При плавке алюминиевых сплавов использование методов рафинирования жидкого металла обеспечивает возможность существенного повышения качества сплавов за счет снижения количества неметаллических включений (оксидов, карбидов, нитридов, интерметаллических включений и т.д.) и растворенного в расплавах алюминия водорода. Широко распространенными и изученными способами очистки расплавов от неметаллических включений и растворенных газов является рафинирование флюсами и продувка инертными газами, динамично развивающейся технологией рафинирования является фильтрование алюминиевых расплавов.

Фильтрующие элементы весьма разнообразны как по своей конструкции (сетчатые, объемные, фигурные), так и по используемым для их изготовления материалам (огнеупорные керамические материалы, стеклосетки, металлические сетки и др.). Однако при всем разнообразии способов получения фильтрующих элементов материал, из которого они изготовлены, должен быть достаточно огнеупорным и прочным, чтобы выдерживать гидравлический и термический удары в процессе заполнения формы расплавом. В качестве таких материалов для изготовления фильтрующих элементов могут использоваться огнеупорные материалы, полученные путем переработки металлургических шлаков.

В настоящее время металлургические шлаки представляют неиспользуемые, накапливаемые отходы вторичной металлургии. Помимо оксида алюминия, карбиды кремния, диоксиды циркония, хрома и магния являются сырьем, обладающим вышеуказанными свойствами, также широко используются для производства фильтрующих элементов. При этом

оксид алюминия является наиболее распространенным компонентом для получения керамической суспензии и изготовления фильтрующих элементов, используемых при литье алюминиевых сплавов.

Перспективным направлением совершенствования технологических процессов изготовления фильтрующих элементов является использование шлаков алюминиевых сплавов с высоким содержанием керамических, преимущественно, алюмооксидных фаз. Образующийся на поверхности жидкого алюминия шлак представляет собой смесь продуктов реакции алюминия, газовых компонентов атмосферы (преимущественно, азот, кислород, оксиды углерода), компонентов рафинирующего флюса, футеровки печи и примесей, содержащихся в шихте – преимущественно, оксидов, нитридов, карбидов алюминия и других веществ. Количество образующегося шлака и его состав зависит от особенностей технологии плавки, состава исходных шихтовых материалов и типа плавильного оборудования.

Образующиеся в результате рафинирующей обработки расплава алюминия шлаки в исходном состоянии содержат значительное количество компонентов флюса, образованных сплавлением солей (NaCl , KCl , CaF_2 , Na_3AlF_6 и др.) в зависимости от состава рафинирующего флюса. Для удаления солей остывшая шлаковая смесь подвергалась промывке водой. Помимо оксидных фаз, основная часть которых представлена оксидами алюминия, в шлаковой смеси также присутствуют нитриды и карбиды алюминия, а также некоторое количество металлического алюминия. Высокое содержание в составе шлаковой смеси алюмооксидных фаз позволяет рассматривать шлаки в качестве потенциального источника сырья для производства керамических фильтров.

Важным аспектом при разработке технологии получения керамических фильтров является выбор связующих материалов. Присутствие в составе шлака сравнительно большого количества нитрида алюминия открывает возможность разработки технологических маршрутов изготовления шлако-водной суспензии с высокой реакционной способностью образования фосфатных связующих при использовании в качестве вспомогательного реагента ортофосфорной кислоты.

Термодинамическая вероятность образования алюмофосфатов из полученного щелочного раствора обусловлена отрицательными значениями изменений энергии Гиббса для реакции взаимодействия гидроксида алюминия с ортофосфорной кислотой.

Для изготовления фильтрующих элементов предложена новая конструкция фильтра с использованием доступных и сравнительно недорогих стеклотканей, на которые наносится огнеупорный материал, выделенный из шлаковых смесей при плавке алюминиевых сплавов.

УДК 667.637.2

ОСОБЕННОСТИ ОКРАШИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В СТРАНАХ СНГ

Р.В. Луцик, А.В. Пчельников
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный
университет», г. Новосибирск, Российская Федерация

Сельскохозяйственная техника подвержена коррозионному разрушению металла из-за суровых условий её эксплуатации и хранения. Сильнее всего подвержены разрушению рабочие органы сельскохозяйственной техники: жатки комбайнов, ковши тракторов, лопаты снегопогрузчиков и др. Одним из наиболее эффективных способов защиты сельскохозяйственной техники от коррозии для условий эксплуатации и хранения являются лакокрасочные покрытия [1].

Системы лакокрасочных покрытий сельскохозяйственной техники, эксплуатируемой в различных климатических районах на основании ГОСТ 6572-91 «Покрытия лакокрасочные тракторов и сельскохозяйственных машин» приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 - Системы лакокрасочных покрытий сельскохозяйственной техники, эксплуатируемой в различных климатических районах

Наименование деталей и сборочных единиц	Умеренный климат	Тропический климат	Холодный климат
Кабины, крыши, капоты, крылья, щиты, боковины, панели	Грунтовка - ГФ -0119 Краска – АС-182 2 слоя	Грунтовка - В-МА-1232 Краска – В-МА-1248 1 слой	Грунтовка - нет Краска – П-ЭП-177 1 слой
Рамы, станины, рамные конструкции	Грунтовка - ГФ -017 Краска – АС-182 1 слой	Грунтовка - нет Краска – ЭП-793 2 слоя	Грунтовка - ГФ -017 Краска – АС-182 2 слоя
Детали и узлы подборщиков, ворошилок, вязальных аппаратов, тюкодержателей, упаковщиков	Грунтовка - ГФ -017 Краска – АС-182 1 слой	Грунтовка - ГФ -017 Краска – АС-182 1 слой	Грунтовка - ГФ -017 Краска – АС-182 1 слой

Окрашивание сельскохозяйственной техники проводится пентафталевыми эмалями ПФ-133, ПФ-188, этрифталевой эмалью ЭТ-199, которые обеспечивают более длительный срок службы и лучший внешний вид покрытия, чем эмаль ПФ-133. Широко применяется бензостойкая эмаль МЛ-629. Кроме того, для окраски сельхозтехники применяют эмали МЛ-152, ПФ-115, НП-132, ХВ-1100, ХС-710 и другие, а также лаки ХС-76 и ХВ-784 и грунтовки ГФ-017, ГФ-0119, ФЛ-03К, ФЛ-ОЗЖ [2].

Среди акриловых лакокрасочных материалов часто применяют алкидно-акриловую эмаль АС-182, которая обеспечивает получение покрытий не ниже IV класса. Покрытие эмали АС-182 обладает превосходными

физико-механическими свойствами: адгезия к подложке – 1 балл, эластичность – не более 1 мм, твердость по маятниковому прибору типа М-3 – не менее 50 усл. ед., прочность при ударе – не менее 50 см.

Наряду с эмалью АС-182 для окрашивания сельскохозяйственной техники широко используется эмаль АС-1247, высыхающая как при повышенной температуре (80 °С – 60 мин или 110 °С – 30 мин.), так и при естественных условиях за 24 ч, т.е. может быть использована и для ремонтной окраски. Качество покрытия – не ниже III класса.

Как и многие акриловые ЛКМ, покрытие на основе эмали АС-1247 обладает отличными физико-механическими свойствами: адгезия к подложке – 1 балл, эластичность – не более 1 мм, твердость по маятниковому прибору типа ТМЛ – не менее 0,25 отн. ед., прочность при ударе – не менее 50 см.

Среди акриловых сополимеров – гидроксилсодержащих, выделяется грунт-эмаль АС-1214, она совмещает в себе свойства и грунтовок и эмали. Грунт-эмаль наносится в два слоя на предварительно загрунтованную и подготовленную поверхность. Адгезия грунт-эмали – 1 балл, высокая твердость и прочность при ударе при высокой же эластичности.

Подводя итог можно сказать, что, все лакокрасочные материалы для окрашивания сельскохозяйственной техники – алкидные, меламиноформальдегидные, поливинилхлоридные или акриловые, они должны удовлетворять целому ряду требований:

1. Воздействие солнечных лучей – покрытие должно обладать повышенной стойкостью к действию ультрафиолета [3].

2. Резкая смена температур, весной и осенью – покрытие должно обладать высокими физико-механическими свойствами, в частности – эластичностью.

3. Воздействие атмосферных осадков – покрытие должно обладать хорошими защитными свойствами, стойкостью к коррозии [4].

4. Эксплуатация сельскохозяйственной техники в условиях бездорожья, повышенной запыленности, как следствие возможно налипание грязи, пыли и абразивный износ покрытия – следовательно, покрытие должно обладать высокой твердостью, прочностью к удару [5].

5. В процессе эксплуатации покрытия возможны вибрация, ударные нагрузки – опять от покрытия требуются высокие физико-механические свойства.

Кроме того, лакокрасочные материалы для окрашивания сельскохозяйственной техники должны наноситься различными способами, включая ручное окрашивание, иметь различные температурные интервалы сушки, и высыхать за возможно короткий период времени – ведь наряду с промышленным окрашиванием сельскохозяйственной техники существует еще и ремонтное окрашивание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрянин В.Н. Исследование износостойкости лакокрасочных покрытий рабочих органов сельскохозяйственных машин / В.Н. Хрянин, А.В. Пчельников // журнал: Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 7. С. 44-48.
2. ГОСТ 6572-91. Покрытия лакокрасочные тракторов и сельскохозяйственных машин. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 5 с.
3. Бондалетова Л.И. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов, В.Т. Новиков, Н.А. Алексеев. - Томск: ТПУ, 2002. - 41 с.
4. Пичугин А.П. Исследование влияния мелкодисперсных порошковых материалов на свойства защитных покрытий машин АПК / А.П. Пичугин, А.П. Илясов, А.В. Пчельников, В.Н. Хрянин, Р.В. Луцки // журнал: Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 7. С. 36-40.
5. Хрянин В.Н. Исследование истираемости систем лакокрасочных покрытий, применяемых при ремонтном окрашивании технологических и транспортных машин АПК / В.Н. Хрянин, А.В. Пчельников, А.А. Железнов, Д.А. Ханин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: сб. докл. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2014. – С. 40-46.

УДК 57.014: 621

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Д.М. Гуцев, Ф.А. Григорьев, А.А. Грапов

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

Широкое использование смазочных материалов, разработанных на основе продуктов нефтепереработки, обуславливает проблему экологической нагрузки на окружающую среду.

Ужесточение требований нормативно-правовых актов в сфере экологии и рационального природопользования, а также ограниченность мировых запасов нефти вызывает потребность поиска новой нетрадиционной основы экологически чистого смазочного материала.

Исследования, проведенные в ИММС НАН Беларуси указывают на перспективность использования сырья растительного и животного происхождения.

Актуальность исследования обуславливается уникальным составом и высокой биоразлагаемостью растительных масел и животных жиров, позволяющих рассматривать данное сырье в качестве новой нетрадиционной основы экологически чистых смазочных материалов.

В процессе эксплуатации, большинство представленных смазок подвержены воздействию высоких температур и давлений, контактируют с металлами, воздухом, водой и различными агрессивными средами. В период работы подвергаются окислению, что способствует повышению вязкости, кислотного числа, коррозионной активности; засоряются продуктами износа – усиливается абразивный износ.

Правильный подбор базовой основы обеспечивает смазочному материалу заданные свойства в условиях его эксплуатации: отвод тепла от узлов трения, защиту деталей от коррозии, очищение поверхности трения от загрязнения, снижение токсического воздействия смазочного материала на окружающую среду.

Экономическая целесообразность использования растительного и животного сырья в качестве базовой основы связана с их способностью образовывать в тонких слоях устойчивые к воздействию факторов окружающей среды защитные пленки (полимеры трения) на рабочих поверхностях, снижая расход смазочного материала во время эксплуатации.

Возможность использования смазочного материала на основе описанного нетрадиционного сырья обоснована результатами изучения суще-

ствующих базовых основ. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели экологически чистых базовых основ смазочных материалов

№	Группа базовой основы	Название базовой основы	Вязкость при 20°C, мм ² /с	Плотность при 20°C, кг/м ³	Температура застывания, °C	Кислотное число, мг КОН на 1 г масла
1	Растительные масла	Касторовое	130	950	-16	1,5
2		Льняное	52	926	-15	2
3		Пальмовое	39 (40°C, мм ² /с)	923	31	4
4		Подсолнечное	60	920	-16	0,4
5		Рапсовое	93	908	0	6
6	Животные жиры	Свиной	62 (40°C, мм ² /с)	895	27	2,3
7		Говяжий	34 (40°C, мм ² /с)	890	36	2,8
8		Бараний	37 (40°C, мм ² /с)	885	42	2,8
9		Гусиный	44 (40°C, мм ² /с)	895	15	0,8

Исходя из данных, представленных в таблице 1, перспективной органической основой является – растительные масла (касторовое, подсолнечное, рапсовое), животные жиры (свиной, говяжий, бараний). Указанные базовые основы обладают удовлетворительными физико-химическими показателями, высокой биоразлагаемостью и незначительной экологической нагрузкой на окружающую среду, что позволяет отобрать данное сырье для разработки концепции эффективного и экологически чистого смазочного материала.

Проведенные исследования и полученные результаты дают возможность создания экологически чистой основы многоцелевого смазочного материала с заданным набором параметров, зависящего от комплекса присадок, определяющим сферу их применения.

УДК 621.744.072.2; 621.792; 621.88

ПРИМЕНЕНИЕ 3-D ПЕЧАТИ ПРИ РЕМОНТЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

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

В настоящее время на предприятиях обслуживающих машины и механизмы находится широкий парк данных устройств различных производителей из разных стран и континентов. Как следствие после окончания гарантийного срока эксплуатации остро встает вопрос о замене изношенных частей данных агрегатов при текущих ремонтах. Известно, что доставка многих этих узлов либо невозможна ввиду вывода модели из эксплуатации либо является весьма дорогостоящей. Как результат, актуально стоит задача минимизировать данные потери. В данном случае для точечного ремонта единичных изделий на механических дворах предлагается целый ряд принтеров 5-D печати типа Stereotech серии 5xx [1]. Данные изделия позволяют с помощью прилагаемой библиотеки принтера (10000 различных изделий) распечатывать широкий комплекс изделий начиная от уплотнительных колец кончая твердосплавными материалами.

Однако, если потребен выпуск деталей в количестве более 10 штук уже целесообразно получение их методом литейного производства. Для ускорения процесса получения изделий от проекта до конечного продукта удобно использовать 3-D печать для получения модельной оснастки. Лидерами в данной области являются компании BigRep (ФРГ), BLB (Словакия), 3D (Польша) 2. По данным BigRep использование 3 D моделей позволяет снизить затраты на производство модельных комплектов в связи со снижением операций по созданию комплектов (2 вместо 6) Кроме этого предлагаемые модели практически не ограничены по габаритным размерам (рис.1) [2].

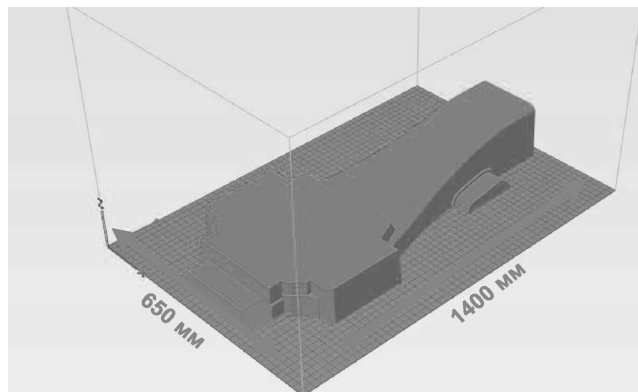


Рис.1 - Макет модели корпуса редуктора изготовленный BigRep (ФРГ) [2]

Это обусловлено исключением таких операций как изготовление заготовок, сушка, сверловка и выставление на подмодельной плите. Для производства изделий от 5 до 10 штук целесообразно использовать литые по выплавляемым моделям. Безусловным лидером в данной области можно признать BigRep (ФРГ) работающие совместно с Российскими компаниями по выпуску воска для 3D печати, например Filamentarno [2].

При этом следует учитывать разнообразие материалов по их эксплуатационным свойствам используемых производителями установок 3D печати. Основные сведения о них приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 - Материалы для 3D печати, и их свойства [2]

Материал	Характеристики
PLA	Доступный и универсальный
HI TEMP	Термостойкий
PRO HS	Высокоскоростной
FLEX	Эластичный
PETG	Ударопрочный
PVA	Водорастворимая поддержка
Nylon	Прочный и химически стойкий
ABS / ASA	Твердый, ударопрочный, устойчивый к УФ
PC	Температуро и ударопрочный
PP	Высокая химическая стойкость и легкая механическая обработка
PEI (Ulterm)	Особовысокопрочный по сертификату FST

В заключение следует отметить, что производство 3-D моделей с помощью 5-D или 3-D принтеров ограничены их шероховатостью поверхности, что требует последующего 3-D фрезерования и как результат заметно влияет на их стоимостные характеристики по сравнению с материалами из пластических масс получаемых непосредственно 3-D фрезерованием. В качестве вывода, можно заключить, что применение 3-D прототипирования может быть актуально при создании оснастки для единичных серий. При учете мелкосерийных серий необходима комбинация склеенных изделий на основе различных материалов, но возможно покрытие тонкостенной 3-D наплавкой готовой модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекламный буклет фирмы ООО Стереотек, 400074, г. Волгоград, ул. им. Огарева, выданный на Минском промышленном форуме 29.09.21.
2. Рекламная презентация компании ООО «Туссон-Принт» «Применение аддитивных технологий в литейном производстве», представленной на Минском промышленном форуме 29.09.21.

УДК 631.354

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В.Б. Попов, Г.Г. Кудренко

УО «Гомельский государственный технический университет имени
П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

В сельскохозяйственном комбайностроении важное место занимает процесс выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна. В большинстве случаев процесс выгрузки зерна производится во время движения, так как это позволяет сократить время уборки урожая, в отличие от способа при полной остановке комбайна и дальнейшей выгрузки зерна из бункера (рис. 1).

Технологический процесс выгрузки зерна занимает примерно 1/5 часть от времени на выполнение технологического процесса скашивания и обмолота урожая.

Главной задачей модернизации системы выгрузки зерна является сокращение времени на выгрузку зерна в прицеп транспортного средства.

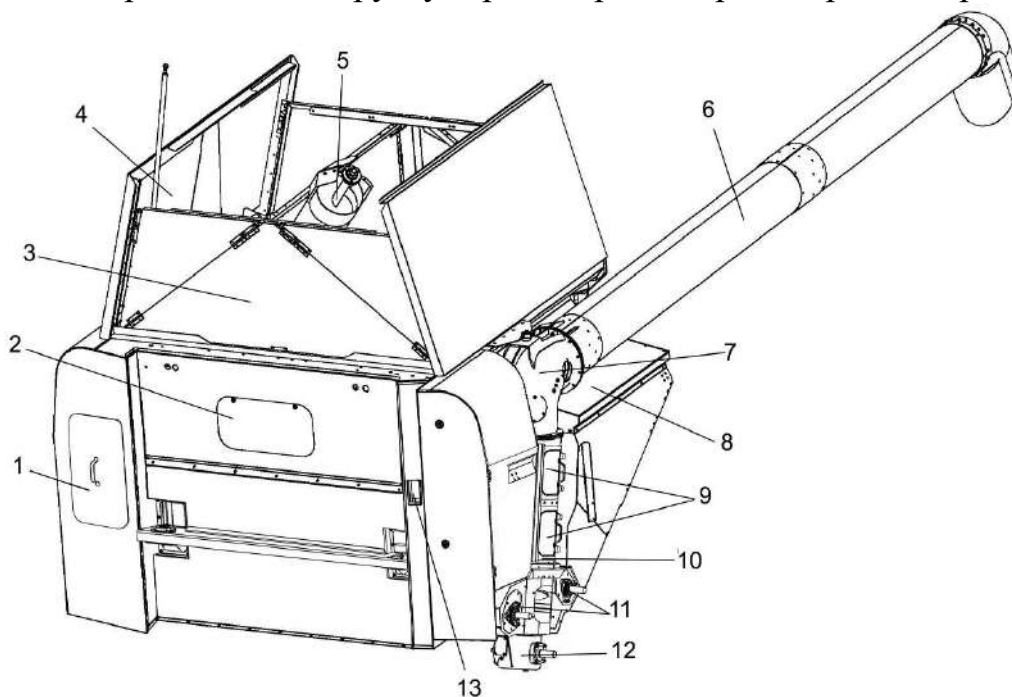


Рис. 1 - Бункер зерновой с выгрузным устройством:

- 1 – крышка лаза в бункер; 2 – смотровое окно; 3 – надставка бункера;
4 – крыша бункера; 5 – шнек загрузной; 6 – шнек поворотный выгрузной;
7 – отвод с редуктором; 8 – настил; 9 - крышки; 10 – шнек наклонный вы-
грузной; 11 – шнеки горизонтальные; 12 – редуктор;
13 – окно пробоотборника

Обычно выгрузная система зерноуборочного комбайна состоит из двух, трех или четырех шнеков (рис. 2). Процесс выгрузки начинается с горизонтального шнека, где зерновая масса подается из бункера к наклонному шнеку. При этом в двухшнековой системе выгрузки наклонный шнек является поворотным. Вертикальный шнек перемещает зерновую массу и подает ее на поворотный шнек, который транспортирует ее далее непосредственно в прицеп транспортного средства.

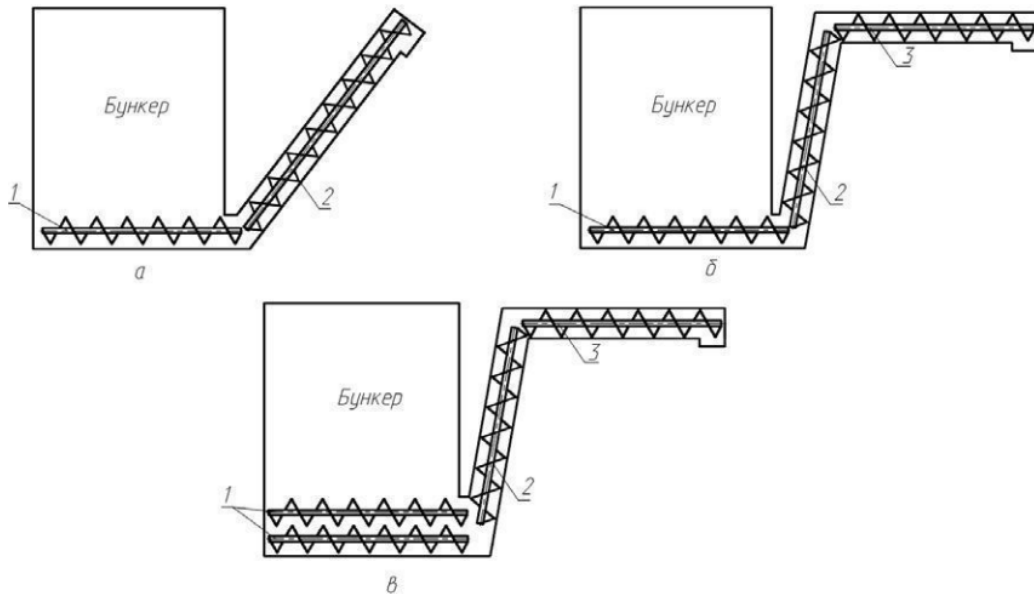


Рис. 2 - Выгрузная система зерноуборочного комбайна из двух шнеков (а); из трех шнеков (б); из четырех шнеков (в): 1 – горизонтальный шнек; 2 – наклонный шнек; 3 – поворотный шнек

Изменение каких-либо параметров системы выгрузки зерна из бункера будет влиять на другие её параметры. Следовательно, увеличение пропускной способности выгрузной системы комбайна повлечёт за собой уменьшение времени на: скашивание, обмолот зерновых культур и выгрузку зерна в прицеп транспортного средства. Однако, в свою очередь, это повлечет за собой увеличение затрачиваемой мощности, поступающей на привод шнеков системы выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна.

Оценка производительности выгрузной системы, состоящей из двух шнеков, проводится по следующей формуле:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} 60 n c \gamma, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где D – наружный диаметр винта, м;

d – диаметр вала, м;

n – число оборотов в минуту;

c – коэффициент снижения производительности в зависимости от угла наклона шнека;

γ – объемный вес перемещаемого материала, т/м³;

ψ – коэффициент заполнения.

Как показывает анализ результатов расчета для выгрузной системы из трех или четырех шнеков, ограничивающим производительность выгрузной системы в целом является наклонный шнек. Условия запитки наклонного шнека определяют его производительность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – М. : Колос, 1983. – С. 239.

2. Красниченко, А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А. В. Красниченко. – М., 1961. – Т. 1. – С. 391.

УДК 669.056.017

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ НОЖЕЙ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

В.С. Голубев, И.И. Вегера, В.Е. Ходюш
Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Предпринятые усилия научно-технической общественности республики как на передовых промышленных предприятиях, так в академической среде и в высшей школе позволили выявить современное состояние проблемы работоспособности сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ) различного назначения, провести обобщения результатов научных исследований и технических решений последних лет, направленных на освоение отечественного производства конкурентоспособной продукции в этой сфере [1-3]. Основу технических решений изготовления ДРОМ составляет системный анализ и комплексный подход, учитывающий показатели металлургического, материаловедческого, конструкторского, технологического, триботехнического, экологического, эксплуатационного и экономического факторов. Сделан вывод, что традиционно применяемые материалы и технологии изготовления ДРОМ достигли своего предела конструкционной прочности и износостойкости и требуют замены.

Обоснованы основные критерии работоспособности ДРОМ, к числу которых отнесены: конструкционная прочность, твердость, ударная вязкость, пластичность и конструкционная износостойкость. Их обеспечение реализуется при получении композиционного строения поперечного сечения изделий и характеризуемого субмикро- и нанокристаллической структурой. Внешние поверхности трения таких деталей имеют фрагментированную дисперсную структуру, обладающего комплексом высоких механических свойств. К числу технологических решений для изготовления ДРОМ современного поколения могут быть отнесены: технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного или индукционного нагрева; технологии формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; технологии отпуска при индукционном нагреве; плазменные и лазерные (закалка, модифицирование, наплавка) технологии; технологии диффузионного намораживания износостойкими сплавами и др. Перечисленные технологии являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению.

Мировые тенденции развития научно-технического прогресса обуславливают насыщение лазерной техникой и технологией в первую очередь всех машиностроительных отраслей современной промышленности [3]. Степень упрочнения, глубина упрочненных слоев, распределение твердости по глубине и ширине зоны лазерного воздействия существенно зависят от методов обработки, технологических режимов, исходного состояния и особенностей фазовых и структурных превращений в сталях различного состава. Для каждой стали существуют оптимальные режимы обработки высокоэнергетическими воздействиями и оптимальные исходные состояния металлоизделий, предшествующие поверхностному упрочнению.

Для сменных ДРОМ – стальных ножей их рабочую часть рекомендуется подвергать лазерной наплавке - модифицированию износостойким сплавом. Её применение, наряду с термической обработкой, позволяет получать оптимальное структурное строение режущей части ножей. Твердое (~70 HRC) износостойкое покрытие на закаленной стальной основе (до 56-60 HRC) наносится слоем толщиной в пределах 0,2-0,4 мм. Это покрытие обладает высокой абразивной и коррозионной стойкостью.

Опытные образцы ножей измельчителя кормоуборочного комбайна КВК-800 изготавливались из сталей типа 9ХФ, 51CrV4, 50ХФА. Поверхностное упрочнение методом лазерного модифицирования проводилось с использованием лазерного комплекса «Комета-2». Доработка техпроцессов проводилась по таким параметрам, как скорость сканирования лазерного луча, мощность излучения, диаметр пятна фокусировки и шаг обработки. Предусматривалось повышение до 30% скорости сканирования лазерного излучения при приближении к рабочей кромке деталей. В этом случае не происходило полного расплавления рабочей кромки и изменения ее геометрии.

Были проведены сравнительные испытания полученных ножей на ударную стойкость. Главная здесь проблема - как заточенное лезвие «держит» удар. Закачивали ножи с различных температур нагрева и отпускали при температурах 180-280°C. Степень разрушения сравнивали с разрушением на зарубежных измельчающих ножах фирмы Lund (рис.1 а). В итоге были получены близкие результаты при оптимальных условиях термообработки и лазерного модифицирования.

Была опробована закалка образцов сталей, упрочненных лазерным модифицированием, заключающаяся в дополнительном нагреве в печи сопротивления и быстрое охлаждение с разными скоростями. Было опробовано охлаждение в холодном масле, а также с использованием охлаждения водой под давлением – спрейерная закалка по специально разработанной технологии. Следует отметить, что в образцах с использованием предварительно закаленной подложки из стали 9ХФ, лазерно-упрочненных и заново закаленных, визуально могли наблюдаться тонкие трещины, рас-

пространяющиеся вглубь от поверхности лезвийной части ножа, количество которых возросло при механической обработке, связанной с заточкой режущей кромки шлифованием, несмотря на то, что она выполнялась абразивным кругом с интенсивным охлаждением водяной эмульсией (рис. 1б).

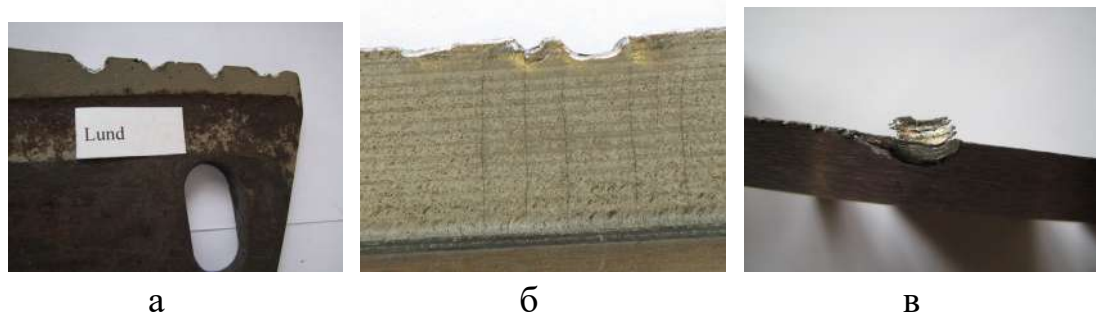


Рис. 1 - Разрушение режущей кромки(а), образование микротрещин при лазерной обработке (б) и заусенцев при ударе (в).

В образцах с закалкой после лазерной модифицирующей обработки с использованием сырой подложки трещин не наблюдалось. Применение дополнительного отпуска образцов при различных температурах привело к снятию напряжений, протеканию релаксационных процессов, и постепенному изменению вида излома. Изломы имели неоднородный характер разрушения. В макроструктуре поперечных сечений образцов присутствовали участки хрупкого кристаллического, а также вязкого ямочного. С повышением температуры отпуска величина площади разрушения с кристаллическим строением уменьшалась, увеличивалась доля вязкой составляющей с ямочным строением. Отчетливо выраженная смена механизма разрушения в образцах стали 9ХФ, при визуальном определении, произошла при температуре отпуска равной 260⁰С. Режущие кромки образцов при испытании ударом получили выщербины с вмятинами и характерными пластически деформированными заусенцами (рис. 1 в), а также прилежащими к выбоинам зонами пластического воздействия. Механизм разрушения, стал ямочным, с фасетками межзеренного рельефа, образованного, вероятно, путем слияния микропор и микропустот. На образцах из стали 50ХФА, так же как и на образцах из стали 9ХФ, при ударе по режущей кромке образовывались выбоины с образованием отделяющихся металлических частей со смешанным строением макроструктуры излома. Поверхностные слои, как со стороны модифицированного слоя, так и противоположной к нему, имели матовый ямочный характер макроструктуры излома, а во внутренних частях наблюдались гладкие блестящие участки, иногда с мелкими блестящими ступеньками и кристаллическим строением, характерным для хрупкого скола, но трещин в образцах не обнаруживалось.

Уже при температуре 220⁰С излом становился однородным, матового цвета с фасетками ямочного характера разрушения, свойственного вязкому сколу. В поперечном сечении ножей этой стали можно было наблюдать образование рельефа типа седла с приподнятыми вверх краями. Следует обратить внимание, что вот такие отделяющиеся мелкие металлические осколки в результате ударов могут представлять определенную угрозу для здоровья скота при скармливании ему, например, силоса.

При лазерном модифицировании с расплавлением поверхности сложно проанализировать и описать всю совокупность явлений, оказывающих влияние на величину и распределение остаточных напряжений, возникающих в изделиях при формировании износостойких слоев на поверхности, с применением различных металлов, имеющих разные коэффициенты теплопроводности, температурные коэффициенты линейного расширения и различиями, обусловленными структурой слоев наплавки и основы. Тем не менее, опробованный метод упрочнения, режимы лазерной обработки и совокупность приёмов термической обработки позволили подобрать материал и термическую обработку ножей с тонкой заточенной на клин режущей кромкой, способных выдерживать значительные ударные нагрузки без образования трещин и сопротивляться абразивному износу на уровне зарубежных аналогов. Установлено также, что фактор трещинообразования может быть устранен. В этой связи следует варьировать не только скорость лазерной обработки, но и коэффициент перекрытия лазерных дорожек, а также порядок прохождения дорожек по рабочей поверхности. Кроме того, выявлено положительное влияние промежуточного отпуска в процессе проведения лазерной обработки. При этом были достигнуты требуемые параметры упрочненных слоев, хорошее их качество и исключено трещинообразование. В тоже время при попадании значительных инородных предметов, особенно металлической арматуры, в зазор между ножами и противорежущим бруском наблюдалась поломка всех без исключения ножей, как импортных, так и нашего изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин/ И.Н. Шило, Г.Ф. Бетенья, Л.А. Маринич, В.С. Голубев и др. — Минск: БГАТУ, 2010. — 320 с.

2. Голубев В.С., Михлюк А.И., Романчук И.А., Процкевич Л.И. Использование лазерных технологий упрочнения в сельскохозяйственном машиностроении. В сб. трудов межд. н.-т. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», Минск, ФТИ НАН Беларуси, 2018, Кн.2, С.58-65.

3. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке / С.А. Астапчик, В.С. Голубев, А.Г. Маклаков. — Минск: Белорусская наука, 2008. — 252 с.

УДК 669.046

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

Сталь является важным материалом сельскохозяйственного машиностроения, где используется в виде проката и отливок. Анализ динамики изменения требований по содержанию примесей в сталях показывает, что с 1970 по 2010 год допустимая концентрация серы снизилась на порядок (с 0,03 % до 0,003 %), а для стали класса А по сере установлены еще более жесткие пределы – до 0,002 %. Существующие плавильные агрегаты и технологии плавки не гарантируют получение стали с таким низким содержанием примесей, что требует дополнительного использования внепечной обработки расплава.

Исследователи отмечают большие потенциальные возможности обработки стали в ковше активными рафинировочными шлаками при производстве проката. В значительной степени рафинирующая способность шлаков зависит от их химического состава, сульфидной емкости, окисленности шлака, температурных условий обработки и жидкоподвижности, поскольку процессы десульфурации и раскисления получают свое развитие на границе шлак-расплав. На большинстве предприятий для разжижения шлаков используют флюорит (плавиковый шпат) CaF_2 , который является экологически опасным веществом, обладает высокой стоимостью и агрессивно взаимодействует с футеровкой сталеразливочного ковша.

При проведении на Белорусском металлургическом заводе опытных плавов сталей 18ХГТ, 25Г2С, 35Г2Ф, 20ХНР, 18NiCrMo5 с использованием алюминиевых раскислительных смесей (АРС), полученных на основе отходов переработки вторичного алюминия (ОПВА), было установлено их положительное влияние на степень десульфурации стали и жидкоподвижность рафинировочного шлака установки «печь-ковш». Добавка АРС в количестве 100 кг и более на 100 т расплава обеспечила повышение жидкоподвижности шлака, как при совместной обработке шлака CaF_2 и раскислительными смесями, так и только АРС. Степень десульфурации при этом колебалась от 40,0 до 53,9 % при средних значениях 44,75 %, что несколько выше сравнительных плавов, проведенных с использованием стандартных раскислительных смесей (39,6 %). Таким образом, вводя в рафинировочные шлаки добавки, содержащие CaO и Al_2O_3 , можно регулировать основность и жидкотекучесть шлаков, а также отказаться от использования плавикового шпата CaF_2 . Установлено, что содержание в шлаках 20–25 %

Al_2O_3 , исключает необходимость использования плавикового шпата для их разжижения. Следует так же учитывать, что алюминаты с высоким содержанием кальция C_3A ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) и C_5A_3 ($5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$) имеют более высокую способность поглощать CaS , чем алюминаты с высоким содержанием глинозема CA ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) и CA_2 ($\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$).

При взаимодействии APC с компонентами рафинировочного шлака образуются достаточно тугоплавкие соединения: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{пл}} = 1535$ °C); $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{пл}} = 1610$ °C); $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{пл}} = 1765$ °C); $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1553$ °C); $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1593$ °C); $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{пл}} = 1527$ °C). Поэтому эффект повышения жидкоподвижности рафинировочных шлаков при добавке APC, очевидно, следует связывать с возможностью образования легкоплавких эвтектик. Так, в системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ образуется эвтектики с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1335 и 1345 °C. Для системы $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ можно отметить наличие трех эвтектик с температурами плавления 1295, 1222 и 1160 °C. В системе $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ также образуется легкоплавкие эвтектики с температурами плавления 1355 и 1365 °C. Поэтому корректировку состава рафинировочных шлаков по содержанию Al_2O_3 с целью их разжижения можно проводить с использованием разжижителей, полученных на основе мелких фракций отвальных алюминиевых шлаков или ОПВА, образовавшихся при использовании бесфлюсовой плавки отходов. Это позволяет исключить из состава реагентов хлористые соли натрия и калия, используемые в качестве флюсов при плавке отходов алюминия в виде шлаков, стружки, опилок. Наличие солей NaCl и KCl в составе APC или разжижителей из-за их высокой летучести при температурах внепечной обработки стали (~ 1600 °C) вызывает загрязнение воздуха в рабочей зоне и ухудшение условий труда на установке «печь-ковш».

Поэтому реализация бесфлюсовой плавки отходов алюминия обеспечивает получение пригодных для дальнейшего использования материалов и исключает необходимость захоронения солевых алюминиевых шлаков, как отходов 4 класса опасности с уплатой соответствующего экономического налога.

УДК 539.4

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПОТОВ КОМБАЙНОВ

С.В. Шилько, Д.А. Черноус, А.П. Сазанков

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. В качестве основного материала кузовных элементов автомобильной и сельскохозяйственной техники, в частности, капотов комбайнов, до недавнего времени использовалась исключительно сталь. В последние годы наметилась тенденция изготовления капотов из полимерных материалов и композитов, получаемых армированием полимерной основы высокопрочными волокнами стекла или углерода, что позволяет снизить вес, вибрации и шум, улучшить технологичность и эстетические показатели машин.

Для определения предела выносливости указанных материалов применяют весьма длительные и трудоемкие стандартизованные методы циклических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб.

Цель работы: ускоренное определение показателей усталостной прочности полимерных конструкционных материалов.

Методы и результаты.

Базовыми методами исследования являются циклические испытания по определению малоциклового и среднециклового усталостной прочности, а также расчетное прогнозирование предела выносливости на основе экстраполяции полученных экспериментальных данных.

Двумя способами, различающимися по частоте нагружения, получены диаграммы Веллера при консольном изгибе для ряда конструкционных термопластов и стеклопластиков на терморезистивном связующем. На них выделены области малоциклового (0–2000 циклов) и среднециклового (2000–15000 циклов) разрушения.

С использованием параметрического уравнения Шерби-Дорна выполнена экстраполяция полученных данных, позволяющая прогнозировать усталостную прочность исследуемых материалов в области многоциклового ($2 \cdot 10^4 - 10^5$ циклов) нагружения.

Практическая значимость результатов состоит в оптимальном выборе материала по критерию усталостной прочности и получении исходных данных, необходимых для проектировочных расчетов пластиковых капотов комбайнов.

УДК 621.74: 669.71

АНТИФРИКЦИОННЫЙ СИЛУМИН – ЗАМЕНИТЕЛЬ БРОНЗ

Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко
Институт технологии металлов НАН Беларуси,
г. Могилев, Республика Беларусь

В настоящее время основными промышленными антифрикционными материалами являются бронзы. Они обладают низким коэффициентом трения скольжения и высокой фрикционной износостойкостью в паре трения со сталью. Основными недостатками бронз являются высокие стоимость и плотность. Заготовки из этих материалов для Республики Беларусь, как правило, импортные, что повышает себестоимость выпускаемой продукции. Поэтому замена антифрикционных бронз на более легкие и дешевые сплавы с высокими триботехническими свойствами является актуальной проблемой. Она решалась в Институте технологии металлов НАН Беларуси путем разработки принципиально нового алюминиево-кремниевого сплава – антифрикционного силумина с высокодисперсным глобулярным эвтектическим кремнием (антифрикционный силумин) и технологии литья полых и сплошных заготовок из этого сплава [1-3].

Антифрикционный силумин (АС) имеет следующий химический состав, вес. %: кремний – 13...15; медь – 3...4%; остальное – алюминий. Заготовки из АС АК15М3 после термообработки по режиму Т5 имеют дисперсность кристаллов кремния (β_{Si} -фазы) – 3...4 мкм; временное сопротивление разрыву – 350...450 МПа; относительное удлинение – 3...5%; твердость – 125...135 НВ.

Кроме повышенных механических свойств, заготовки из АС имеют высокие антифрикционные свойства, благодаря принципу Шарпи, относительно большой теплопроводности сплава, высоким дисперсности, глобулярности и прочности кристаллов кремния (β_{Si} -фазы). Установлено, что теплопроводность АС в 2 и 3 раза выше, чем у бронз БрОЦС5-5-6 и БрАЖ9-4, а глобулярные кристаллы кремния не выкрашиваются при очень большом давлении [3]. В условиях трения без смазки образцы из АС АК15М3 в паре трения со сталью 45 по фрикционной износостойкости превосходят бронзовые (БрОЦС5-5-5) в среднем в 7 раз, а со смазкой – в 23 раза. При этом АС имеет более низкий коэффициент трения скольжения. Кроме этого, АС АК15М3 по фрикционной износостойкости превосходит бронзы БрОЦС5-5-5 и БрАЖ9-4 при давлении от 10 МПа до 100 МПа [2].

Детали из АС прошли опытно-промышленные испытания на многих промышленных предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации. Установлено, что детали из АС по износостойкости и (или) ре-

сурсу работы не уступали либо превосходили аналогичные детали из серийных промышленных бронз и могут их заменять.

На базе Института технологии металлов НАН Беларуси создан литейный участок по производству сплошных и полых заготовок из АС. Их получают на установках непрерывного горизонтального, вертикального центробежного, циклического литья и при литье в охлаждаемые кокили.

В Республике Беларусь заготовки из АС вместо бронз применяются на таких предприятиях, как ОАО «Белшина», ОАО «Гомельский завод станочных узлов», ОАО «Оршанский станкостроительный завод «Красный Борец», ОАО «Кузлитмаш» холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», завод «Могилевтрансмаш», ОАО «МАЗ», ОАО «БЕЛАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», ОАО «Амкодор-Дзержинск», ОАО «Бобруйскагромаш», ОАО «Светлогорск-Химволокно», ОАО «Минский завод колесных тягачей», ОАО «Гомсельмаш» и многих других предприятиях. Заготовки из АС поставляются более чем на 100 предприятий Республики Беларусь, Российской Федерации, Республики Корея и Украины по ТУ ВУ 700002421.003-2011. Заготовки из АС в среднем на единицу массы в 2,5 раза дешевле проката из алюминиевых и оловянных бронз, но по плотности в 3 раза их легче.

Разрабатывается более дешевый АС с повышенным содержанием железа (более 1,2%). Заготовки имеют высокодисперсную глобулярную микроструктуру, полученную без применения модификаторов.

Таким образом, антифрикционный силумин решает проблему замены бронз на более дешевый, легкий отечественный антифрикционный материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антифрикционный сплав на основе алюминия: пат. 2504595 Российская Федерация, МПК С 22 С 21/04, С 22 С 21/12 / В.Ю. Стеценко, Е.И. Марукович, заявитель Ин-т технологии металлов НАН Беларуси. – № 2012119330/02; заявл. 11.05.2012; опубл. 20.01.2014 // Бюллетень / Фед. служба по интеллект. собств., пат. и тов. зн. – 2014. – № 2.

2. Марукович, Е.И. Антифрикционный силумин АК15М3 с глобулярным кремнием. Получение, свойства, применение / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // *Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41, Ч. 2. – С. 177–183.

3. Стеценко, В.Ю. Теоретические и технологические основы получения заготовок повышенной износостойкости из силуминов с высокодисперсной инвертированной структурой: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.16.04; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2021. – 60 с.

УДК 631.354

ОПЫТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ ОЧЕСАННОГО ЗЕРНОВОГО ВОРОХА В НАКЛОННОЙ КАМЕРЕ КОМБАЙНА

В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин
ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
с. Кокино, Брянская область, Российская Федерация

Выполненные на макете наклонной камеры зерноуборочного комбайна экспериментальные исследования показали, что возможно осуществить предварительную сепарацию очесанного зернового вороха, исключив таким образом попадание большей части свободного зерна в молотилку. Выгода от такого радикального изменения технологической схемы комбайна заключается как в снижении энергоемкости процесса, так и в уменьшении степени дробления зерна.

По результатам лабораторных исследований в конструкцию наклонной камеры очесывающего адаптера типа «ОЗОН» производства ПАО «Пензмаш» были внесены соответствующие конструктивные изменения. Она была снабжена решетчатым днищем, под которым смонтированы два наклонных шнека для подачи прошедшего сквозь отверстия зерна и половы непосредственно в систему очистки комбайна [1]. Экспериментальный очесывающий адаптер агрегатировался с комбайном Нива-Эффект.

Целью полевых испытаний экспериментального оборудования в 2021 году было получение объективных данных об основных параметрах процесса. В частности, необходимо было убедиться в эффективности сепарации вороха, а также оценить влияние изменений в технологическом процессе на степень дробления зерна.

Эксперимент был организован следующим образом. После демонтажа с днища наклонной камеры отводящих зерно шнеков на их место был закреплен мягкий контейнер большой емкости. Таким образом, содержащиеся в очесанном ворохе недомолоченные колосья, а также соломины и часть свободных зерен должны были поступать в молотилку, тогда как большая часть свободного зерна и часть половы, проходя сквозь отверстия решетчатого днища, накапливались в расположенном под ним мягком контейнере. В результате появилась возможность отдельно фиксировать выделенное на решетчатом днище свободное зерно, не попадающее под воздействие бичей барабана (поступившее в контейнер) и вымолоченное традиционным способом зерно из-под барабана, которое накапливалось в бункере комбайна. Испытания проводили на опытном поле Брянского ГАУ на озимой пшенице сорта Московская 56 при урожайности 3 т/га, средней высоте растений 0,756 метра и степени их полеглости 11,21%.

После проведения опыта были взвешены зерно, поступившее в бункер и ворох, накопленный в контейнере, а также определен их фракционный состав (таблица 1).

Таблица 1 – основные результаты испытания модернизированного очесывающего адаптера

Оцениваемые параметры	значение
1. Проход зерна в контейнер (с учетом доли свободного зерна в очесанном ворохе), %	90
2. Дробленного зерна в контейнере, %	0,5
3. Дробленного зерна в бункере, %	5,19
4. Суммарное дробление зерна в опыте (бункер + контейнер), %	1,75
4. Потери зерна за комбайном, %	1
5. Недомолот, %	1
6. Фракционный состав вороха в контейнере, %:	
• свободное зерно	76
• полова	23,3
• колоски	0,2
• солома	0,5

Выводы:

1. Подтверждена перспективность решетчатого днища наклонной камеры в качестве сепарирующего устройства для очесанного зернового вороха. Отсутствие стопроцентного результата обусловлено закрытостью контейнера, нарушавшей отвод полова вследствие блокирования воздушного потока.

2. В результате изъятия свободного зерна из вороха, поступающего в молотилку, степень его дробления уменьшилась в 10 раз.

3. Для улучшения процесса сепарации очесанного вороха целесообразно сетчатые поверхности кожуха очесывателя заменить инерционным сепаратором полова жалюзийного типа по патенту РФ № 2566017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2577892, Российская Федерация. Наклонная камера зерноуборочного комбайна. / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин; опубл. 20.03.2016, бюл. № 8; заявка №2014145875/13 от 14.11.2014.

УДК 631.354.028

КОПИРУЮЩИЙ СТЕБЛЕПОДЪЕМНИК ЖАТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

К.З. Кухмазов, Е.В. Петрова

ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет,
г. Пенза, Российская Федерация

С целью снижения потерь зерна при уборке полеглых хлебов предлагается копирующий стеблеподъемник комбайновой жатки, состоящий из передней 1 (рис. 1) и задней 2 частей основания, соединенных между собой шарниром 3, подъемного пера 4, выполненного из V-образного профиля переменного сечения и приваренного к передней 1 части основания вершиной профиля вверх, и фиксатора 5, изготовленного из полосовой пружинной стали, причем передний носок фиксатора 5 при помощи клепок 6 крепится к передней 1 части основания, а задний – к задней 2 части основания.

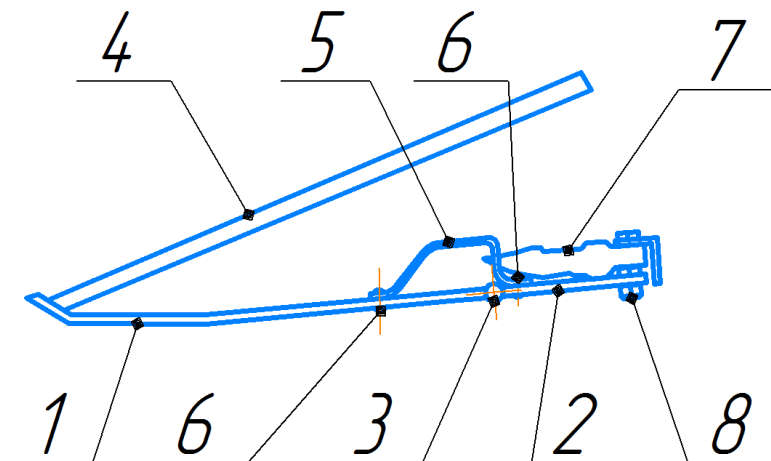


Рис. 1 - Копирующий стеблеподъемник комбайновой жатки:

1 – передняя часть основания; 2 – задняя часть основания;
3 – шарнир; 4 – подъемное перо; 5 – фиксатор; 6 – клепки; 7 – носок пальца;
8 – болтовое соединение

Фиксатор 5, изогнут так, что совместно с передней 1 и задней 2 частями основания образуется замкнутая треугольная фигура, у которой передняя стенка расположена под углом не более 45° относительно поверхности поля в рабочем положении стеблеподъемника, а задняя стенка – под прямым углом к задней 2 части основания. В задней стенке фиксатора 5 имеется отверстие, в которое входит заостренный носок пальца 7 режущего аппарата. Задняя 2 часть основания стеблеподъемника болтовым соединением 8, крепится к пальцевому брусу режущего аппарата жатки.

Стеблеподъемник работает следующим образом. При движении стеблеподъемник постоянно и безотрывно от почвы копирует рельеф поля передней 1 частью основания, подъемное перо 4 подхватывает полеглые стебли и плавно подводит их к режущему аппарату. При набегании стеблеподъемника на неровности поля (комки, кочки, муравейники) передняя 1 часть основания поднимается, копируя их за счет шарнирного соединения с задней 2 частью основания, при этом фиксатор 5 выполняет функцию пружины. После преодоления неровности стеблеподъемник возвращается в исходное положение (положительное решение по заявке № 2021112501/10).

Оптимальные значения конструктивных параметров и режима работы копирующего стеблеподъемника определены лабораторными исследованиями, проведенными с применением методики планирования многофакторного эксперимента на лабораторной установке, состоящей из рамы 1 (рис. 2), на которой установлены подающий ленточный транспортёр 2, режущий аппарат 3 и копирующий стеблеподъемник 4.

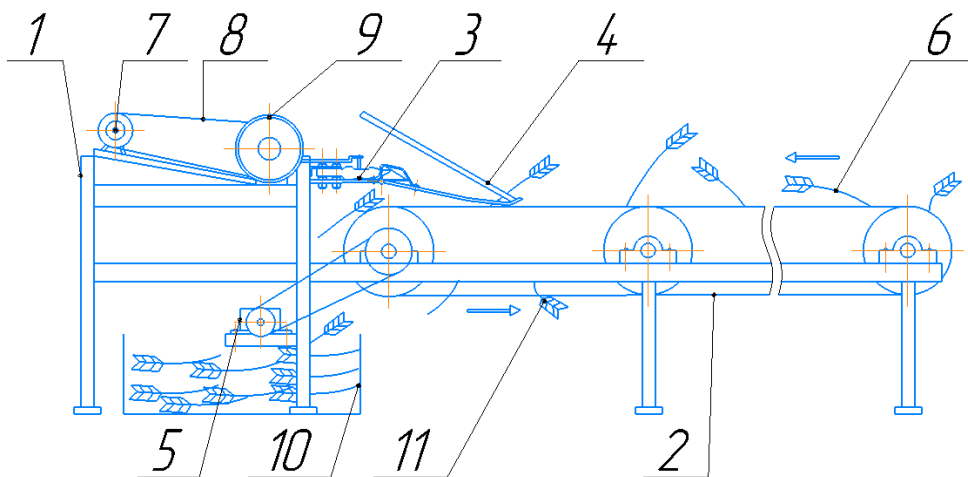


Рис. 2 - Лабораторная установка: 1 – рама; 2 – ленточный транспортёр; 3 – режущий аппарат; 4 – копирующий стеблеподъемник; 5 – мотор-редуктор; 6 – стебли зерновой культуры; 7 – электродвигатель; 8 – клиноременная передача; 9 – механизм качающейся шайбы; 10 – ящик-сборник; 11 – срезанные стебли.

Подающий ленточный транспортёр 2 приводится в движение от мотор-редуктора 5 через цепную передачу. Скорость подающего ленточного транспортёра 2 регулируется с помощью преобразователя частоты DELTA VFD-B. К ленте транспортёра 2 крепятся стебли 6 зерновой культуры с заданной полеглостью. По высоте режущий аппарат 3 установлен в соответствии с требованиями по уборке полеглых хлебов и приводится в движение с помощью электродвигателя 7, клиноременной передачи 8 и механиз-

ма качающейся шайбы 9. Для сбора срезанных стеблей под режущим аппаратом расположен ящик-сборник.10.

Методика проведения опытов следующая. Предварительно на ленте подающего транспортёра 2 закрепляем стебли 6 с заданной полеглостью, а на раме устанавливаем испытуемые копирующие стеблеподъемники.4. Подбираем необходимую скорость подающего ленточного транспортёра 2. Последовательно включаем привод режущего аппарата 3 и подающего транспортёра 2. При движении ленты транспортёра 2 полеглые стебли копирующими стеблеподъемниками 4 поднимаются и подаются в зону работы режущего аппарата 3. Срезанные стебли падают в ящик-сборник 10, а не срезанные стебли 11 остаются на ленте транспортёра 2.

В качестве критерия оптимизации приняли величину потерь (G , %) зерновых культур. Потерянными считаются несрезанные стебли.

$$G = \frac{n_i - n_{cpi}}{n_i} \cdot 10^2, \quad (1)$$

где n_i – количество закрепленных стеблей до эксперимента, шт;

n_{cpi} – количество срезанных стеблей после эксперимента, шт.

Руководствуясь конкретными задачами исследований и на основании априорной информации, были выделены три наиболее значимые факторы и выбраны интервалы и уровни их варьирования (таблица 1).

Таблица 1 - Факторы, уровни и интервал их варьирования.

Факторы	Условное обозначение	Кодированное обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
			-1	0	+1	
Рабочая скорость, м/с	v	x_1	1,2	1,8	2,4	0,6
Толщина пластины фиксатора (жесткость), мм	h	x_2	2,5	3	3,5	0,5
Длина основания стеблеподъемника, мм	l	x_3	360	410	460	50

Для этих факторов была составлена матрица ортогонального композиционного плана второго порядка.

После обработки результатов трехфакторного эксперимента с помощью программ «Microsoft Excel» и «Statistica» на ПК получили адекват-

ную математическую модель второго порядка, описывающую зависимость $G(v, h, l)$ в закодированном виде:

$$Y = 1,078 + 0,301 \cdot x_1 + 0,084 \cdot x_2 - 0,234 \cdot x_3 - 0,144 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,094 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,505 \cdot x_1^2 + 0,440 \cdot x_2^2 + 0,350 \cdot x_3^2, \% \quad (2)$$

Изучение поверхности отклика проводили с помощью двухмерных сечений (рис. 3, рис. 4, рис. 5).

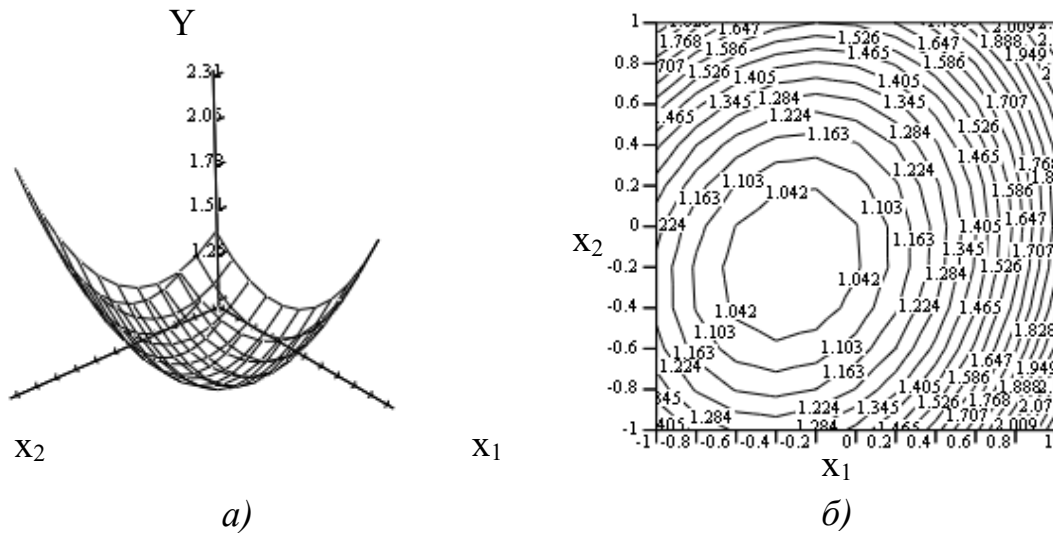


Рис. 3 - Поверхность отклика потерь зерна за жаткой и его двухмерное сечение от рабочей скорости x_1 и толщины пластины фиксатора (жесткости) x_2 при оптимальном значении длины основания стеблеподъемника $x_3 = 0,359$

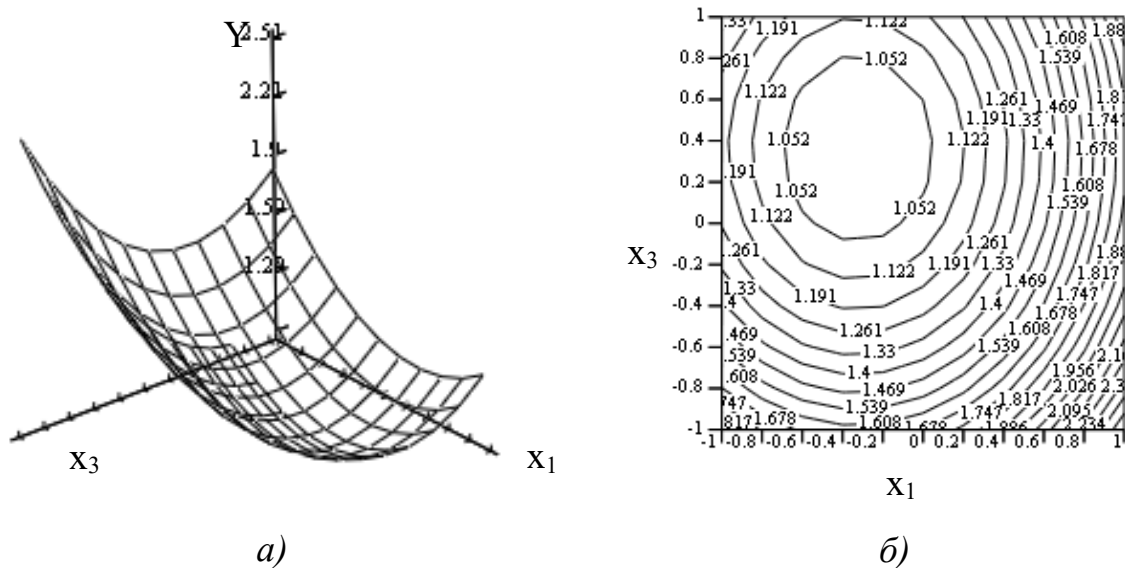


Рис. 4 - Поверхность отклика потерь зерна за жаткой и его двухмерное сечение от рабочей скорости x_1 и длины основания стеблеподъемника x_3 при оптимальном значении толщины пластины фиксатора (жесткости) $x_2 = -0,187$

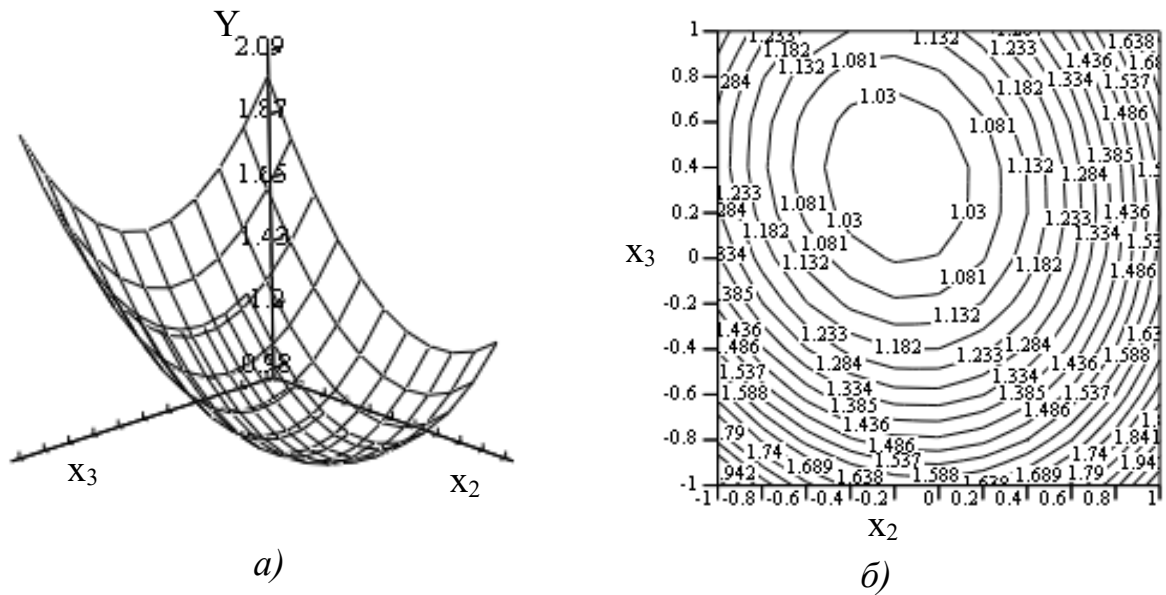


Рис. 5 - Поверхность отклика потерь зерна за жаткой и его двухмерное сечение толщины пластины фиксатора (жесткости) x_2 и длины основания стеблеподъемника x_3 при оптимальном значении рабочей скорости $x_1 = -0,325$

Как показывают результаты исследований при длине основания копирующего стеблеподъемника $l = 405...450$ мм, толщине пластины фиксатора $h = 2,8...3,1$ мм и рабочей скорости комбайна при уборке полеглых хлебов $v_p = 1,5...1,9$ м/с потери зерна не превышают 1,0 %, что соответствует агротехническим требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипкин, А.Н. Стеблеподъемник для уборки полеглых хлебов / А.Н. Антипкин, К.З. Кухмазов // Сельский механизатор. – 2011. № 6. – с. 21.
2. Кухмазов, К.З. Теоретическое обоснование параметров копирующего стеблеподъемника комбайновой жатки / К.З. Кухмазов, А.В. Шукков, Е.В. Петрова // «Нива-Поволжья» № 1(58) – Пенза: РИО ПГАУ, 2021. – С. 120-126.

УДК 631.354.2

ТРАНСПОРТЕР НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ КОМБАЙНОВОЙ ЖАТКИ

К.З. Кухмазов, С.Е. Губский
ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет,
г. Пенза, Российская Федерация

Технологический процесс жатвенных частей современных зерноуборочных комбайнов протекает не всегда стабильно, что вызывает неравномерность подачи стебельной массы в молотильный аппарат, который в свою очередь приводит к частным нарушениям технологического процесса (забивание, заклинивание рабочих органов), снижению производительности, ухудшению качественных показателей работы комбайна.

Важным узлом жатвенной части, обеспечивающим растаскиванием стебельной массы и равномерную ее подачу в молотильный аппарат является транспортер наклонной камеры. Поэтому для повышения степени разравнивания хлебной массы предложена усовершенствованная конструкция цепочно-планчатого транспортера наклонной камеры, состоящая из четырех параллельных втулочно-роликовых цепей 1 (рис. 1) с шагом 38,4 мм, к которым с помощью клепок соединены крепежные пластины 3. К пластинам 3 с помощью болтовых соединений 4, 5 в шахматном порядке закреплены штампованные металлические планки 2. Длина планок 540 мм. Расстояние между двумя средними цепями составляет 443 мм, а между крайней и ближней к ней средней цепью – 386 мм. Вылет внешнего конца штампованной металлической планки относительно середины крайней цепи составляет 105 мм. На внешних концах двух штампованных планок каждого крайнего ряда закреплены штифты 6, предназначенные для исключения случаев забивания боковин наклонного корпуса стебельной массой.

Общая ширина полотна цепочно-планчатого транспортера – 1420 мм, а длина – 3379,2 мм. (88 звеньев).

Штампованные планки 4 закреплены к втулочно-роликовым цепям в три ряда в шахматном порядке. Расстояние между планками одного ряда (шаг) составляет 307,2 мм, а между соседними планками среднего и крайнего рядов – 153,6 мм. Такое расположение планок позволяет значительно улучшить равномерность подачи стебельной массы в молотильный аппарат комбайна.

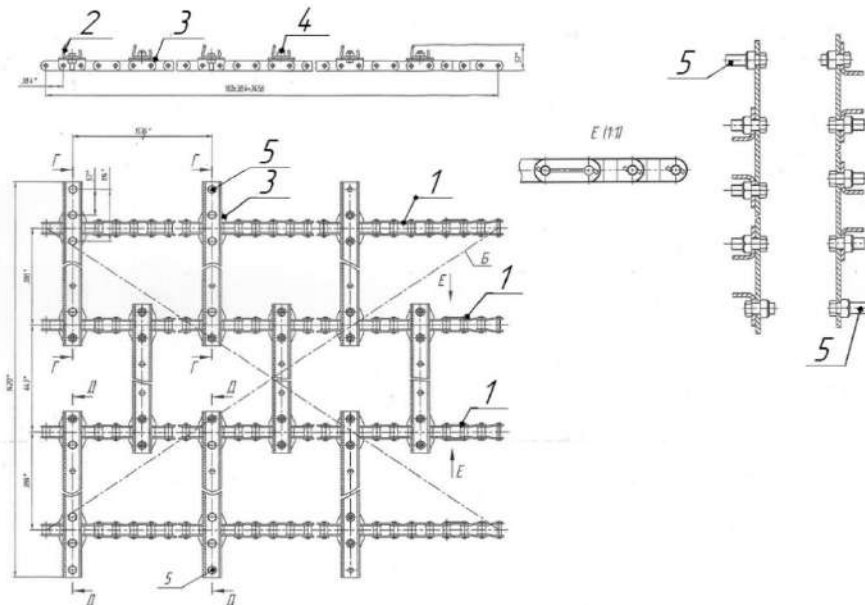


Рис. 1 - Цепочно-планчатый транспортер: 1 – цепь транспортера; 2 – штампованная планка транспортера; 3 – пластина крепежная; 4 – гайка шестигранная; 5 – болт с шестигранной головкой

Оптимальные параметры и режим работы транспортера наклонной камеры жатки были установлены лабораторными исследованиями, проведенными с применением теории планирования многофакторного эксперимента на лабораторной установке, состоящей из питающего транспортера 1 (рис. 2) с механизмом привода 2, установленного на раме 3, шнека 4 с пальчиковым механизмом, цепочно-планчатого транспортера 5 с рамой 6 и механизмом привода 7, приемного транспортера 8 с механизмом привода 9, ящика-сборника 10.

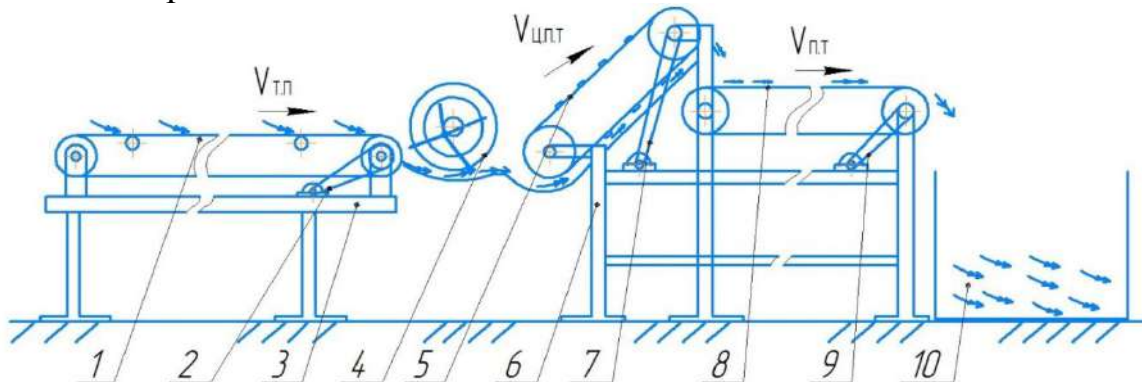


Рис. 2 - Лабораторная установка: 1 – питающий транспортер; 2 – механизм привода питающего транспортера; 3 – рама питающего транспортера; 4 – шнек с пальчиковым механизмом; 5 – цепочно-планчатый транспортер; 6 – рама наклонной камеры; 7 – механизм привода; 8 – приемный транспортер; 9 – механизм привода приемного транспортера; 10 – ящик-сборник

Наиболее существенные факторы, оказывающие влияние на равномерность подачи стебельной массы в молотильный аппарат зерноуборочного комбайна и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Факторы и уровни их варьирования

Регулируемые факторы: натуральные (кодированные)	Уровни варьирования		
	-1	0	+1
X ₁ – скорость цепочно-планчатого транспортера (v _{цпт})	2	3,5	5
X ₂ – расстояние между планками (шаг) (t, мм)	153,6	307,2	460,8
X ₃ – скорость подающего транспортера (v _{т.п.} , м/с)	1,1	1,8	2,5

В качестве критерия оптимизации принята степень равномерности распределения стебельной массы. При ее определении на питающем транспортере 1 (рис. 2) формировали равномерный валок длиной 1 м и шириной 1,41 м. Масса валка составляла 3,3 кг (в соответствии с результатами ранее проведенных исследований). Валок стебельной массы питающим транспортером 1 и пальчиковым механизмом шнека 4 подавался в наклонную камеру, далее цепочно-планчатый транспортер направлял валок на приемный транспортер 8, где производили замеры. Валок стебельной массы делили на пять равных порций по ширине приемного транспортера (ширина каждой порции 0,28 м) и взвешивали. Подсчет средних значений отклонений масс позволял оценивать равномерность распределения стебельной массы по формуле:

$$v = 100 - \frac{m_{\max} - m_{\min}}{m_{\max}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где m_{\max} – максимальная масса порции, кг;

m_{\min} – минимальная масса порции, кг.

После обработки результатов трехфакторного эксперимента в программе «Statistica-6,0» получили адекватную математическую модель второго порядка, описывающую зависимость равномерности распределения растительной массы по ширине приемного транспортера (ширине наклонной камеры) от скорости цепочно-планчатого транспортера $v_{\text{ц.п.т.}}$, шага планок цепочно-планчатого транспортера $t_{\text{п}}$ и скорости подачи (скорость подающего транспортера $v_{\text{т.п.}}$) в закодированном виде.

$$v = 98,68444 - 2,44000 \cdot x_1 + 1,52000 \cdot x_2 + 0,62000 \cdot x_3 - 1 \cdot x_1^2 - 1,05556 \cdot x_2^2 - 1,65556 \cdot x_3^2 \quad 2)$$

Для описания поверхности отклика была составлена система дифференциальных уравнений, которые представляют из себя частные производные уравнения 2 по каждому из факторов. Решая дифференциальные уравнения находили закодированные значения координат центра поверхности отклика и строили двухмерные сечения, характеризующие зависимость равномерности распределения стебельной массы по ширине от значимых факторов (рис. 3, 4 и 5).

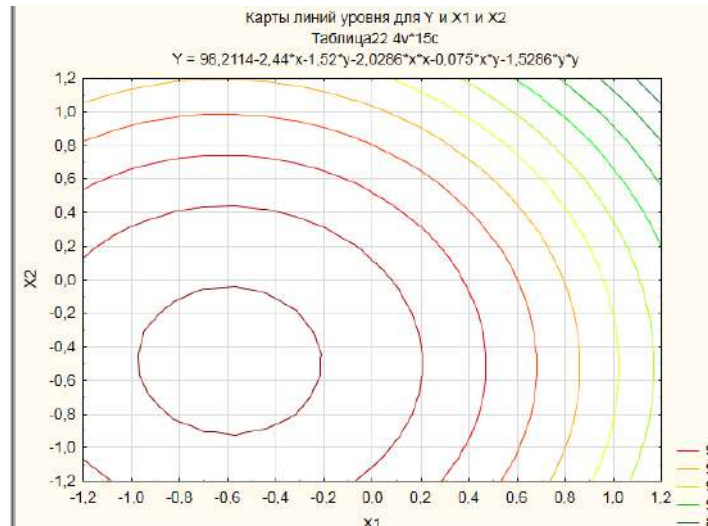


Рис. 3 - Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость равномерности распределения стебельной массы по ширине от скорости цепочно-пластинчатого транспортера $V_{ц.п.тр.}$ м/с, и расстояния между штампованными планками t , мм

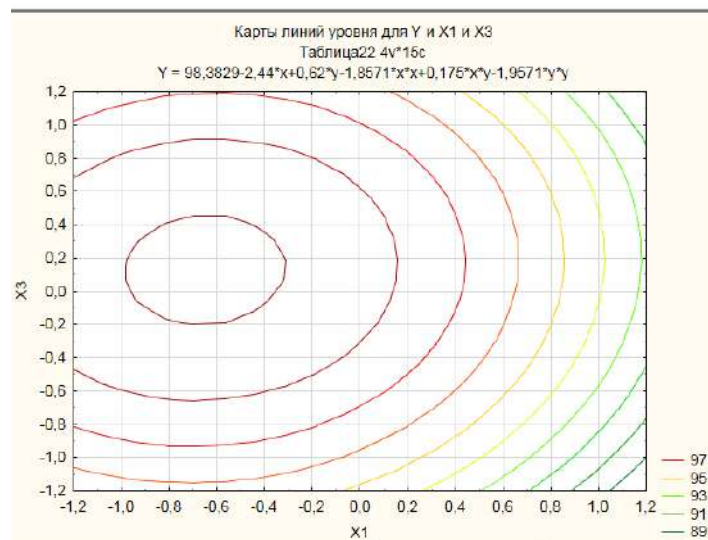


Рис. 4 - Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость равномерности распределения стебельной массы по ширине от скорости цепочно-пластинчатого транспортера $V_{ц.п.тр.}$ м/с, и скорости подающего транспортера $V_{п.тр.}$, м/с

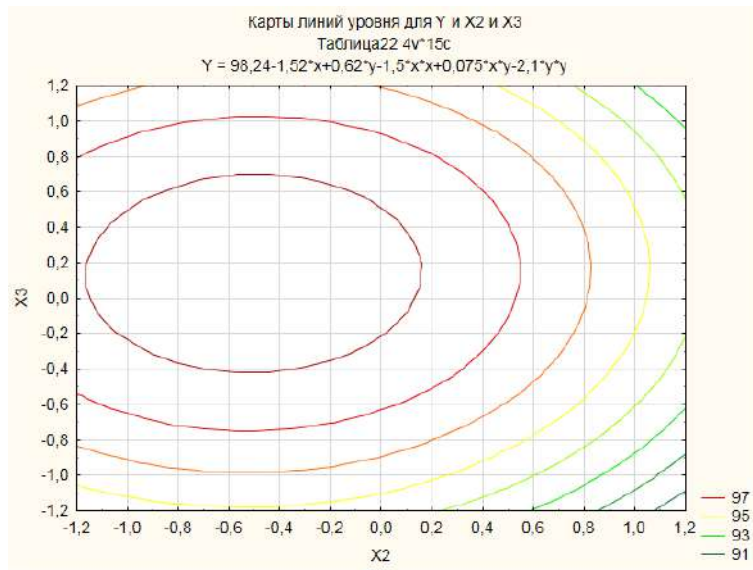


Рис. 5 - Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость равномерности распределения стебельной массы по ширине от расстояния между штампованными планками t , мм и скорости подающего транспортера $V_{п.тр.}$, м/с

Анализируя графические изображения двумерных сечений, можно сделать вывод о том, что оптимальными значениями исследуемых факторов являются: скорость цепочно-планчатого транспортера $v_{ц.п.тр.} = 3,5$ м/с; шаг штампованных планок $t_{п.} = 307,2$ мм; рабочая скорость комбайна (скорость подающего транспортера) $v_{п.тр.} = 2,0$ м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байзакова, Ж.С. Параметры устройства для нормализации хлебной массы в наклонной камере комбайна перед обмолотом сухих короткостебельных зерновых культур: Автореф. дисс. канд.техн. наук. – Новосибирск, 2013.
2. Губский, С.Е. Стенд для испытания транспортеров наклонной камеры комбайновой жатки / С.Е. Губский, М.А. Алдербегов // Организационно-методические аспекты повышения качества образовательной деятельности и подготовки обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Пензенский ГАУ. - Пенза: РИО ПГАУ, 2019. - с. 63-67.
3. Кухмазов, К.З. Совершенствование конструкции транспортера наклонной камеры жатки зерноуборочного комбайна / К.З. Кухмазов, С.Е. Губский, М.А. Алдербегов // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Том II. Пензенский ГАУ. - Пенза: РИО ПГАУ, 2019. - с. 37-39.

УДК 669.714

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЧНОГО ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА

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

В настоящее время при получении литого режущего инструмента используется литье в формы песчаные и керамические, литье по выплавляемым моделям, электрошлаковое кокильное литье. Выбор того или иного технологического процесса изготовления отливок инструмента определяется главным образом стремлением к получению заготовок с минимальными припусками под последующую механическую обработку, габаритными размерами инструмента и экономичностью процесса получения форм.

Для технологического процесса получения отливок перспективно использование при литье в песчаные формы с облицовочным формовочным слоем, состоящего из 90-92% электрокорунда или плавленого кварца и 8-10% жидкого стекла. В качестве наполнительного состава в этом случае можно применять смесь, состоящую из 95% кварцевого песка и 5% жидкого стекла. Такая технология изготовления форм позволяет улучшить качество литой поверхности. При таком способе изготовления после извлечения модели форму продувают углекислым газом и сушат при температуре 220-240°C не менее 2 ч и затем заливают жидким металлом.

Литье по выплавляемым моделям – способ получения отливок, при котором в пресс-формах изготавливают модели деталей и литниковопитающей системы, для чего используют воскообразные легкоплавкие материалы, составы на основе смол и пластмасс, сплавы солей. Модели соединяют в блоки (спаиванием, склеиванием, механическим скреплением) и наносят на них слои суспензии из связующего раствора и пылевидного огнеупорного материала. Слои суспензии для их упрочнения и лучшей взаимной связи обсыплют песком и сушат. Число наносимых слоев различно - от 3-4 до 20 и более, в зависимости от металлоемкости и назначения формы. Из полученной многослойной неразъемной оболочковой формы удаляют выплавлением или выжиганием модельный состав. Освобожденные от модельного состава оболочки отдельно или в опорном наполнителе прокаливают для удаления органических остатков модельных и связующих материалов, после чего горячие или охлажденные формы заливают расплавом.

С помощью данного литья получают отливки, максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, а в ряде случаев не

нуждающиеся в обработке резанием. В результате значительно снижается трудоемкость и стоимость изготовления изделий сокращаются расход металла и инструмента, потребность в производственных площадях, станочном оборудовании и приспособлениях, уменьшаются энергоемкость производства, а также потребность в рабочих-станочниках высокой квалификации.

В настоящее время и за рубежом и у нас в стране известен способ литья в керамические формы по постоянным моделям (метод Шоу). В Шоу-процессе, как и в процессе изготовления форм по выплавляемым моделям, используют этилсиликатную суспензию. Однако Шоу-процесс имеет ряд отличительных особенностей: а) применены разъемные формы, изготавливаемые по деревянным или металлическим моделям; б) вводятся в суспензию добавки гелеобразователя, резко ускоряющие процесс твердения; в) формы газопроницаемы и с повышенной термостойкостью вследствие наличия сетки трещин, образующихся при выгорании спирта после отверждения суспензии.

Получение объемных форм по Шоу-процессу состоит из следующих операций: приготовление суспензий и заливка ее в оснастку (в опоку с установленной в ней моделью или в стержневой ящик); отверждение смеси и удаление модели из формы или стержня из ящика; поджигание выделяющихся паров спирта и формирование сетки трещин при выгорании спирта; термообработка в печи при температуре 850-900°C.

В данном случае заготовки служат, как правило, для собственных, внутризаводских нужд предприятия – изготовителя отливок, а в качестве исходного сырья используют изношенный или отбракованный инструмент и детали (оснастку). По традиционной производственной схеме они идут в скрап и переплавляются вместе с ломом черных металлов в открытых сталеплавильных печах. При этом дорогая легированная инструментальная практически обесценивается, так как при переплаве она смешивается со сталью других марок, многие легирующие элементы выгорают и металл приходится легировать заново. При переплаве в электрошлаковой тигельной печи химический состав переплавляемого материала практически не изменяется. После заливки металла в кокиль получают заготовку, которую после некоторой обработки резанием используют по назначению. После выхода инструмента или деталей из строя цикл повторяется.

Внедрение описанного замкнутого цикла изготовления инструмента и деталей, оснастки из собственных отходов обеспечивает существенное повышение маневренности инструментального производства и ремонтных служб, исключает зависимость их от поставок металла со стороны, снижает транспортные расходы и пр. В этом случае себестоимость инструмента существенно (в 1,5 – 2 раза) ниже, чем кованого, при эквивалентной или даже более высокой в случае электрошлакового кокильного литья стойкости.

УДК 669.714

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ВАКУУМНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКОЙ

Л.П. Долгий, А.Г. Слуцкий
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

НТП в различных областях техники резко повышает требования к качеству потребляемой металлопродукции, что вызывает необходимость разработки процессов и оборудования, обеспечивающих производство особо чистых металлических материалов, свободных от вредных примесей, неметаллических включений и обладающих заданными механическими свойствами. Эти процессы получили название специальной металлургии. К ним можно отнести в том числе плавку металлов и сплавов в вакуумных индукционных печах (ВИП).

Общим преимуществом плавки в вакуумных печах является пониженное содержание газов и неметаллических включений (НВ) в полученном металле. Под вакуумом понимают любое состояние газовой среды с давлением ниже атмосферного. В вакуумных индукционных печах используют обычно средний вакуум от $1 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст.

Известно, что при плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, а именно: интенсивно выделяются газы из металла, заметно испаряются как основные компоненты сплава так и их примеси с высокой упругостью пара. При этом становится возможным глубокое раскисление металла углеродом, восстанавливаются и удаляются неметаллические включения, идут активные процессы между металлом и футеровкой.

Основными физико-химическими процессами, протекающими в вакууме являются

1. Дегазация металла от водорода и азота. Например, для получения содержания водорода в металле $1 \text{ см}^3/100 \text{ г.}$ достаточно, чтобы остаточное давление при 1600°C составляло около 1 мм.рт.ст. Азот имеет более низкий коэффициент диффузии, чем водород, в результате чего он удаляется при вакуумной плавке значительно труднее.

2. Испарение компонентов жидкого металла, которое зависит от упругости пара и скорости испарения при данных значениях температуры и от давления газовой фазы над расплавом. Наиболее высокой упругостью пара в условиях плавки в вакууме обладают такие основные компоненты как Mn и в меньшей степени Cr и Si. Из примесей известных металлов наиболее благоприятные условия для удаления испарением имеют Sn и Cu. Заметные потери хрома путем испарения наблюдаются при повышенном его содержании. Молибден и вольфрам не испаряется в жидкой стали. Потери этих элементов могут иметь место при повышенном содер-

жании в стали кислорода, при этом окислы Mo и W весьма летучи. Такие элементы как титан и алюминий также испаряются при вакуумной плавке, но весьма легко окисляются и всплывают на поверхность ванны.

3. Ракисление металла. Наиболее благоприятные условия для ракисления металла в вакууме создаются в том случае, когда продукты ракисления образуются в виде газа, например при ракислении углеродом, которые непрерывно удаляются из объема печи.

Глубокое ракисление стали может быть выполнено дополнительным введением Al и Ce. При ракислении Al количество кислорода снижается до 0,002-0,003% для Fe-C и до 0,004-0,005% для Fe-Cr сплавов. Еще меньше содержание при ракислении Al и Ce.

4. Восстановление и удаление неметаллических включений. При вакуумной плавке уменьшается количество крупных НМВ (неметаллических включений). Для возможности восстановления тугоплавких окислов таких элементов как Ti, Al, В, Се плавку ведут при повышенной температуре. Уменьшение количества НМВ объясняется не только более успешным восстановлением и более интенсивным всплыванием их вместе с пузырьками газа CO, но и самостоятельно в результате снижения вязкости металла и его перемешиванием.

5. Диссоциация компонентов огнеупорной футеровки и ее взаимодействие с жидким металлом. При вакуумной плавке металла происходит разрушение футеровки в результате механического воздействия жидкого металла, повышенной диссоциации в вакууме некоторых компонентов, а также восстановление отдельных компонентов футеровки при химическом взаимодействии с элементами, находящимися в составе металла. К увеличению потерь приводит повышенное содержание SiO₂ в футеровочных материалах. Поэтому из-за недостаточной стойкости SiO₂ в условиях вакуума кислая футеровка в таких плавильных печах не применяется. Наиболее часто в индукционных вакуумных печах применяют магнезитовую футеровку.

Таким образом, преимуществом плавки в индукционных вакуумных печах является глубокая дегазация металла, возможность удаления примесей ряда цветных металлов и возможность выплавки сталей и высокотемпературных сплавов практически любого состава.

Недостатком является низкая стойкость футеровки, обычно составляющая несколько десятков плавок. Несмотря на то, что она выполняется из чистых электроплавильных огнеупорных материалов (MgO, Al₂O₃, ZrO₂) или их смеси.

Наиболее существенным недостатком этих печей это взаимодействие металла с футеровкой печи, большие размеры и высокую стоимость установки, худшие технико-экономические показатели по сравнению с обычными индукционными печами.

УДК 621.225.7

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОСИСТЕМ С ОБЪЕМНОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

Е.В. Хазеев, Д.Л. Стасенко, А.А. Гинзбург
УО «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Гидросистемы с объемной адаптацией к нагрузке впервые появились в конце 60-х годов прошлого века. В настоящее время данный вид гидросистем широко применяется в области машиностроения, в особенности в мобильных гидравлических машинах в которых обеспечивают хорошую энергоэффективность, низкую потерю на дросселировании, и низкую температуру рабочей жидкости в системе [1].

Цель работы выполнить анализ современных гидросистем с объемной адаптацией к нагрузке.

Основная часть. Объектом исследования являются гидросистемы, работающие по принципу объемной адаптации к нагрузке, которые могут быть разнообразными по конструкционному исполнению (рис.1.). Основными элементами таких гидросистем являются регулируемый насос, регулятор и распределитель, при этом перепад давления в системе возникает за счет разности давления на регуляторе насоса и давления на самом нагруженном потребителе. Нечувствительность к давлению делают данные гидросистемы простыми в эксплуатации с точки зрения контроля скорости и положения низкоинерционных нагрузок.

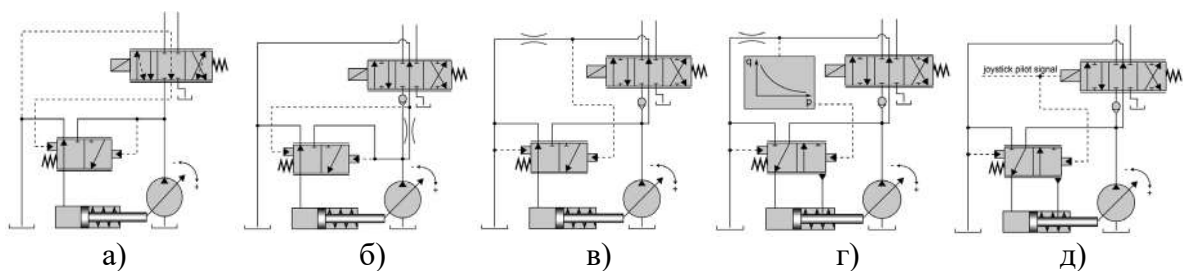


Рис.1 - Принципиальные схемы гидросистем с объемной адаптацией к нагрузке

В гидросистемах, выполненных по схеме (рис.1, а), за счет непрерывной адаптации к нагрузке, давление на регуляторе должно быть выше давления на самом нагруженном потребителе. Основным недостатком таких систем является то, что при высоких инерционных нагрузках работа данных гидросистем становится нестабильной и рывковой из-за низкого демпфирования.

Для устранения недостатков в гидросистемах выполненных по схеме (рис. 1, а), характеризующих низким демпфированием и отсутствием контроля давления применяются гидросистемы, использующие дроссель в напорной линии (рис. 1, б), в результате чего данный недостаток устраняется, но КПД в таких системах будет ниже, чем в гидросистемах выполненных по схеме (рис. 1, а), из-за потери мощности в системе с открытым контуром. Преимуществом гидросистем, выполненных по типу (рис. 1, б) является стабильная работа при высоких инерционных нагрузках. [2].

Применение гидросистем, выполненных по типу (рис. 1, в) в которых дозирующее отверстие расположено в линии слива канала открытого контура регулятора, на выходе из регулятора насоса возникает величина перепада давления за счет разности давлений насоса и самого нагруженного потребителя. Данная особенность позволяет поддерживать постоянный перепускной поток в канале с открытым контуром. Отличие гидросистемы сводится к тому, что регулятор насоса работает в обратном направлении и при повышении давления, объем насоса уменьшается.

В гидросистемах, выполненных по схеме (рис. 1, г) регулирование давления в системе обеспечивается за счет настройки рабочего объема насоса и дополнительно установленного преобразователя, который изменяет закон регулирования параметров работы внутри системы, что обеспечивает более стабильную и плавную работу потребителей. Так же особенностью данной гидросистемы является то, что поток рабочей жидкости подается в обе полости гидроцилиндра обеспечивая тем самым более высокую величину чувствительности. Преимущество таких систем заключается в том, что поток проходящий через напорную линию уменьшается с увеличением величины расхода насоса [2].

В гидросистемах, выполненных по схеме (рис 1, д) закон регулирования задается из вне при помощи программируемого контроллера, что в свою очередь дает возможность управления гидросистемой с помощью преобразования различных законов регулирования. Данный вид гидросистем характеризуется улучшенными характеристиками чувствительности, быстродействия и отзывчивости гидросистемы по сравнению с гидросистемами, выполненными по схеме (рис 1, д).

Заключение. Проведенный анализ гидросистем с объемной адаптацией к нагрузке показал, что системы в которых регулирование параметров работы задается по контролируемому закону регулирования через внешний экран блока контроллера, дает более улучшенные характеристики работы гидросистемы в реальных условиях. Соответственно данный вид гидросистем является перспективным при проектировании мобильных машин и дальнейшие исследования работы данных гидросистем является приоритетным направлением в современном машиностроении.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Andersson, B.R. (1980). “A Survey of Load-Sensing Systems”. In: *The BFPR Journal* 13, pp. 103–115.
- 2) Pedersen H.C., Andersen T.O., Hansen M.R. (2004). “Load Sensing Systems – A Review of the Research Contributions Throughout the last Decades”. In: Proceedings 4th IFK Workshop, pp. 125–139.

УДК 621.791.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИПОЕВ ИЗ ОЛОВЯННО-СВИНЦОВОЙ ИЗГАРИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Г.В. Довнар, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, И.Г. Раков
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Совершенствование конструкций сельскохозяйственной техники, использование средств автоматики и электроники привело к широкому использованию пайки при монтаже электрических схем. Среди многочисленных факторов, определяющих свойства паяных соединений, важную роль играет химический состав припоев и содержание в них примесей. Информация о допустимом содержании примесей в припоях имеет особую значимость при получении их из отходов производства. Это важно при переработке в припой оловянно-свинцовой изгари с целью получения оловянно-свинцовых припоев эвтектического состава.

Применение оловянно-свинцовых припоев с низким содержанием примесей позволяет улучшить внешний вид паяных соединений, получить их большее число из одного килограмма припоя за счет уменьшения толщины паяного шва и количества дефектных соединений. Предварительные плавки оловянно-свинцовой изгари показали, что основными примесями в полученном припое являются медь, железо, сурьма и никель.

Медь попадает в ванны погружения при обслуживании и пайке медных и меднёных деталей. Она имеет относительно высокую скорость растворения в расплавленном оловянно-свинцовом припое и предел ее растворимости при температуре 250 °С составляет 0,4 %. Медь образует с оловом два интерметаллических соединения – Cu_2Sn_4 и Cu_6Sn , появление которых ухудшает реологические свойства жидкого расплава. Увеличение содержания меди в припое от 0,5 до 0,6 % приводит к росту вязкости расплава и снижению его растекания по поверхности паяемых деталей.

Присутствие железа в расплаве припоя в количестве 0,1 % приводит к увеличению зернистости и вязкости припоя, а так же к хрупкости паяных швов. Совместное присутствие примесей железа и серы способствует образованию соединения FeS_2 , не растворимого в припое. Поэтому содержание железа в расплаве припоя в соответствии с международными стандартами должно быть снижено не менее чем на порядок.

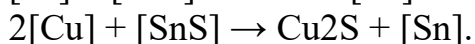
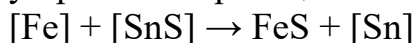
При первичной плавке изгари получен 50 % выход оловянно-свинцового сплава. По результатам термограмм охлаждения данного сплава установлено, что он соответствует ПОС40 с температурой

ликвидуса 236,6 °С и температурой солидус 180 °С. Спектральный анализ подтвердил содержание в сплаве 40,03 % Sn; 59,26 % Pb; 0,2 % Cu; 0,31 % Fe; 0,11 % Sb; 0,04 % Ag; 0,05 % Bi.

Переплав различных партий изгари показал, что содержание основных компонентов и примесей в составе получаемого сплава колеблется в следующих пределах: 40,03–62,0 % Sn; 39,0–59,26 % Pb; 0,05–0,87 % Cu; 0,1–0,31 % Fe; 0,03–0,11 % Sb; 0,02–0,04 % Ag; 0,01–0,05 % Bi. В отдельных партиях присутствует до 0,1 % Ni; 0,01 % As; 0,05 % Ca; 0,12 % Si. Это свидетельствует о смешивании изгари с оловосодержащими отходами других производств (припоями, типографскими и антифрикционными сплавами).

Одним из сдерживающих факторов более глубокой переработки изгари в качественные припои типа ПОС61 является загрязнение получаемого сплава медью (до 2 %), железом, никелем, сурьмой. Для его получения был опробирован способ очистки ПОС61М от примесей методом фильтрации. Известно, что фильтрация черного свинца при температурах 250–478 °С позволяет удалять железо на 95,9–99,3 % в зависимости от температуры фильтрации и исходного содержания железа в сплаве. Продукт первичной плавки изгари в виде слитка расплавляли в специальной установке, выдерживали при пониженных температурах, близких к линии ликвидус и вплоть до эвтектического превращения (180 °С), что позволяло выделиться кристаллам интерметаллидов из расплава и осесть на поверхности керамического фильтра. Полученный состав фильтрата по содержанию меди, железа и сурьмы соответствовал ПОС61. Вместе с тем, необходимо отметить низкую производительность процесса и сложность его реализации.

Возможно удалять железо и медь из черного олова с помощью серы. Растворимость SnS в олове возрастает с температурой и при 500 °С составляет около 1 %. Сродство железа и меди к сере больше, чем у олова, поэтому протекают реакции:



Твердые частицы Cu₂S и FeS всплывают на поверхность металла, а замешивание измельченного древесного угля ускоряет данный процесс.

Анализ зависимости изобарных потенциалов образования разных сульфидов от температуры показывает, что с помощью серы из олова можно удалить Mn, Zn, Cd, Ni, Cu, Fe и Pb, но нельзя удалить Sb, Bi, As. Кривые для Cu₂S и FeS пересекаются при температуре 450 °С. Поэтому при температурах ниже 500 °С железо удаляется раньше и полнее меди, а при более высоких температурах в первую очередь и с большей полнотой удаляется медь. Изобарный потенциал образования сульфидов свинца (PbS) приближается к аналогичному показателю FeS только при температурах ниже 50 °С, а с ростом температуры вероятность образования PbS снижается. Поэтому добавки серы можно использовать и для рафинирования оловянно-свинцового припоя при переработке изгари.

УДК 501.22:621.763

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УДАРОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ, ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

В.А. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время литые композитные материалы (ЛКМ) довольно широко используются для изделий различного назначения из-за более низкой стоимости и возможности изготовления деталей различной геометрии, практически без ограничений по размерам [1, 2]. При выборе состава композиционных материалов следует учитывать следующие общие положения: материал должен отвечать трем основным требованиям, таким как эксплуатационная надежность, технологичность и экономичность [3]. Однако из-за неоднородной гетерогенной природы таких материалов при их синтезе и обработке возникают определенные проблемы, приводящие к специфическим для этих материалов дефектам. Свойства композиционных материалов определяются как свойствами компонентов, так и их взаимодействием. Фундаментальным вопросом создания литых композиционных материалов является возможность управления процессами физического и химического взаимодействия на границе "матрица - армирующая фаза".

В работе проводились исследования ЛКМ на основе бронзы БрКМЦ 3-1 и чугуновых гранул для тяжело нагруженных узлов трения используемых, например, для замены подшипников скольжения в буксируемых прицепах. Ранее была установлена возможность разрушения гранул при выдержке за счет диффузии в них атомов из слоя матрицы. В результате появились внутренние напряжения, которые привели к разрушению гранул армирующей фазы и снижению физико-механических свойств композита [4]. Поэтому изучение взаимодействия между расплавом матрицы и упрочняющей фазой является важной задачей для получения композитов с заданными свойствами. В работе было изучение влияния времени синтеза на формирование переходной зоны на границе матричного сплава и гранул чугуна. Процесс синтеза ЛКМ проводили при температуре 1080°C. Сразу после завершения инфильтрации первые образцы были извлечены из печи и охлаждены в воде для фиксации микроструктуры. Последующие образцы отбирали с интервалом в 20 минут и также охлаждали в воде. Максимальное время экспозиции составляло 100 минут. Исследования проводились с использованием электронной микроскопии. Было выявлено, что структура образцов существенно отличается. Для более детального анали-

за были получены карты распределения элементов в зоне контакта, а также химического состава в различных точках матричного сплава и гранул.

Было выяснено что, основные легирующие элементы находятся в исходных компонентах композита и развития диффузионных процессов не наблюдается. Когда время экспозиции увеличивается до 100 минут, на картах отображаются результаты диффузии меди и кремния в гранулы. Расплав матрицы разрушает непрерывность переходной зоны, разделяя ее на островки. Анализ результатов, подтверждает наличие диффузии атомов меди и марганца вглубь гранулы, а также перераспределение кремния. Концентрация (по массе) меди в грануле на расстоянии 100 мкм от поверхности увеличилась на 24,5 %, а марганца - на 22,8 %. В то же время концентрация кремния снизилась на 73,5%. Рост атомного соотношения меди и марганца еще выше. Результаты химического анализа подтверждают наблюдаемые изменения, полученные с помощью электронной микроскопии.

Вывод. Проведенные исследования позволили оценить диффузию компонентов матричного сплава в гранулы упрочняющей фазы, что привело к снижению прочностных свойств композита за счет увеличения толщины переходной зоны и ее последующего разрушения. Установлено, что необходимо достаточно точно поддерживать температурные и временные параметры синтеза ЛКМ для увеличения физических, механических и эксплуатационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцева, Л.А. Жидкофазная технология изготовления композиционных материалов (Жидкофазные технологии получения композиционных материалов) / Л.А. Мальцева, В.А. Шаропова. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. - 120 с.
2. Теория и практика литых композиционных материалов (Теория и практика литых композиционных материалов): Тез. докл. Наука. Конф. - Владимир : Изд-во. V1SU, 2019. - 140 с. (на русском языке).
3. Картонова, Л.В. К проблеме выбора композиционных материалов для условий эксплуатации /Л.В. Картонова // Теория и практика литых композиционных материалов (Теория и практика литых композиционных материалов): Тез. докл. Наука. Конф. - Владимир: Изд-во. V1SU, 2019. - С. 104-107.
4. Калиниченко А.С., Кезик В.Я. Разработка литых макрогетерогенных композиционных материалов с фрагментацией армирующих элементов / А. С. Калиниченко, В.Я. Кезик / Материалы 66-го Всемирного литейного конгресса. - 2004. - №35.-11 с.

УДК 501.22:621.763

ИЗНОСОСТОЙКИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОДШИПНИКИ НА СКОЛЬЖЕНИЯ ОСНОВЕ IN-SITU: ПРИМЕНЕНИЕ И СВОЙСТВА

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

В настоящее время остро стоит вопрос повышения срока службы машин и механизмов. Данный аспект может быть реализован через улучшение свойств отдельных узлов. Например, для узлов трения разрабатываются новые композиционные материалы которые позволят в разы увеличить их срок службы.

Известно [1], что практически все детали подвергаются финишной обработке, которая направлена на повышение прочностных характеристик как поверхности, так и самого металла. В зависимости от назначения и состава детали можно подвергать к различным видам обработки. Одним из таких методов является создание износостойких покрытий методом IN-SITU.

Композиционные материалы, упрочненные тугоплавкими частицами, нашли широкое применение благодаря низкому удельному весу и оптимальному сочетанию комплекса механических и эксплуатационных свойств. Такие упрочненные сплавы широко используются в зарубежном автомобильном и авиационном двигателестроении. Их производство является активно развивающимся направлением промышленности, и все способы получения, по сути, можно объединить в три группы: твердожидкофазное компактирование (прессование, прокатка, экструзия); газотермическое напыление; литейные технологии (пропитка матричного каркаса, введение наполнителя извне, синтез наполнителя в составе расплава) [2].

Последняя группа методов – технологии, основанные на синтезе второй фазы в результате химического взаимодействия введенных в расплав компонентов (за рубежом получившая название IN-SITU) – характеризуется целым рядом преимуществ: доступное и сравнительно недорогое оборудование, короткий технологический цикл, высокая чистота и качество конечных сплавов [3].

На базе научно исследовательской лаборатории «Промышленной теплофизики» БНТУ, были изготовлены износостойкие пластины по данной технологии для использования в узлах трения (рис.1).

Для оценки химического состава от которого напрямую зависят механические свойства был применен портативный лазерный спектрометр

ЛИС – 01, произведенной в Российской Федерации. Данный прибор с помощью импульсного DPSS лазера с длиной волны 1064 нм позволяет определять химический состав металлов и сплавов на участках сечением 50 мкм. Исследования проводились в точках указанных на рис.1. В каждой исследованной точке были получены усредненные значения по пяти участкам анализируемой поверхности.

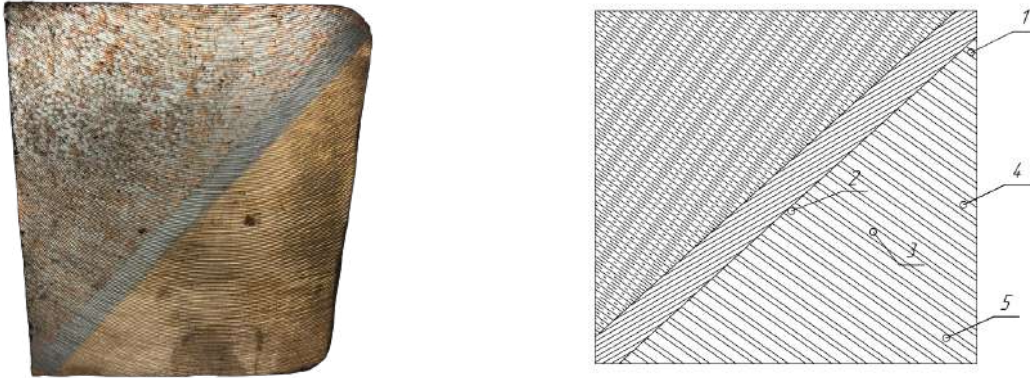


Рис. 1 – Naturalный и схематический виды

Как показали исследования – в точках 3,4 и 5 материал был идентифицирован как медь или бронза типа БрБ2. Точки 1 и 2 показали значительное насыщение медной основы железом в соотношении медь 69,7% и железа 30,2%, что свидетельствует об увеличении прочностных и твердостных характеристик получаемого материала.

На основании приведенных данных, касающихся получения in-situ литых композиционных материалов на основе бронз и чугунов, можно сделать вывод о том, что разработка технологий их получения является актуальным направлением развития литейного материаловедения, Такие композиционные материалы могут иметь широкие функциональные возможности, что подтверждает их перспективность, и возможность использования в качестве антифрикционных элементов в парах трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционные материалы: справ. / Под. ред. Д. М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985. 292 с.
2. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. А.А. Батаев, В.А. Батаев.- Новосибирск.: НГТУ, 2002.- 384 с.
3. Бабкин, В.Г. Литые металломатричные композиционные материалы электротехнического назначения / В.Г. Бабкин, Н.А. Терентьев, А.И. Перфильева // Журнал Сибирского федерального университета. 2014. Т. 7. №4. С. 416-423. 3. Затуловский С. С., Кезик В. Я., Иванова Р. К. Литые композиционные материалы. Киев: Тэхника, 1990. 240 с.

УДК 621.79

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВАХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

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

В узлах трения процесс износа начинается с поверхностных слоев, как результат формирования поверхности должно основываться на задании ей определенных свойств. В качестве данных параметров можно назвать износостойкость, жаропрочность, коррозионная и эрозионная стойкости ударная прочность, а так же их комбинации. Причем данные свойства могут задаваться как при создании новых изделий, так и при ремонте изношенных. При этом в обоих случаях идет разговор об увеличении срока службы узлов трения, а также их надежности, что способствует увеличению межремонтных интервалов и как результат снижению себестоимости продукции или изделия.

Наиболее перспективным направлением для достижения долговечности изделий является создание композиционных материалов и покрытий на базе комбинаций металлов с различными свойствами. В результате для триботехнических целей необходимо получать композиции обладающие хорошей прирабатываемостью, и широким комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, таких как высокая стойкость к износу и трещинообразованию, достаточно высокой твердостью, прочностью и пластичностью.

Для создания материалов отвечающих данным требованиям используется целый ряд методов, таких как химико-термическая обработка и диффузионное насыщение, электролитическое нанесение покрытий (например никелирование, хромирование, нанесение кобальта) [1], лазерная наплавка, индукционная наплавка, плазменное и газопламенное напыление, осаждения материалов из газовой фазы [2].

Многие из этих процессов позволяют получать покрытия способные повысить стойкость поверхностей в несколько раз. Однако химические методы являются экологически небезопасными, осаждение из газовой фазы требует высоких температур на покрываемой поверхности и отличается взрывоопасностью применяемой газовой смеси, содержащей водород.

Как результат представляет интерес использование для получения интересующих нас материалов использование различных способов наплавки. В качестве основных методов наплавки известны, такие как, ручная электродуговая и газовая, механизированная ванная под слоем

флюса, электрошлаковая, вибродуговая [3], наплавка в термопечах, индукционная, фрикционная, плазменная [1, 4], микроплазменная [4], и лазерная [1].

Использование лазерного излучения как локального высококонцентрированного источника инфракрасного излучения открывает, широкие возможности при создании композиционных материалов и покрытий. Помимо локальности, достоинством лазерной обработки является возможность непрерывного управления процессом: глубина нагрева уменьшается с увеличением интенсивности лазерного излучения, так как при этом происходит более быстрый нагрев поверхности, при малых плотностях потока и длительности времени облучения происходит значительная термодиффузия в основной металл, и возникающий температурный градиент недостаточен для быстрого охлаждения поверхностного слоя, которое необходимо для получения твердой структуры [1]. Кроме этого при лазерной обработке осуществляется быстрый нагрев тонкого поверхностного в результате чего область теплового воздействия сокращается до минимума что снижает до минимума риск коробления заготовки.

Универсальность лазерной наплавки позволяет создавать композиционные материалы как с помощью процесса газопорошковой наплавки, при которой происходит инъекция порошка составляющих будущей композиционный материал в зону оплавления [1], так и способы лазерного плакирования с расплавлением предварительно нанесенного покрытия лазерным излучением. Кроме того возможна и лазерная обработка покрытий полученных иными способами (например методами внутривспечного синтеза). Исходя из вышесказанного, наиболее высокий интерес при создании композиционных материалов и покрытий представляет собой лазерная наплавка ввиду своей универсальности и отработанности техпроцесса, в особенности в комбинации с процессом индукционной наплавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девойно, О.Г. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, А.С. Калиниченко и др. - Минск : БИТУ, 2020. - 282 с.
2. Газофазное осаждение покрытий из нитрида титана / под ред О.В. Романа. - М. : Наука и техника, 1983. - 96 с.
3. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справочное пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. - Челябинск : Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2015. - 263 с.
4. К вопросу упрочнения-восстановления деталей сельскохозяйственной техники методами газотермического напыления / О.Г. Девойно [и др.] // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы МНТК / редкол.: Н.К. Лисай [и др.] - Минск: БГАТУ, 2016.-С. 173-177.

УДК 621.79

РЕМОНТ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ И ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

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

Поверхности деталей, используемых для комплектации разных видов узлов трения, со временем подвергаются износу и выходят из употребления. Это приводит к сокращению сроков эксплуатации агрегатов. Как правило, многие из этих изношенных деталей могут относиться к сложно восстанавливаемым материалам, например, изготовленных из композиционных материалов. Одним из возможных решений по восстановлению поверхности, можно с уверенностью считать, процесс лазерная наплавки, как наиболее эффективной методикой восстановления работоспособности пострадавших от износа деталей [1].

Известно [2], что лазерная наплавка – уникальный и наиболее эффективный метод наплавления износостойких покрытий. Выполняется с помощью лазерных систем нового поколения, работа которых основана на использовании мощного оптоволоконного лазера и специального сопла. Лазерный луч высокой мощности фокусируется на поверхности детали, создавая небольшую ванну расплава. В эту область подается металлический порошок, который расплавляясь, создает новый слой.

В качестве присадочного материала [3] используют как правило металлические порошки например порошки полученные методом газовой атомизации расплава, как правило с размером фракции от 40 до 150 мкм.

Для повышения эффективности лазерной обработки на восстанавливаемую металлическую поверхность предпочтительно наносить поглощающие покрытия. К ним предъявляются следующие требования:

- необходимость достижения температуры испарения, близкой к температуре обработки;
- исключение влияния неудаляемых остатков покрытий на качество обработанных поверхностей;
- использование простой технологии нанесения и съема покрытий;
- обладание высоким коэффициентом поглощения на длине волны 10,6 мкм [3].

Последнее свойство присуще однородной структуре с высокой концентрацией частиц размером 10-30 мкм [4]. Учитывая это обстоятельство, а также для исключения влияния поглощающих покрытий на качество поверхностей, для повышения производительности лазерной обработки ре-

комендуется применять мелкодисперсные фракции того же порошкового материала, который использовался для получения износостойкого покрытия. Поглощающее покрытие из сплава ПР-53 разной фракционности возможно наносить в виде обмазки на геотермический слой с последующим облучением лазерным излучением при плотности мощности $q = 1,6 \times 10^8$ Вт/м², и скорости перемещения луча $v = 1,66$ мм/с.

В качестве органического связующего для нанесения покрытия неплохо зарекомендовал себя спиртовой раствор канифоли. За грануляцию частиц поглощающего покрытия, принималась тонкодисперсная фракция, состоящая свыше 75 % из частиц указанных интервалов.

Проведя статистический анализ полученных результатов по методике [3], выяснили, что зависимость наибольшей глубины проплавления газотермического покрытия (свыше 1,1 мм) от грануляции частиц поглощающего слоя носит нормальный характер при среднем значении измеряемого параметра (грануляция частиц) равным 10,6 мкм и среднеквадратическом отклонении 0,93 мкм.

Как результат, необходимо отметить высокую эффективность процессов лазерной наплавки в особенности с использованием поглощающих покрытий. Данный процесс может быть использован как при увеличении ресурса новых деталей, так и при ремонте вышедших из строя (включая композитные изделия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазерная наплавка поверхности металла. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://martensit.ru/prochie/lazernaya-naplavka/>. Дата доступа: 10.04.2021
2. Технология лазерной наплавки. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.irslasertech.ru/tehnologii/lazernaya_naplavka. Дата доступа: 10.04.2021
3. Девойно, О.Г. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, А.С. Калиниченко и др. - Минск : БИТУ, 2020. - 282 с.
4. Влияние параметров лазерной обработки на адгезионную прочность клеевых покрытий системы Fe-Cr-B-Si / Н.Н. Дорожкин [и др.] // Математические модели и алгоритмы для имитации физических процессов : сборник научных трудов междунар. науч.-техн. конф., Том 1, Таганрог, 11-14 сентября 2006. - С. 48-51.

УДК 621.225(075.8)

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ LS-СИСТЕМ С КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

А.А. Гинзбург¹, Ю.А. Андреевец²

¹ОАО «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро гидропневмоавтоматики», г. Гомель, Республика Беларусь,

² УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Гидравлические системы с адаптацией к нагрузке (LS-системы, от словосочетания load sensing) решают основную проблему дроссельного регулирования скоростей нескольких рабочих органов гидропривода – проблему чрезмерного уровня потерь мощности в гидросистеме.

Традиционное дроссельное регулирование скоростей нескольких одновременно работающих исполнительных органов гидропривода может происходить только при максимальном давлении на входе гидросистемы, не зависящем от уровня давления на исполнительных органах [1]. В результате потери мощности в гидроприводе оказываются недопустимо высокими. В гидросистемах с адаптацией к нагрузке давление на наиболее нагруженном исполнительном органе управляет входным давлением гидросистемы, и входное давление изменяется в соответствии с изменением давления на наиболее нагруженном исполнительным органе, превышая его на небольшую постоянную величину (так называемый LS-перепад давлений) [1, 2].

Гидросистема с адаптацией к нагрузке оснащается системой выбора наибольшего из давлений на исполнительных органах и устройством, поддерживающим постоянную разность давлений между этим давлением и входным давлением гидросистемы. В качестве этого устройства используется либо насос с регулятором разности давления (гидропривод с объемной адаптацией к нагрузке) либо гидроклапан разности давлений (гидропривод с клапанной адаптацией к нагрузке). При этом традиционно считалось и подтверждалось расчетами [3, 4], что по уровню потерь мощности системы с объемной адаптацией являются более эффективными, чем однопоточные системы с клапанной адаптацией, поскольку в системах с объемной адаптацией величина подачи насоса в любой момент времени практически равна суммарному расходу рабочей жидкости, настроенному на рабочих органах в процессе регулирования их скорости, в то время как в системе с клапанной адаптацией подача насоса является постоянной, и практически постоянно превышает суммарный расход, настроенный на рабочих органах. Этот излишек подаваемой рабочей жидкости переливается через клапан разности давления, создавая дополнительные потери мощно-

сти системы с клапанной адаптацией по сравнению с системой с объемной адаптацией.

В результате в подавляющем большинстве случаев разработчики выбирают принцип объемной адаптации. В качестве примера можно привести самые распространенные в Республике Беларусь системы с адаптацией к нагрузке серийной техники, например, гидросистемы энергонасыщенных тракторов МТЗ.

Принципиальные гидравлические схемы таких систем приведены на рис. 1.

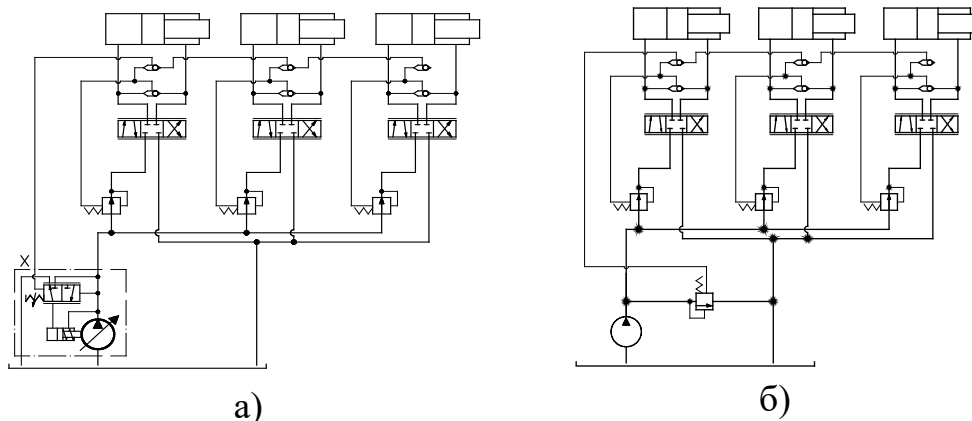


Рис. 1 - Принципиальные гидравлические схемы однопоточных гидросистем с объемной (а) и клапанной (б) адаптацией

С другой стороны, применение регулируемых насосов сдерживает внедрение LS-систем в машиностроительную практику, поскольку регулируемые насосы являются существенно более дорогими по сравнению с нерегулируемыми и заметно уступают им по показателям надежности, ремонтпригодности и требовательности к техническому обслуживанию – особенно, с учетом того, что в большинстве случаев в системах с объемной адаптацией необходимо использовать регулируемые аксиально-поршневые гидромашины, в то время, как в качестве нерегулируемых могут использоваться на порядок более дешевые и намного более компактные, неприхотливые и надежные шестеренные насосы.

При этом нужно отметить, что упомянутые выше расчеты проводились около трех десятилетий назад и не могли отражать современного состояния элементной базы LS-систем. В частности, в них не учитывалось характерное для современного гидрооборудования неравенство настроенных разностей давлений между давлением на наиболее нагруженном исполнительном органе и входным давлением гидросистемы для гидросистем с регулируемыми и нерегулируемыми насосами.

В течение последних лет ОАО «ГСКТБ ГА» с участием ГГТУ им. П.О.Сухого была создана методика расчета энергетических характеристик

гидросистем с адаптацией к нагрузке различных типов с учетом структуры систем и параметров их современной элементной базы.

Согласно этой методике (см. [5], [6]), потери мощности гидросистем с адаптацией к нагрузке для гидросистемы с количеством исполнительных органов, равным n , определяются их суммированием:

- для гидросистем с объемной адаптацией (с регулируемыми насосами):

$$\Delta N_o = \Delta p_{LSO} \sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n (\max(p_i) - p_i) Q_i \quad (1)$$

- для однопоточных гидросистем с клапанной адаптацией (с нерегулируемыми насосами):

$$\Delta N_k = \Delta p_{LSK} Q_0 + \max(p_i) (Q_0 - \sum_{i=1}^n Q_i) + \sum_{i=1}^n (\max(p_i) - p_i) Q_i \quad (2)$$

где Δp_{LSO} и Δp_{LSK} – LS-перепад давлений, соответственно, для гидросистем с объемной и клапанной адаптацией; p_i – давление в рабочей полости i -го исполнительного органа; Q_i – расход на i -м исполнительном органе; Q_0 – входной расход гидропривода (подача насоса) однопоточной системы с клапанной адаптацией.

Последнее слагаемое выражений (1) и (2) представляет собой характерную для любой LS-системы долю потерь мощности, обусловленную разностью рабочих давлений на различных исполнительных органах. Она определяется параметрами исполнительных органов, характером и величиной их нагружения и не зависит от типа гидросистемы.

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что потери мощности в гидросистеме с регулируемым насосом не превосходят потери мощности в однопоточной гидросистеме с нерегулируемым насосом при выполнении условия:

$$\frac{Q_0}{\sum_{i=1}^n Q_i} \geq 1 + \frac{\Delta p_{LSO} - \Delta p_{LSK}}{p_0} \quad (3)$$

где p_0 – максимальное текущее значение давления в гидросистеме.

Проведенный в работе [6] анализ выражений (1) и (2) для современной элементной базы гидросистем с адаптацией к нагрузке, показал, что значение Δp_{LSO} принципиально превосходит значение Δp_{LSK} , причем для современной элементной базы гидроприводов превышение в среднем составляет 1,5 МПа. В результате гидросистемы с объемной адаптацией являются более энергетически эффективными, чем гидросистемы с клапанной адаптацией только если в среднем за цикл суммарный настроенный на исполнительных органах расход изменяется более, чем на:

- 15% для гидросистем низкого давления (с рабочим давлением $p_0 < 12$ МПа);
- 10% для гидросистем среднего давления ($12 < p_0 < 20$ МПа);
- 5 – 7% для гидросистем высокого ($p_0 > 20$ МПа) давления.

В противном же случае более эффективными являются системы с клапанной адаптацией.

При этом в случае применения несамовсасывающих насосов указанные значения увеличиваются ориентировочно, на 20-50%.

Все сказанное относится к случаю однопоточных систем с клапанной адаптацией к нагрузке, в которых используется лишь один нерегулируемый насос. Однако существуют и описаны в литературе (см., напр., [7]) решения, в которых используются двухпоточные и многопоточные гидросистемы с клапанной адаптацией, в которых один или несколько насосов автоматически разгружаются от давления при снижении потребляемого в гидросистеме расхода и подключаются к напорной магистрали при его повышении. Гидравлическая схема таких систем приведена на рис. 2.

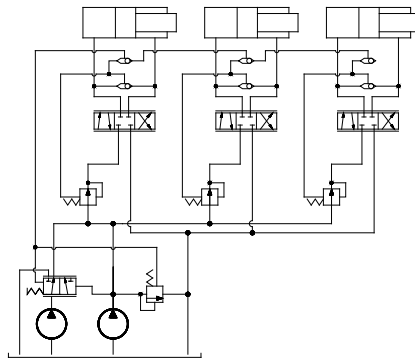


Рис. 2 - Принципиальная гидравлическая схема двухпоточной LS-системы

Применение таких систем позволяет существенно снизить величину избыточной подачи в гидросистеме с адаптацией к нагрузке и тем самым повысить ее энергетическую эффективность.

Расчет и анализ потерь мощности таких систем выполняется в следующих предположениях:

- потребляемый расход гидросистемы $Q(t)$ равномерно распределен в интервале расходов от Q_{\min} до Q_{\max} ;

- в системе установлены два насоса с подачами Q_{21} и Q_{22} , причем разгружаемым является насос с подачей Q_{22} , а сумма подач насосов равняется Q_{\max} (то есть, суммарная подача насосов выбрана правильно).

Такая система в любой момент времени находится в одном из двух состояний – если потребляемый расход $Q(t)$ уступает величине подачи постоянно работающего насоса Q_{21} , второй насос разгружается, а если потребляемый расход превосходит подачу постоянно работающего насоса Q_{21} , второй насос работает вместе с первым.

Можно видеть, что переменная часть средних за длительное время T потерь мощности (без учета независимых от типа LS-системы потерь мощности, представляющих собой второй слагаемое правой части выражений (1) и (2)) в такой гидросистеме равна

$$\Delta N_{K2} = \frac{1}{2} p_0 \left(\frac{(Q_{21} - Q_{\min})^2 + (Q_{\max} - Q_{22})^2}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + \Delta p_{LSK} (Q_{21} + Q_{22}) + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (4)$$

Если же суммарная подача насосов $Q_1 + Q_2$ превосходит максимальный потребляемый расход Q_{\max} , к правой части выражения (4) следует прибавить величину $(Q_1 + Q_2 - Q_{\max})(p_0 + \Delta p_{LSK})$, так что оно приобретает вид

$$\Delta N_{K2} = \frac{1}{2} p_0 \left(\frac{(Q_{21} - Q_{\min})^2 + (Q_{\max} - Q_{22})^2}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + \Delta p_{LSK} (Q_{21} + Q_{22}) + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} + (p_0 + \Delta p_{LSK})(Q_{21} + Q_{22} - Q_{\min}) \quad (5)$$

Анализ полученных выражений позволяет определить оптимальное соотношение подач насосов в двухпоточной гидросистеме, при котором обеспечивается минимальный уровень энергетических потерь. Нетрудно видеть, дифференцируя выражения (4) или (5) по Q_{21} , что их минимум достигается при некотором оптимальном значении подачи первого, постоянно работающего насоса Q_{21opt} , равном

$$Q_{21opt} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2} \quad (6)$$

В таком случае подача второго, разгружаемого насоса должна быть равной

$$Q_{22opt} = Q_{\max} - Q_{21opt} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2} \quad (7)$$

В этом случае средние за длительное время потери мощности в гидросистеме окажутся равными

$$\Delta N_{K2opt} = 0,25 p_0 (Q_{\max} - Q_{\min}) + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (8)$$

В частном случае, когда минимальное значение диапазона потребляемых расходов равно нулю (то есть, потребляемый исполнительными органами гидросистемы расход равномерно распределен в диапазоне от нуля до Q_{\max}), выражения (6) – (8) приобретают вид:

$$Q_{21opt} = Q_{22opt} = 0,5 Q_{\max} \quad (9)$$

$$\Delta N_{K2opt} = 0,25 p_0 Q_{\max} + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (10)$$

Используя полученное в работе [6] выражение для текущих потерь мощности гидросистем с регулируемыми насосами, получаем для них средние за длительное время T переменные потери мощности

$$\Delta N_o = \frac{1}{2} \Delta p_{LSO} (Q_{\max} + Q_{\min}) + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (11)$$

Сравнивая выражения (10) и (11), получаем величину разности средних потерь мощности в двухпоточной гидросистеме с клапанной адаптацией и гидросистеме с объемной адаптацией:

$$\Delta N_{K2opt} - \Delta N_0 = 0,25 p_0 (Q_{max} - Q_{min}) + \Delta p_{LSK} Q_{max} - 0,5 \Delta p_{LSO} (Q_{max} + Q_{min}) \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что потери мощности в гидросистемах обоих типов становятся равными при выполнении следующего условия

$$\frac{Q_{min}}{Q_{max}} = 1 - 4 \frac{\Delta p_{LSO} - \Delta p_{LSK}}{p_0 + 2\Delta p_{LSO}} \quad (13)$$

При меньшем соотношении минимального и максимального потребляемого расходов более энергетически эффективной является гидросистема с объемной адаптацией к нагрузке, при большем – двухпоточная гидросистема с клапанной адаптацией.

Анализ соотношения, задаваемого выражением (13), для гидросистем с различными характерными значениями текущего давления p_0 не трудно выполнить на основе приведенной выше оценки разности величин Δp_{LSO} и Δp_{LSK} . Результатами анализа являются условия, при которых двухпоточная гидросистема с клапанной адаптацией может превосходить по энергетической эффективности гидросистему с объемной адаптацией. Эти условия сведены в таблицы 1 и 2. В левом столбце таблиц приведен диапазон характерных максимальных давлений на исполнительных органах, в правом – диапазон изменения потребляемых расходов, при котором двухпоточная гидросистема с клапанной адаптацией к нагрузке превосходит гидросистему с объемной адаптацией к нагрузке по энергетической эффективности.

Таблица 1 - Для гидросистем с объемной адаптацией и самовсасывающими насосами

Диапазон характерных максимальных давлений p_0 , МПа	Диапазон изменения потребляемых расходов
до 6 МПа	$0 - Q_{max}$
до 12 МПа	$0,3 \dots 0,5 Q_{max} - Q_{max}$
12 – 20 МПа	$0,5 \dots 0,7 Q_{max} - Q_{max}$
более 20 МПа	более $0,7 Q_{max} - Q_{max}$

Таблица 2 - Для насосов с подпиткой

Диапазон характерных максимальных давлений p_0 , МПа	Диапазон изменения потребляемых расходов
до 6...9 МПа	$0 - Q_{max}$
до 12 МПа	$0,2 \dots 0,4 Q_{max} - Q_{max}$
12 – 20 МПа	$0,4 \dots 0,6 Q_{max} - Q_{max}$
более 20 МПа	более $0,6 Q_{max} - Q_{max}$

Таким образом, существует значительный диапазон возможных применений, в котором гидравлические системы с нерегулируемыми насосами (с клапанной адаптацией к нагрузке) по своей энергетической эффективности превосходят или, по крайней мере, не уступают гидравлическим системам с объемной адаптацией.

Этот диапазон может быть существенно расширен при использовании не двухпоточной, а многопоточной системы с клапанной адаптацией к нагрузке и нерегулируемыми насосами, в которой один насос является постоянно работающим, а остальные автоматически разгружаются от давления при снижении потребляемого в гидросистеме расхода и подключаются к напорной магистрали при его повышении.

Это показывает анализ трехпоточной системы, выполненный в аналогичных предыдущим предположениях:

- потребляемый расход гидросистемы $Q(t)$ равномерно распределен в интервале расходов от Q_{\min} до Q_{\max} , причем Q_{\min} может равняться нулю;
- в системе установлены три нерегулируемых насоса с подачами Q_{31} , Q_{32} и Q_{33} , причем постоянно работающим является насос с подачей Q_{31} , остальные насосы являются разгружаемыми.

Для такой системы переменная часть средних за длительное время T потерь мощности равна

$$\Delta N_{K3} = \frac{1}{2} p_0 \left(\frac{(Q_{31} - Q_{\min})^2 + Q_{32}^2 + (Q_{\max} - (Q_{31} + Q_{32}))^2}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + \int_0^T \Delta N_{LS} dT + \Delta p_{LSK} (Q_{31} + Q_{32} + Q_{33}) + \frac{t=0}{T} \quad (14)$$

При правильном подборе насосов, когда сумма подач всех трех насосов равняется Q_{\max} , отсюда получаем

$$\Delta N_{K3} = \frac{1}{2} p_0 \left(\frac{(Q_{31} - Q_{\min})^2 + Q_{32}^2 + Q_{33}^2}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_0^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (15)$$

Вычитая (15) из (8), получаем разность потерь мощности правильно построенных двухпоточной и трехпоточной систем

$$\Delta N = \frac{1}{2} p_0 (0,5(Q_{\max} - Q_{\min}) - \frac{(Q_{31} - Q_{\min})^2 + Q_{32}^2 + Q_{33}^2}{Q_{\max} - Q_{\min}}) \quad (16)$$

Для оценки полученной величины достаточно заметить, что если минимальный расход системы Q_{\min} равен нулю, а подачи всех трех насосов системы подобраны оптимальным образом ($Q_{31}=Q_{32}=Q_{33}=0,33Q_{\max}$), из выражения (16) следует, что $\Delta N=0,083p_0 Q_{\max}$. Учитывая, что p_0 – максимальное текущее значение давления в гидросистеме, а Q_{\max} – максимальный потребляемый расход, получаем, что использование трехпоточной системы с адаптацией к нагрузке по сравнению с двухпоточной обеспечивает снижение потерь в гидросистеме и повышение ее КПД более, чем

на 8% от общей потребляемой гидроприводом мощности. Это достаточно большая величина: из выражений (10) или (12), следует, что она составляет примерно треть переменной части потерь мощности двухпоточной системы. Соответственно, диапазоны изменения потребляемых расходов, приведенных в таблицах 1 и 2 для случаев эффективного применения гидросистем с клапанной адаптацией, могут быть для трехпоточных систем расширены не менее, чем на треть.

Заключение.

Таким образом, гидравлические LS-системы с нерегулируемыми насосами при использовании современной элементной базы могут являться более энергетически эффективными, чем LS-системы с регулируемыми насосами. При выборе типа LS-системы (с объемной или клапанной адаптацией) необходимо проводить сравнительный анализ энергетической эффективности с учетом диапазона изменения суммарного расхода на исполнительных органах гидропривода и характерного уровня рабочего давления. Для этого анализа могут быть использованы полученные в представленном исследовании математические зависимости.

Двухпоточные и многопоточные системы с адаптацией к нагрузке и нерегулируемыми насосами являются достаточно энергетически эффективными. Существует широкий диапазон условий применения, в котором двухпоточные LS-системы обеспечивают снижение потребляемой мощности по сравнению с LS-системами с регулируемыми насосами. Трехпоточные системы позволяют еще более повысить энергетическую эффективность, обеспечивая снижение потерь мощности в гидросистеме по сравнению с двухпоточными на величину, которая может превышать 8% от потребляемой гидроприводом мощности.

Таким образом, при создании новых или модернизации существующих гидравлических систем с адаптацией к нагрузке использование многопоточных гидросистем с нерегулируемыми насосами (с клапанной адаптацией) взамен традиционно применяющихся в большинстве случаев гидросистем с регулируемыми насосами (с объемной адаптацией) может оказаться перспективным методом повышения экономических и технических характеристик машины. Это особенно актуально с учетом существенных преимуществ нерегулируемых насосов в стоимости, надежности и трудоемкости обслуживания и ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.А. Дроссельное регулирование в гидросистемах и адаптация гидропривода к нагрузке (LS-принцип). Курс лекций для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин». Гомель: Издательский центр УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», 2007. - 77 с.

2. Sculthorpe H. Hydraulic Horsepower Comes out of Its Corner. Hydraulics & Pneumatics, 1989. № 3.
3. Klotzbücher, W. Energieverluste in Hydrauliksystemen von Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik, Bd.34 (1984) Nr.6.
4. Hesse, H. Vergleich der Energieverluste von Hydrauliksystemen für Ackerschlepper, /H. Hesse // Vortrag auf der VDI-Tagung Landtechnik, München, 27/29 Oktober 1976.
5. Гинзбург А.А., Пинчук В.В. Критерии выбора параметров исполнительных органов гидроприводов с адаптацией к нагрузке. / А.А.Гинзбург, В.В.Пинчук // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – 2007. – № 3 (30)', – С. 38-44.
6. Гинзбург А.А., Стасенко Д.Л. Сравнение однопоточных гидросистем с объемной и клапанной адаптацией к нагрузке по уровню потерь мощности. Минск: Механика машин, механизмов и материалов - 2018 - № 3(44) - С. 67-74.
7. Esseniyyi, A. Circuits make gear pumps more versatile. / A. Esseniyyi // Hydraulics & Pneumatics Exclusive Insight; 1/28/2012, p. 21

УДК 620.178.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ:
РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ**

С.А. Тюрин, А.В. Чирков, Ю.В. Карпенко

УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Классическое условие прочности $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\lim} / n_{\sigma}$ записывается в виде простейшего соотношения между максимальным действующим (σ_{\max}) и соответствующим предельным (σ_{\lim}) напряжением с некоторым запасом прочности (n_{σ}). Это соотношение берется за основу при определении необходимых и достаточных размеров нагруженных элементов механизмов, машин и оборудования; иными словами, оно обуславливает конструктивную массу и эксплуатационную надежность изделия, в конечном счете – его экономичность и конкурентоспособность.

Развитие современных методов вычислений, в том числе с применением компьютерных технологий, широко применяемых в НТЦК ОАО «Гомсельмаш», позволяет произвести расчетную оценку действующих полей напряжений (σ_{\max}) практически в любом элементе конструкции с требуемой точностью. Что же касается определения предельных напряжений (σ_{\lim}), то здесь присутствует сложность.

Существуют стандартные методы экспериментального определения с достаточной для практических целей точностью характеристик механических свойств материала. Но проблема состоит в том, что для левой части условия прочности действующие напряжения определяют в натуральных конструкциях, тогда как в правой его части используют характеристики механических свойств материала (пределы текучести, прочности, выносливости и т. д.). А свойства материала и конструкции могут различаться весьма существенно. Так, если предел выносливости гладких образцов (диаметром 10 мм) стали 45 равен $\sigma_{-1} \approx 300$ МПа, то предел выносливости валов (диаметром 150 мм) с напрессованными втулками снижается до 50 МПа и менее [1].

Результаты натурального эксперимента в принципе позволяют достаточно корректно установить характеристики сопротивления деформации и разрушению конкретных деталей и узлов. Однако такой подход, будучи практически важным, в научном отношении малоэффективен. Натурный эксперимент, как правило, весьма трудоемок, очень дорог и длителен, но дает ограниченные результаты, пригодные лишь применительно, например, к исследованному узлу с деталями заданных типоразмеров. Достаточно изменить всего лишь размеры деталей – и требуется строить новую дорогостоящую испытательную установку и вести новые длительные и трудоемкие испытания, чтобы получить необходимые характеристики работоспособности узла

в заданных условиях. Естественно, что конструктивные варианты ответственных деталей и узлов в машиностроении практически неисчислимы, особенно учитывая изменение их размеров. Следовательно, по нашему мнению, натурные испытания целесообразны лишь в весьма ответственных случаях.

Применительно к серийным и массовым изделиям машиностроения перспективным является научный подход, основанный на моделировании [1]. Испытания моделей деталей и узлов, уменьшенных в разумных пределах, можно вести на универсальном испытательном оборудовании. Это резко снижает затраты и расширяет возможности испытаний по количеству испытываемых объектов. Результат – повышение точности оценки служебных свойств изделия, узла, детали.

Преждевременные отказы современных машин, в том числе сельскохозяйственной техники, в значительной мере определяются такими явлениями, как механическая усталость, трение и изнашивание, износоусталостные повреждения (до 80–90 % отказов). Следовательно, целесообразным представляется выполнить моделирование работы узлов этих машин именно применительно к таким повреждающим явлениям.

Анализ показал, что все многообразие типоразмеров систем, содержащихся в механизмах движения кормоуборочного комплекса, можно практически свести всего к двум принципиально различающимся моделям, работающим по трем видам износоусталостного повреждения: вал – втулка (фреттинг-усталость либо фрикционно-механическая усталость) и вал – ролик (контактно-механическая усталость).

Соответствующие методы износоусталостных модельных испытаний в условиях, близких к эксплуатационным, к настоящему времени разработаны и частично стандартизованы [2]. В результате таких испытаний определяют количественные характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям. Эти характеристики могут быть использованы, а частности, при выборе конструкционных материалов и обосновании конструктивно-технологических решений, при контроле качества материалов, при расчетах на этапе проектирования и др.

Для испытания таких моделей на ОАО «Гомсельмаш» создано и успешно применяется (в лаборатории ЛКИМиС) высокотехнологичное испытательное оборудование – машины серии СИ / SZ, технические характеристики которого регламентируются требованиями государственного стандарта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрияшин, В. А. Износоусталостные испытания: принципы моделирования / В. А. Андрияшин, А. В. Богданович, С. А. Тюрин // Надежность и долговечность машин и сооружений : Междунар. науч.-техн. сб. – Вып. 24. – Киев : ИПП НАНУ им. Г. С. Писаренко, 2005. – С. 21–26.

УДК 539.92

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О СИЛОВОЙ СИСТЕМЕ И ЕЕ ПОВРЕЖДЕНИИ

С.А. Тюрин, Н.Н. Малык, Н.С. Селиверстов
УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Понятие о силовой системе является базовым для механики износосталостного повреждения. Силовой называют всякую механическую систему, которая воспринимает и передает рабочую повторно-переменную нагрузку и в которой одновременно реализуется процесс трения в любом его проявлении – при скольжении, качении, проскальзывании и др. Этот термин закреплен в межгосударственном стандарте [1]. Типичными силовыми системами в сельскохозяйственной технике, производимой ОАО «Гомсельмаш», являются: вал / ступица (зубчатого колеса, маховика и др.) с неподвижной либо ходовой посадкой (прессовые, шпоночные, шлицевые и др. соединения); шейка коленчатого вала / шатун с подшипником скольжения (болтовые, заклепочные и резьбовые соединения, передающие циклическую нагрузку); зубчатые передачи и мн. др. Как правило, это наиболее ответственные и массовые узлы современных машин и оборудования. И для них характерно комплексное – износосталостное повреждение, основными видами которого являются фрикционно-механическая, контактно-механическая, коррозионно-механическая, эрозионно-механическая и фреттинг-усталость.

Применение тонких экспериментальных методов исследования позволило изучить и понять некоторые особенности комплексного износосталостного повреждения. Установлено, что в определенных условиях износосталостное повреждение оказывается менее опасным, чем повреждение при трении и усталости (при одинаковых контактных и изгибающих нагрузках). Это связано, в частности, с тем, что наложение полей контактных и изгибных напряжений приводит к сосредоточению большей части подведенной энергии в более тонком поверхностном слое материала и локализации в нем процессов трещинообразования и изнашивания. Это предотвращает проникновение повреждения вглубь материала. Кроме того, износ поверхностного слоя удаляет поврежденную трещинами поверхность и обнажает новую, относительно здоровую поверхность с высоким сопротивлением разрушению. Тем самым отдалается во времени или даже вовсе предотвращается (в зависимости от условий нагружения) образование относительно крупных ямок выкрашивания, на дне которых возникает опасная микроконцентрация напряжений и опасная магистральная трещина.

Очевидно, что при оптимальном сочетании нагрузочных парамет-

ров (изгибающая и контактная нагрузки) достигается такое состояние силовой системы, когда ее несущая способность самопроизвольно и в течение длительного времени поддерживается (или автоматически регулируется) тонким изнашиванием и удалением из зоны трения поврежденного поверхностного слоя.

Таким образом, износоусталостное повреждение – это комплексное повреждение в том смысле, что оно есть результат взаимодействия повреждений, обусловленных контактной и внеконтактной нагрузками и развивающихся на разных масштабных уровнях (субмикро-, микро-, и макроповреждения).

Проиллюстрируем практическое значение изложенных фундаментальных представлений конкретным примером. Специалисты по усталости рассматривают систему коленчатый вал / шатунная головка с подшипником скольжения как элемент конструкции, который работает на усталость при действии пространственной системы сил. Эксплуатационная надежность (долговечность) вала оценивается ими по критерию усталостного разрушения. Трибологи представляют вал как одну из деталей узла трения (вал – подшипник). Эксплуатационная надежность (долговечность) вала оценивается ими по другому критерию – износу. Очевидно, что эти две оценки – существенно различны для одного и того же вала. С позиций же механики износоусталостного повреждения ни одна из этих оценок не может быть верной, поскольку в действительности вал – один из элементов силовой системы, и для него характерно комплексное – износоусталостное повреждение и разрушение. Процессы механической усталости и изнашивания реализуются в единой зоне вала, совместно и одновременно. И если во внимание не принимается влияние процессов трения на изменение характеристик сопротивления усталости вала, а также влияние усталостного повреждения на изменение характеристик трения и изнашивания, ожидать правильной оценки его работоспособности нельзя. Борьба с усталостными поломками приводит к определенной потере износостойкости, и наоборот – борьба с износом оборачивается ростом отказов по критерию усталостного разрушения. На самом деле действительные успехи возможны на базе методологии механики износоусталостного повреждения, с использованием представлений о силовой системе и ее комплексном повреждении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трибофатика. Термины и определения (Межгосударственный стандарт): ГОСТ 30638–99. – Введ. 17.06.1999. – Мн. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 17 с.

УДК 620.178.4

ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ ОЦЕНКА ИЗНОСОУСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ СИСТЕМ

С.А. Тюрин, Ю.В. Миранович, Е.П. Панько
УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Проблемы прочности и износостойкости являются центральными в обеспечении надежности и ресурса современных машин и оборудования [1]. При этом наиболее сложными и малоизученными являются закономерности комплексных – износоусталостных повреждений (ИУП) [2]. Последние обусловлены кинетическим взаимодействием явлений усталости, трения в любых его проявлениях, изнашивания и (или) эрозии.

По имеющимся сведениям, в среднем до 90 % и более всех эксплуатационных отказов машин и оборудования происходит по причине развития ИУП. Так, статистика свидетельствует о том, что из общего количества эксплуатационных отказов на автомобильном транспорте отказы, связанные с ИУП, составляют от 50 до 100 % в зависимости от узла. Преждевременные отказы сельскохозяйственной техники в значительной мере определяются такими явлениями, как механическая усталость, трение и изнашивание, износоусталостные повреждения (до 80–90 % отказов). Отказы мелиоративных машин, связанные с ИУП, составляют 86...98 % общего количества отказов. Аналогичные примеры хорошо известны и в других отраслях машиностроения.

Эксплуатационные отказы деталей машин, статистика которых приведена выше, обусловлены и тем числом и несовершенством расчетных методов. Добавим, что недостаточная надежность машин приводит к экономическим потерям, сниженным, в частности, с необходимостью восстановления поврежденных деталей и узлов. Обычно ремонтом автомобилей занято в 4-5 раз больше работающих, чем их производством, а 40 % металла, расходуемого автомобильной промышленностью, тратится на запасные части. Потери рабочего времени из-за выхода техники из строя составляют 35...40 % для сельскохозяйственных машин, 30...40 % – для строительных, 30...35 % – для механизированных комплексов угольной промышленности и т.д. Расходы на ремонт оборудования в черной металлургии равны средствам, которые выделяются для освоения новых мощностей в этой отрасли. Из-за недостаточной надежности машин и оборудования растет риск аварий и катастроф, связанных с жизнью и здоровьем людей, загрязнением окружающей среды. А вопросы безопасности технических систем, как известно, выдвигаются сегодня на первый план.

Следует подчеркнуть, что накопление повреждений в узлах и дета-

лях машин определяется не одним каким-либо повреждающим явлением, а некоторой их совокупностью. Например, долговечность железнодорожных рельсов по критерию механической усталости зависит от интенсивности их механического изнашивания, условий взаимодействия с коррозионной средой.

Теоретический анализ и экспериментальные исследования показывают, что влияние процессов изнашивания на сопротивление усталости при повторно-переменных нагрузках (прямой эффект) и циклических напряжений на износостойкость (обратный эффект) существенны. Игнорирование этих эффектов при традиционной оценке надежности деталей по отдельным критериям (либо сопротивления усталости, либо износостойкости) приводит в ряде случаев к тому, что эксплуатационная долговечность элементов системы оказывается значительно меньше прогнозируемой расчетом.

Такого рода повреждения характерны для силовых систем – так называют механические системы, в которых реализуется процесс трения в любых его проявлениях и которые одновременно воспринимают и транзитно передают повторно-переменную нагрузку. Как правило, это наиболее ответственные и массовые узлы современных машин и оборудования. Чаще всего именно их преждевременные отказы приводят к снижению эксплуатационной долговечности и соответствующему повышению затрат труда, средств и материалов для поддержания работоспособности машин.

В этой связи значимость разработки методов прогнозирующей оценки долговечности силовых систем, приемлемых с инженерной точки зрения, переоценить трудно. В работе кратко изложены основные методы анализа и прогнозирования ИУП, базирующиеся на комплексе теоретических и экспериментальных исследований основных закономерностей такого повреждения. Эти методы разработаны в рамках трибофатики на основе критериев усталости, износостойкости, коррозионно-эрозионной стойкости материалов и моделей силовых систем [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы надежности и ресурса в машиностроении / Под ред. К. В. Фролова и А. П. Гусенкова. – М. : Наука, 1986. – 247 с.
2. Щербаков, С. С. Механика трибофатических систем / С. С. Щербаков, Л. А. Сосновский. – Минск : БГУ, 2011. – 407 с.

УДК 631.352.022

УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НОЖЕЙ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

П.С. Дробышевский¹, С.А. Тюрин², Д.С. Чумак¹

¹ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

²УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Экспериментальное определение характеристик работоспособности ножей кормоуборочных комбайнов в условиях натуральных полевых испытаний, хотя и дает наиболее точные результаты, является весьма длительным, трудоемким, дорогостоящим и реализуемым только в течение уборочного сезона. Между тем на практике довольно часто возникает потребность в ускоренной оценке надежности ножей, в частности, если необходимо быстро сравнительно оценить тот или иной конструктивный вариант ножа с точки зрения его износостойкости. В этой связи разработка методики сравнительных стендовых ускоренных испытаний ножей кормоуборочных комбайнов представляется весьма актуальной.

С целью решения данной проблемы разработана методика ускоренных стендовых испытаний ножей в условиях, близких к эксплуатационным, с использованием которой решается задача по оценке износостойкости ножей сельскохозяйственных комбайнов по двум параметрам: физическому износу и затуплению их режущей кромки. Схема испытаний приведена на рис. 1.

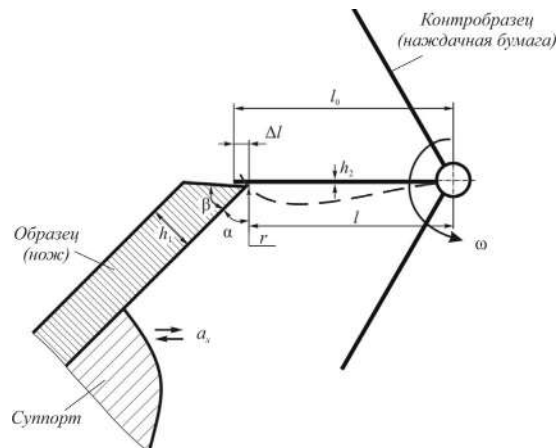


Рис. 1 - Схема стендовых испытаний ножей

В процессе испытаний происходит ударное воздействие на нож консольно закрепленным контробразцом (лента наждачной бумаги), который вращается с угловой скоростью ω . За один цикл испытаний реализуется удар со скольжением и, следовательно, износ передней и задней поверхности испытуемого ножа с обволакиваем его режущей кромки по радиусу затупления (см. рис. 1). Ударно-усталостный процесс изнашивания с

проскальзыванием обеспечивает при испытаниях повреждение ножа, адекватное эксплуатационному: реализуется как физический износ (i) ножа, так и затупление (скругление) радиуса (r) его режущей кромки.

По результатам испытаний проводят определение физического износа ножа (путем измерения его ширины), а также скругление его режущей кромки (путем получения отпечатка его кромки на мягком металле (свинец) (рис. 2, *а*). Измерения проводят в середине поврежденного участка каждого ножа (рис. 2, *б*) с использованием специального приспособления. После получения отпечатков на конфокальном лазерном микроскопе Olympus LEXT OLS3000 получают точные значения радиуса закругления.



Рис. 2 - Отпечатки кромки ножа (*а*) и зона измерений (*б*)

С целью реализации разработанной методики в соответствии с техническим заданием на ОАО «Гомсельмаш» разработан и изготовлен стенд для ускоренных испытаний ножей УИН (рис. 3). Стенд позволяет проводить испытания одновременно двух ножей, изготовленных по различным технологиям, в сопоставимых условиях.

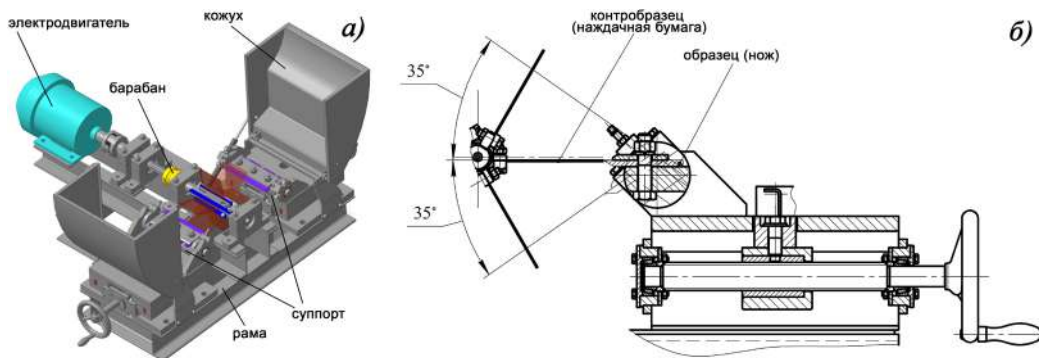


Рис. 3 - Схема расположения основных узлов стенда УИН (*а*) и схема установки образцов и контрольных образцов (*б*)

С использованием разработанной методики проведены сравнительные ускоренные испытания стальных импортных (Австрия, США, Германия) и чугунных (ОАО «Гомсельмаш») ножей. Проведенные испытания показали, что методика позволяет эффективно оценить различные служебные характеристики ножей, изготовленных по различной технологии, что подтверждает ее полезность и эффективность. Разработанная методика утверждена в установленном порядке и используется для проведения стендовых испытаний ножей в ЛКИ-МиС ОАО «Гомсельмаш».

УДК 620.178.1:669.014:621.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПРИСАДОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ

В.Д. Докукин¹, Е.Н. Волнянко², И.В. Царенко¹

¹ 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

Стальные узлы трения – одни из самых распространенных видов трибосопряжений в машиностроении в целом и в сельскохозяйственном машиностроении в частности. Разработка для них высокоэффективных смазочных материалов – актуальная исследовательская задача. Цель данной работы – выявить наиболее эффективные наноприсадки различной химической природы, позволяющие улучшить антифрикционные и противоизносные характеристики смазочных материалов.

В качестве наноприсадок использовали жидкокристаллические материалы: холестерические эфиры стеариновой (ЖКС) и олеиновой кислот (ЖКО); (2) минеральные: серпентинит; (3) медьсодержащие коммерческие присадки: координационные соединения меди (№1, №2).

Для того, чтобы исключить побочные трибоэффекты, в качестве смазочной основы выбрали высокоочищенное вазелиновое масло. Присадки в смазочную основу вводили различными способами, определяемыми необходимостью дополнительного диспергирования или растворения, с использованием внешних энергетических воздействий (обработка ультразвуком, термическое воздействие, гомогенизация с помощью мешалок). Триботехнические испытания проводили на машине трения СМТ-1, где была реализована схема вал-частичный вкладыш, вал из стали 45, вкладыш – сталь 3. Оценивали триботехнические характеристики: коэффициент трения, износостойкость, несущую способность смазочного слоя – параметры, отвечающие за антифрикционность.

Для оценки триботехнических характеристик, приближенных к эксплуатационным, проведены часовые испытания согласно стандартизированной методике на четырехшариковой машине трения. В качестве смазочной основы использовали индустриальное масло. Минимальный показатель износа выявлен у смазочного материала, модифицированного жидкокристаллическими присадками (рис.1). Эта закономерность сохраняется и при более длительных восьмичасовых испытаниях (рис.2).

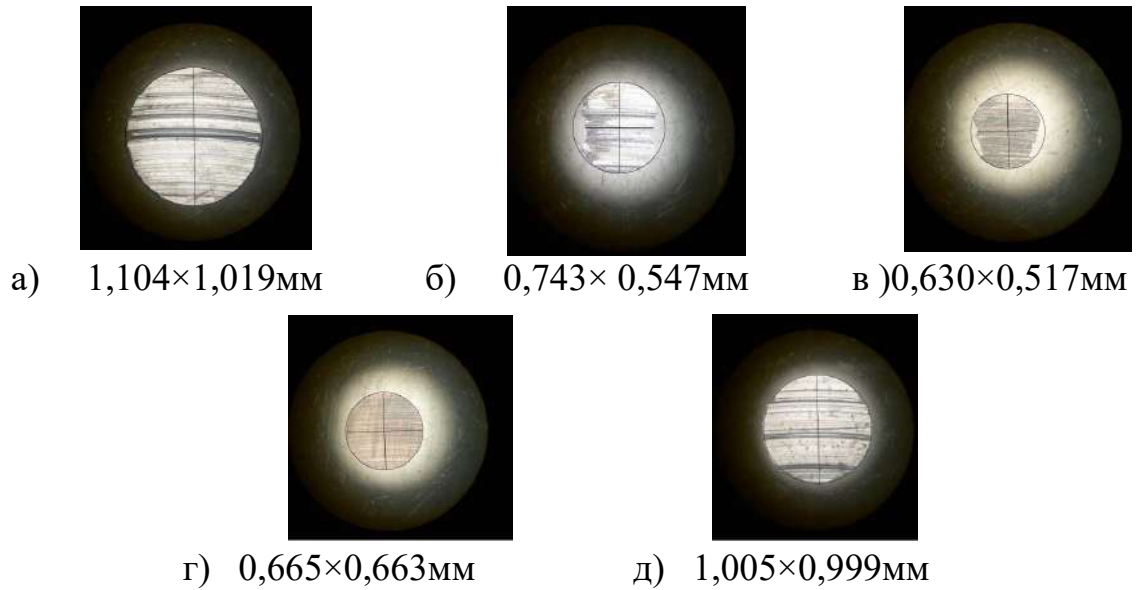


Рис. 1 - Пятна износа после часовых испытаний на четырехшариковой машине трения (стандартная нагрузка 40 кг): а – базовое масло; далее масло, модифицированное присадками б – ЖКО; в – ЖКС; г - №1; д - №2

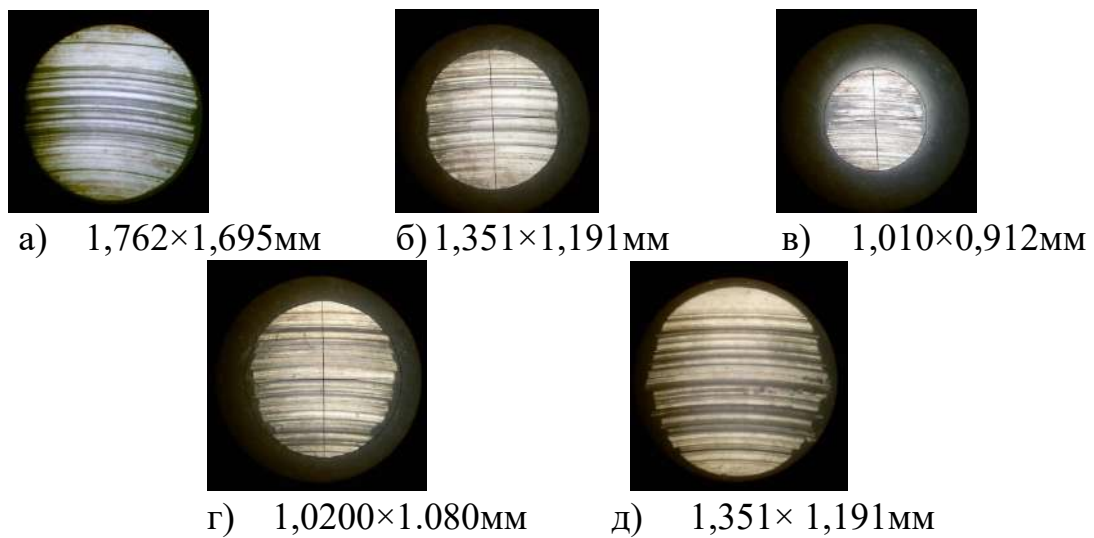


Рис 2 - Пятна износа после восьмичасовых испытаний на четырехшариковой машине трения (стандартная нагрузка 40 кг): а – базовое масло; далее масло, модифицированное присадками б – ЖКО; в – ЖКС; г - №1; д - №2

Установили, что наилучшие результаты показал смазочный материал, модифицированный жидкокристаллической присадкой на основе холестерических эфиров стеариновой кислоты и олеиновой кислоты. Использование в качестве присадок координационных соединений меди также позволяет значительно снизить износ по сравнению с базовым маслом. Однако дорожки трения становятся неоднородными по глубине и длине, что говорит об интенсивном коррозионно-механическом изнашивании.

УДК 621.43

ПАРАМЕТРЫ И КОМПОНОВКИ МЕХАНИЗМА УРАВНОВЕШИВАНИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ДИЗЕЛЕ MMZ-3.6DTI

А.Е. Лещенко, А.Н. Петрученко

ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод»,
г. Минск, Республика Беларусь

Невысокий уровень вибраций один из факторов, обеспечивающих высокие эргономические качества мобильных машин. Появление вибраций обуславливается неуравновешенностью крутящего момента, неуравновешенными силами инерции поступательно движущихся частей, моментами этих сил, статической и динамической неуравновешенностью вращающихся деталей силового агрегата.

Из-за наличия масс, движущихся поступательно и плоскопараллельно, двигатель внутреннего сгорания принято рассматривать как один из основных источников вибраций. Для упрощения анализа влияния двигателя на вибрационные характеристики силового агрегата вводится понятие внешней уравновешенности двигателя.

Двигатель считается полностью внешне уравновешенным, если передающиеся на его опоры силы и моменты этих сил постоянны по величине и направлению. Силы давления газов принято считать уравновешенными. В итоге на опоры двигателя передаются неуравновешенные силы инерции и их моменты, а также неуравновешенный опрокидывающий момент, равный по величине и противоположно направленный крутящему моменту.

Конструктивные схемы большинства двигателей допускают наличие неуравновешенных силовых факторов. Известно, что в четырехцилиндровом, четырехтактном рядном двигателе с «плоским» коленчатым валом, неуравновешены силы инерции второго порядка и момент этих сил. Из анализа динамической уравновешенности двигателя с такой конструктивной схемой следует, что уравновешивание сил инерции приведет к уравновешиванию и момента этих сил.

Уравновешивают силы инерции второго порядка с помощью двух валов с наведенным дисбалансом, обеспечивая их вращение с частотой в два раза превышающей частоту вращения коленчатого вала.

Дисбаланс уравновешивающих валов для дизеля MMZ-3.6DTI равен:

$$\Sigma D_{jII} = \frac{4 \cdot \lambda \cdot R \cdot m_j}{2^2} = \lambda \cdot R \cdot m_j = 0,275 \cdot 0,055 \cdot 2,848 = 0,0431 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

где λ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; R – радиус кривошипа; m_j – масса деталей кривошипно-шатунного механизма, совершающих возвратно – поступательное движение.

Компоновка механизма уравнивания может осуществляться в виде отдельного модуля (кассеты) балансирных валов устанавливаемого под коленчатым валом или в виде уравнивающих валов, установленных в специальных приливах блок-картера.

Первый вариант применяется, когда уравнивающий механизм устанавливается при модернизации существующей конструкции двигателя, в данном случае возможен выпуск двигателей как с уравнивающим механизмом, так и без него. Второй вариант исполнения механизма применяется в проектируемых двигателях, работа которых без механизма уравнивания не предусмотрена. Оси уравнивающих валов в большинстве конструкций располагаются симметрично относительно осей цилиндров в плоскости перпендикулярной этим же осям. В качестве подшипников опор балансировочных валов применяют игольчатые (роликовые) подшипники, обладающие высокой несущей способностью при минимальных габаритных размерах. При возможности подвода масла под давлением к опорам вала могут применяться подшипники скольжения. Привод валов уравнивающего механизма может осуществляться шестерней установленной на носке коленчатого вала или напрессованной на щеку коленчатого вала, а также цепной или ременной передачей.

С учетом полученного значения дисбаланса, необходимости уравнивания двигателя существующей конструкции без значительного увеличения его габаритов, массы, номенклатуры комплектующих разработана компоновка механизма уравнивания, показанная на рис. 1.

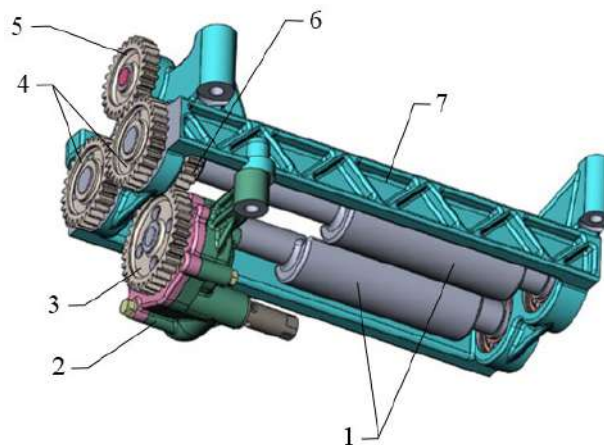


Рис. 1 – Общий вид компоновки механизма:

1 – валы балансировочные; 2 – насос масляный; 3 – шестерня масляного насоса ($z_3=40$); 4 – шестерни синхронизирующие ($z_4=34$); 5 – шестерня промежуточная ($z_5=31$); 6 – шестерня привода масляного насоса ($z_6=25$); 7 – корпус механизма.

УДК 621.793.1:546.171.1

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

Н.Н. Федосенко¹, Н.Ф. Соловей², А.С. Шантыко²,
А.Г. Бердыев¹, Т.В. Кравчук²

¹УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Твердые износостойкие покрытия содержащие соединения на основе нитридов, карбидов и боридов переходных металлов находят широкое применение в машиностроении, металлообработке для повышения износостойкости деталей и инструмента. Покрытия данной группы характеризуются высокими механическими свойствами, такими как твердость, модуль упругости, износостойкость. Одним из наиболее распространённых типов покрытий являются покрытия на основе нитрида титана (TiN), которые применяют для увеличения прочности режущего инструмента, изготовленного из стали Р5М6, или режущих пластинок из карбида вольфрама. Однако стоит отметить, что для данных покрытий существует ряд недостатков, снижающих длительность их эксплуатации: при увеличении температуры работы выше 500 °С происходит их окисление с последующим разрушением. Увеличение жаропрочности таких покрытий осуществляется за счет формирования многокомпонентных покрытий на основе TiN за счет их легирования хромом, алюминием, ванадием или молибденом.

Целью работы является разработка методики формирования композиционных покрытий на основе нитридов титана, легированного алюминием, определение их твердости и упругости в зависимости от режимов осаждения.

Распыление титан-алюминиевой мишени осуществляли магнетронным методом ($I_{\text{разряда}}=1,5$ А, $U_{\text{разряда}}=760$ В) при парциальном давлении смеси рабочих газов равном 4×10^{-2} Па. В качестве подложек использовали полированные пластины монокристалла кремния, предварительно очищенные в ультразвуковой ванне в ацетоне и непосредственно перед осаждением покрытия аргоновой плазмой с использованием ионного источника типа «Радикал». Измерение твердости Н и модуля упругости Е проводили методом наноиндентирования («НаноСкан 4D» ФГБНУ «ТИС-НУМ, РФ). Измерения проводили в режиме однократного нагружения-разгружения в 15 разных точках на поверхности образца при максимальной нагрузке на индентор 40 мН.

За счет изменения расхода рабочих газов (таблица 1), подаваемых в вакуумную камеру при распылении композиционной титан -алюминиевой мишени, можно варьировать химический, фазовый состав покрытий, что приведет к изменению механических характеристик покрытий. Режимы осаждения и механические свойства приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Механические свойства покрытий.

Покрытие	Расход Ar, мл/мин	Расход N ₂ , мл/мин	Толщина d, мкм	Твердость H, ГПа	Модуль упругости E, ГПа
TiN	50	10	0,9	12,3	248,3
Al-TiN	60	0	1,2	6,1	153,2
Al-TiN	55	5	0,7	8,2	158,2
Al-TiN	50	10	0,9	17,3	375,4
Al-TiN	45	15	0,9	16,9	368,2

Увеличение твердости композиционных Al-TiN покрытий, осажденных при высоких расходах азота (10 и 15 мл/мин) происходит за счет формирования в объеме покрытия фаз TiN и AlN, и согласно [2], преимущественно определяется образованием мелкодисперсной фазы AlN. Для установления связи между механическими свойствами и составом покрытия планируется провести комплексные исследования структуры покрытий методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и рентгеновского дифракционного анализа.

Закключение. Установлена зависимость твердости и модуля упругости осажденных покрытий от отношения рабочих газов (N₂/Ar) в камере. Показано увеличение твердости покрытий при их легировании алюминием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лучанинов А.А., Стрельницкий В.Е. «Покрытия системы Ti-Al-N, нанесенные PVD методами» // Физика и инженерия поверхности, Т. 10. №1, 2012. – С. 4-21.
2. Комаров Ф.Ф. [и др.] «Получение и свойства покрытий TiAlN на стали» // Ползуновский альманах. № 2, 2014. – С. 10-15.

УДК 621.73

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА КЛАВИШНОГО СОЛОМОТРЯСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Н.Ф. Соловей, Т.В. Кравчук, Н.Н. Белая, Л.А. Мороз
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В конструкции молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочных комбайнов ОАО «Гомсельмаш» применяются четырех- и пятиклавишные соломотрясы. Клавиши соломотряса с помощью подшипников крепятся на шейках ведомого и ведущего коленчатых валов.

В процессе изготовления и эксплуатации зерноуборочных комбайнов зафиксированы случаи разрушений коленчатых валов КЗК-12-0212601/602.

Установлено: разрушения ведомых валов происходят преимущественно в средней части вала в зоне крепления подшипника и носят систематический характер; вышедшие из строя коленчатые валы КЗК-12-0212601/602 изготовлены из проката производства ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ-МЕТИЗ».

Цель проведенных исследований – установление причин, вызывающих разрушение коленчатых валов соломотряса.

Объект исследования – коленчатый вал КЗК-12-0212601, разрушенный в процессе изготовления в ОАО «Гомсельмаш».

В ОАО «Гомсельмаш» коленчатые валы изготавливают методом горячей штамповки. Согласно КД основной материал 5-клавишных коленчатых валов КЗК-12-0212601/602: Круг $\frac{h10-MД-40 \text{ ГОСТ } 7417-75}{35-A-M1-TB2-KUB-T-TO \text{ ГОСТ } 1051-73}$.

Влияние горячей гибки на структуру и механические свойства исследовали с помощью оптического металлографического микроскопа МИ-1 с системой фотофиксацией при увеличении 100х; микротвердость на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 200 г и шагом измерения 2000 мкм в соответствии с ГОСТ 9450-76. Образцы были вырезаны из зоны излома и изгиба по сечению коленчатого вала соломотряса зерноуборочного комбайна.

Микроструктура исходного материала образцов коленчатого вала представляет собой ферритно-перлитную смесь 5-6 балл (ГОСТ 5639-82). В тоже время наблюдается ферритная строчечность (рис. 1), присутствуют единичные зерна феррита неправильной оскольчатой формы, неметаллические включения в виде силикатов недеформирующихся СН -2б и оксиды точечные ОТ-0,5б. Существующий технологический процесс (кратковременный нагрев вала ТВЧ до температуры $750 \pm 50^\circ\text{C}$) не устраняет

имеющиеся несовершенства микроструктуры, ведет к образованию переходных участков в зоне крепления подшипника и возникновению концентраторов напряжений.

Разброс значений микротвердости составляет 40-50% (см. рис.2). В процессе изготовления валов увеличивается неоднородность строчечности, появляются разрывы ферритных зерен, сохраняется оскольчатая форма зерен феррита.

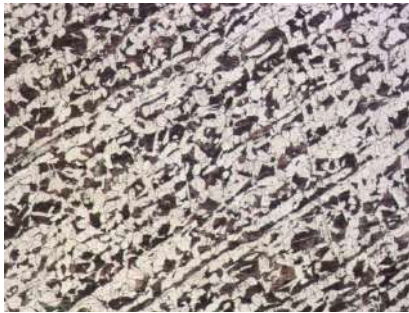


Рис.1 - Ферритная строчечность

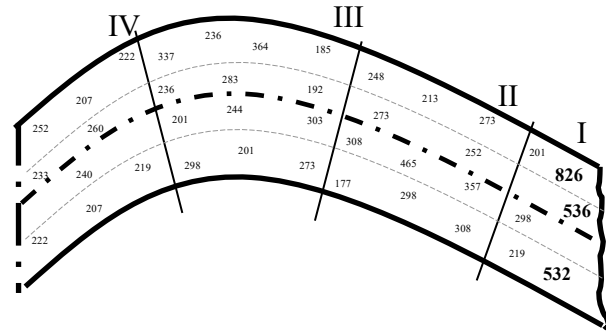


Рис. 2 Изолинии распределения микротвердости, HV0.2

Напряжения, возникающие в коленчатом валу, в зонах максимальной микротвердости при знакопеременной деформации начинают приближаться к пределу текучести данного материала. Совокупность указанных несовершенств микроструктуры и напряжений при работе комбайна ведет к зарождению и развитию трещин и, в конечном итоге, к разрушению вала.

Таким образом, основными предпосылками разрушения вала при изготовлении и эксплуатации явилось: использование материала с неподготовленной исходной структурой, отсутствие жесткого контроля режима нагрева, нестабильность температуры окружающей среды и неконтролируемая скорость деформации. При изготовлении коленчатых валов соломотряса необходимо использовать металл с подготовленной структурой, исключить образование переходных зон. Горячая штамповка должна производиться в условиях стабилизированных температур, исключающих ускоренное или замедленное охлаждение. Скорость охлаждения должна быть стабильной для всех периодов изготовления.

Рекомендовано для устранения указанных недостатков провести работы по использованию металла из стали 35, S355J2 производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК» с гарантированным уровнем качества исходной структуры и поверхности.

УДК 621.74.043.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ

А.Г. Слуцкий, А.П. Бежок, М.М. Шокиров,
И.А. Касперович, Е.А. Малышко
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время для получения отливок из цветных металлов на алюминиевой, магниевой и медной основах, из чугуна широко применяется литье в постоянные формы. Данный способ по сравнению с литьем в песчаные формы имеет ряд преимуществ, в связи с чем он получил распространение во всех отраслях промышленности.

Повышенная скорость кристаллизации и благоприятные условия для ее направленности, создаваемые металлическими формами, позволяют уменьшить размеры и массу прибылей, а также снизить припуски на механическую обработку отливок.

Кром того он избавляет от целого ряда дефектов в виде засоров, намывов, ужимин, пригара и других, характерных для отливок, получаемых при литье в песчаные формы. Литые заготовки имеют высокую плотность по всему сечению, что обеспечивает повышение на 10-15 % механических свойств [1].

Был проведен анализ качества отливок из алюминиевого сплава АК5М2, изготавливаемых литьем двойной заготовки в открытую металлическую форму. Установлено, что при общем показателе в 10% значительная часть брака приходится на газовую пористость экзогенного характера (до 7%). Это обстоятельство вызвало необходимость в совершенствовании технологии литья.

Был предложен вариант получения отливки в одноместный открытый кокиль (рис. 1а). С использованием компьютерного моделирования провели анализ процесса кристаллизации алюминиевого сплава АК5М2 с использованием программы «SALOME». Отливка характеризуется переменным сечением, что требует определенного подхода к разработке технологии литейной формы. В качестве материала кокиля был выбран серый чугун марки СЧ20, как наиболее дешевый и технологичный. Для минимизации усадочных дефектов были проанализированы различные варианты высоты прибыльной части (10,20,30 и 40 мм).

Установлено, что при высоте прибыли равной 20 мм обеспечивается формирование плотной отливки без усадочных дефектов (рис. 1б). При меньшей высоте прибыли усадка переходит в тело отливки, что недопустимо.

На основании полученных данных моделирования проведена корректировка кокильной оснастки и в лабораторных условиях проведены испытания технологии получения отливки «Втулка» (рис. 1в), изготовлена опытная партия и проведены исследования качественных характеристик.

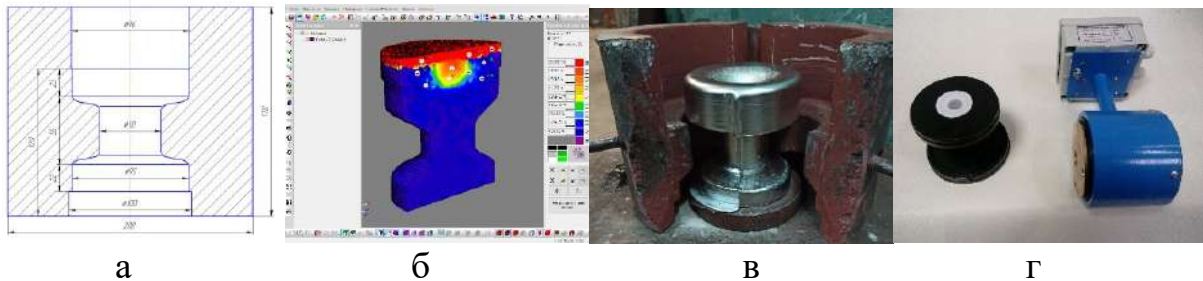


Рис. 1 – Технология получения и применения кокильной отливки «Втулка» из алюминиевого сплава: а – чертеж открытого одноместного кокиля; б – результаты моделирования процесса кристаллизации алюминиевого сплава; в – опытная отливка по разработанной технологии; г – готовая деталь для прибора учета тепла

Установлено, что технология позволяет существенно снизить брак литья, особенно по усадочным явлениям. Кроме того, наличие открытой прибыли в одноместном кокиле практически исключает дефекты отливок по газовым экзо-включениям.

Опытная партия отливок прошла полный цикл механической обработки и использована при комплектации приборов учета тепла (рис. 1г).

Таким образом, на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований совершенствована технологии получения отливок «Втулка» из сплава АК5М2, что обеспечило значительное повышение их качественных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Специальные способы литья / В.А. Ефимов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1991. – С. 74-75.

УДК 621

ВЫСОКОПЛОТНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ДЕТАЛИ ИЗ ПОРОШКОВОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПК40МД

П.Н. Киреев, В.Н. Гучек, Н.В. Кривуленко
ГНУ «Институт порошковой металлургии имени
академика О.В. Романа» г. Минск, Республика Беларусь

Определяющим условием современного технического прогресса является разработка и создание новых материалов с улучшенными свойствами, снижение материалоемкости при производстве промышленной продукции. В решении этой задачи большая роль принадлежит порошковой металлургии.

Самый распространенный вид продукции порошковой металлургии - порошковые конструкционные материалы и изделия из них. Главной целью научных исследований в этой области является повышение прочности материалов - от этого зависит дальнейшее расширение их применения в машиностроении.

Высокие характеристики порошковых конструкционных материалов могут быть достигнуты повышением плотности прессовок, рациональным комплексным легированием, рациональной термической и химико-термической обработкой.

При массовом производстве конструкционных деталей средней прочности из порошковых низколегированных сталей, таких как Astaloy Mo, Astaloy 85Mo, Distaloy AB и др., в настоящее время наиболее широкое распространение получили холодное деформирование спеченных заготовок и теплое прессование порошков в изотермических условиях.

Холодная пластическая деформация спеченных заготовок обычно характеризуется следующими преимуществами: высокая производительность, высокая размерная точность и чистота поверхности готовых изделий, высокий коэффициент использования металла. Однако холодное деформирование спеченных заготовок имеет и недостатки – это, прежде всего, низкая деформируемость спеченных заготовок из порошковых низколегированных сталей. В результате при давлениях 0.95 - 1.1 ГПа, которые развиваются на заключительных стадиях формообразования при холодном деформировании спеченных заготовок, плотность готовых изделий составляет 7.22 - 7.24 г/см³. Кроме того, при изготовлении деталей с развитой боковой поверхностью (детали зубчатых зацеплений и др.) наиболее ответственный поверхностный слой характеризуется повышенным содержанием пор и неравномерным их распределением. Это приводит к снижению целого ряда свойств, таких как прочность, пластичность и вязкость.

В последние годы все более широкое применение находит процесс теплового прессования порошковых низколегированных сталей в изотерми-

ческих условиях с введением в шихту в качестве твердой смазки высокополимеров. Переход полимеров в температурной области 120 - 150 °С в вязкое состояние уменьшает трение между частицами в процессе их уплотнения, увеличивает роль относительного проскальзывания частиц, что позволяет получать изделия конструкционного назначения плотностью 7.40 - 7.42 г/см³ (в зависимости от структурного состояния частиц шихты) без использования дополнительной операции калибровки.

Из вышеизложенного следует, что разработка новых технологических процессов изготовления изделий из порошковых низколегированных сталей плотностью выше 7.58 г/см³ до настоящего времени остается одной из важнейших и актуальнейших задач, требующих постоянного расширения как экспериментальных так и теоретических исследований.

В Институте порошковой металлургии разработана порошковая низколегированная молибденсодержащая сталь ПК40МД и технология изготовления из нее высокоплотных конструкционных деталей ответственного назначения, преимущественно цилиндрических зубчатых колес, шлицевых втулок, звездочек, кулачков и пр., плотностью ≥ 7.58 г/см³.

В настоящее время все более широкое применение для изготовления цементуемых деталей находят порошковые никель- и молибденсодержащие стали Astaloy Mo, Astaloy 85Mo и Distaloy DC производства фирмы Hогanas (Швеция). Однако область их применения ограничена вследствие плохой обрабатываемости спеченных заготовок давлением.

Пластическая деформация металлических материалов и порошковых сталей в том числе является результатом зарождения и перемещения дислокаций вдоль определенных плоскостей и направлений в поле действия сил различной природы и интенсивности. Основными механизмами деформационного упрочнения металлических поликристаллических материалов являются: зернограничный, твердорастворный, дислокационный и упрочнение дисперсными частицами.

После охлаждения от температуры спекания порошковые гомогенно легированные молибденсодержащие стали, такие как Astaloy Mo, Astaloy 85Mo и др., имеют ферритно-перлитную структуру. Часть Mo находится в твердом растворе в α -железе и около 10% - в специальных карбидах Mo₂C или сложных карбидах железа и Mo типа (FeMo)₃C и (FeMo)₂₃C₆. Образование твердого раствора из атомов Mo в γ -железе в процессе спекания существенно понижает скорость распада аустенита в перлитной и бейнитных областях, при этом резко возрастает продолжительность инкубационного периода и продолжительность полного распада аустенита.

Порошковые гомогенно легированные молибденсодержащие стали вследствие повышенной устойчивости аустенита в процессе охлаждения от температуры спекания относятся к числу самозакаливающихся. Микроструктура подобных сталей после спекания представляет собой смесь

не только феррита и перлита, но также сорбита и бейнита, в которой преобладающей структурной составляющей является бейнит. Холодное деформирование спеченных заготовок с подобной структурой, состоящей из твердого раствора Мо в феррите, сложных и специальных карбидов, сорбита и бейнита, затруднено и не позволяет получать изделия с плотностью выше 7.22 - 7.24 г/см³.

Эффективный способ повышения деформируемости спеченных заготовок, разработанный в Институте порошковой металлургии имени академика О.В. Романа, - использование для приготовления шихты механической смеси порошков железа, углерода и в качестве легирующего элемента оксида молибдена МоО₃ и проведение деоксидирования прессованных заготовок в температурной области аномальной диффузионной подвижности атомов железа.

При проведении деоксидирования в температурной области аномальной диффузионной подвижности атомов железа оксид молибдена вследствие своей летучести переходит в газообразное состояние, конденсируется на железных порошках и восстанавливается до металлического молибдена, образуя на поверхности частиц железа тонкую, равномерно распределенную сетку. Одновременно в процессе деоксидирования протекают процессы аннигиляции образовавшихся в процессе прессования заготовок дислокаций и рекристаллизационные процессы в железных порошках, составляющих основу прессовок.

Таким образом, после деоксидирования структура порошковой стали состоит из рекристаллизованных, лишенных субструктуры частиц α - железа, покрытых тонкой пленкой Мо. Подобная структура характеризуется низким сопротивлением пластической деформации и высокой пластичностью.

Кинетика уплотнения порошковых спеченных заготовок под действием приложенной нагрузки определяется деформируемостью, которая, в свою очередь, зависит от числа действующих механизмов деформации. Основными механизмами при холодном деформировании порошковых стальных заготовок являются скольжение и двойникование. Однако при определенных условиях наряду с традиционным скольжением дислокаций вдоль определенных плоскостей и направлений межчастичные контакты могут представлять собой систему площадей скольжения, деформационные процессы в которых оказывают существенное влияние на пластические характеристики порошковых низколегированных сталей.

Реализовать механизм пластической деформации проскальзыванием по межчастичным контактам при деформировании заготовок из порошкового железа возможно после проведения предварительной термической обработки (ПТО) прессованных заготовок в температурной области аномальной диффузионной подвижности атомов железа.

Для образования прочного соединения при консолидации порошковых систем характерны две стадии: стадия развития физического контакта (сближение атомов порошковых частиц) и стадия химического взаимодействия фаз. Возникновение физического контакта является необходимым, но недостаточным условием образования прочного соединения. Реализация потенциальных возможностей данного процесса происходит на стадии активации вступивших в контакт поверхностей при ПТО за счет аномальной диффузионной подвижности атомов железа .

В процессе выдержки при ПТО вследствие аномальной диффузионной подвижности атомов железа и избыточной свободной энергии в локальных областях физического контакта происходит активация вступивших в контакт поверхностей с образованием в местах контактирования решетки совпадения. Вектор Бюргерса дислокаций решетки совпадения в общем случае отличается от вектора Бюргерса решеточных дислокаций. Пластические сдвиги в решетке совпадения осуществляются скольжением особого рода супердислокаций, движение которых ведет к "чистым" проскальзываниям вдоль межчастичных контактов.

Таким образом, при изготовлении заготовок из порошковых никелегированных сталей с применением оксидов молибдена после проведения ПТО формируется специфическая микроструктура, характеризующаяся высокой деформируемостью, что дает возможность получать изделия при холодном деформировании прессованных заготовок плотностью $\gamma \geq 7.58 \text{ г/см}^3$.

Для изготовления высокоплотных цементуемых деталей ответственного назначения разработана порошковая низколегированная сталь ПК40МД*. Символ * означает, что при назначении шихты для данной стали в качестве молибденсодержащего компонента используется оксид молибдена MoO_3 .

При разработке химического состава новой порошковой стали учитывали требования, предъявляемые к цементуемым деталям: твердость после нитроцементации закалки и низкого отпуска должна составлять 58 - 62 HRC, предел прочности зубьев шестерен на изгиб – 1800 МПа, структура слоя представляет собой мелкоигольчатый мартенсит с небольшими изолированными участками остаточного аустенита, а структура сердцевины - малоуглеродистый мартенсит или бейнит без выделений структурно-свободного феррита.

Руководствуясь рассмотренными предпосылками, был разработан состав цементуемой порошковой стали ПК40МД*. Для обеспечения необходимых прокаливаемости, прочностных и пластических свойств сталь легировали молибденом и медью. Образование твердого раствора из атомов Мо в λ - железе в процессе выдержки под закалку существенно понижают скорость распада аустенита в перлитной и бейнитной областях, при этом резко возрастает продолжительность инкубационного периода и продол-

жительность полного распада аустенита. Положительное действие молибдена на прочностные характеристики и износостойкость после нитроцементации проявляется при его содержании до 0.8 %. Молибден относится к числу слабых карбидообразующих элементов и поэтому его влияние на свойства стали при концентрации < 0.8 % проявляется преимущественно через твердый раствор. При легировании порошковых сталей молибденом более 0.8 % в процессе нитроцементации образуются специальные дисперсные карбиды Mo_2C округлой формы, уменьшается подвижность углерода в железной матрице, что приводит к уменьшению толщины упрочненного слоя и сопротивления хрупкому разрушению.

Медь в отличие от молибдена относится к категории некарбидообразующих элементов, увеличивает эффективный коэффициент диффузии углерода и уменьшает энергию активации при малом изменении предэкспоненциального члена D_0 . Медь искажает кристаллическую решетку аустенита, повышает его свободную энергию и тем самым ускоряет диффузию атомов углерода и толщину упрочненного слоя при химико-термической обработке.

Растворимость меди в α -железе при комнатной температуре составляет 0.35 - 0.40 %. Наличие в стали около 0.4 % Cu обуславливает заметное повышение характеристик прочности без снижения пластических свойств и ударной вязкости. В [4] показано, что сравнительно небольшое пересыщение медью твердого раствора при содержании в стали не выше 0.7 % Cu вследствие ее невысокой диффузионной подвижности при комнатной температуре практически исключает выделение дисперсной медистой ε -фазы не оказывает вредного влияния на характеристики механического поведения сталей.

Таким образом, положительное влияние меди на прочностные характеристики низколегированных сталей связаны с ее упрочняющим воздействием на твердый раствор и с влиянием на интенсивность диффузионных процессов.

Легирование другими элементами нецелесообразно, так как не дает существенного роста комплекса свойств, но усложняет технологический процесс и приводит к необоснованному удорожанию порошковой низколегированной стали. Рекомендуемый химический состав стали ПК30МД* следующий: 0.6 - 0.8 % Cu, 0.7 - 0.9 % Mo, 0.2 - 0.3 % C.

УДК 621.828.2

ПУТИ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВОЙ ЖЁСТКОСТИ САЙЛЕНТБЛОКОВ

Д.А. Дубовик, Н.П. Першукевич, О.А. Баран
ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

В сельскохозяйственной технике в качестве упругих шарниров используются сайлентблоки, подвижность которых обеспечивается эластичностью упругой вставки. Угловая жёсткость сайлентблоков оказывает значительное влияние на нагруженность привода и вибрацию машины [1]. Конструкция сайлентблока, его геометрические размеры, а также материалы, используемые для упругой вставки, влияют на его угловую жёсткость. Целью настоящей работы являлась оценка влияния указанных аспектов на угловую жёсткость цилиндрических сайлентблоков, используемых в механизмах зерноуборочных комбайнов.

Для обеспечения плотности контакта в соединении упругой вставки используются как технологические (вулканизация резины), так и конструктивные (создание натяга Δ в соединении вставки с металлической втулкой) методы. Конструкция сайлентблока определяет вид формул для определения его угловой жёсткости c . В случае соединения упругой вставки с металлическими элементами силами адгезии [2]:

$$c = \frac{4\pi G l r_2^2 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2},$$

где G – модуль сдвига материала упругой вставки; r_1 , r_2 , l – внутренний, наружный радиусы и длина вулканизированного резинового кольца.

Для сайлентблока, в котором соединение вставки с металлической втулкой обеспечивается силами трения, расчёт угловой жёсткости определяется в соответствии с [2, 3], при этом основной характеристикой является степень обжатия λ упругой вставки:

$$\lambda = 1 - \frac{\Delta}{r_2 - r_1}.$$

В механизмах зерноуборочного комбайна наибольшее применение имеет конструкция, в которой упругая вставка крепится на внутренней втулке силами адгезии, а на наружном – при помощи натяга. Поэтому оценка влияния геометрических размеров и степени обжатия на угловую жёсткость была выполнена для такой конструкции при следующих начальных исходных данных: $r_1 = r_1' = 18$ мм, $r_2 = 29,5$ мм, $r_2' = 28$ мм, $l = 60$ мм, $G = 1,0945$ МПа. Анализ показал, что угловая жёсткость сайлентблока при прочих равных условиях линейно зависит от длины упругой вставки. В диапазоне изменения наружного радиуса от 28 до 40 мм жёсткость снижается приблизительно на 30% (рис.1). Для постоянной степени

обжатия упругой вставки ($\lambda = 1,13$) влияние её наружного радиуса на жёсткость более значительное, чем для сайлентблока с постоянным радиусом $r_2' = 28$ мм, степень обжатия которого находится в диапазоне от 1 до 1,545. Зависимость угловой жёсткости от степени обжатия вставки также имеет нелинейный характер (рис. 2), при этом с ростом степени обжатия значение жёсткости вначале плавно снижается, а затем резко возрастает при значениях выше $\lambda > 1,8$.

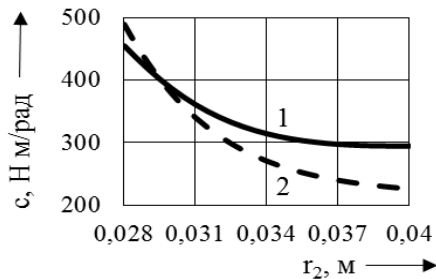


Рис. 1 - Зависимость угловой жёсткости от наружного радиуса упругой вставки при переменной (1) и постоянной (2) степени обжатия

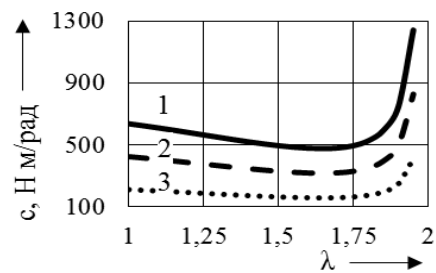


Рис. 2 - Зависимость угловой жёсткости от степени обжатия упругой вставки: 1 – $l = 90$ мм, 2 – $l = 60$ мм, 3 – $l = 30$ мм

В качестве материалов упругой вставки наиболее часто используются резины на основе комбинации синтетических дивинильного и изопренового каучуков, например, 7-ИРП-1315. Проведенные исследования показали, что замена резины на полиуретан приводит к необходимости модифицирования конструкции сайлентблока и механизма в целом.

Таким образом, изменение жёсткости сайлентблоков предлагается осуществлять путём варьирования их геометрических параметров и степени обжатия их упругой вставки. Это позволяет варьировать их угловой жёсткостью в довольно широком диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шантыко, А.С. Экспериментальная оценка влияния сайлентблоков на нагруженность привода очистки / А.С. Шантыко [и др.] // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник тез. докл. IV международ. науч.-практ. конф. – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2020. – с. 45-46.

2. Потураев, В. Н. Резиновые детали машин / В. Н. Потураев, В. И. Дырда. – Москва: Машиностроение, 1977. – 216 с.

3. Дубовик, Д.А. Расчёт угловой жёсткости резинометаллического шарнира очистки зерноуборочного комбайна / Д.А. Дубовик [и др.] / Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 23-24 апреля 2020 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 80-81.

УДК 004.942:532

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ «АМКОДОР 9531» В СРЕДЕ «FLUIDSIM»

Е.В. Хазеев, Д.Л. Стасенко, А.А. Гинзбург, Ю.А. Андреев
 УО «Гомельский государственный
 технический университет имени П. О. Сухого»,
 г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. В современных мобильных машинах применяются мехатронные системы, при проектировании которых необходимо учитывать работу гидравлического привода, систему электроуправления, динамику движения машины и кинематику [1]. С помощью имитационного моделирования можно решать задачи регулирования, управления, статики, динамики, энергетики гидравлических механизмов с единых методических позиций, и объединять все исследования в одно ядро расчетного комплекса. Пакет «FluidSim» представляет собой программное обеспечение для моделирования работы и управления системами гидропривода. С помощью данной программы, можно конструировать схемы гидропривода и гидроавтоматики с ручным, электрическим и электронным управлением [1].

Целью работы является имитация работы электрогидравлической системы снегоочистителя «Амкодор 9531» в различных условиях эксплуатации.

Основная часть. Объектом исследования является разработка имитационной модели гидропривода снегоочистителя «Амкодор 9531» предназначенного для подъема, опускания рабочего органа и поворота кожуха ротора (рис. 1.) и возможность применения программы «FluidSim» для начальной оценки параметров системы.

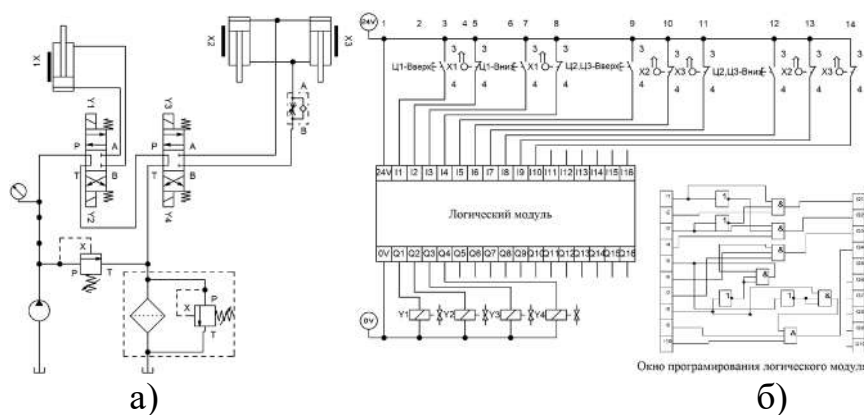


Рис. 1 - Схема гидравлическая принципиальная (а) и электросхема (б) снегоочистителя «Амкодор 9531» построенные в программе «FluidSim»

Исполнительными механизмами данного гидропривода являются цилиндр поворота кожуха ротора и цилиндры подъема рабочего органа управляемые распределителями с электроуправлением [2].

Для моделирования гидравлической схемы использовались элементарные схемы гидравлических аппаратов, из библиотеки «FluidSim» (рис. 1, а). Создание системы электронного управления реализовано с помощью составления электрической схемы управления автоматического переключения управляющих электромагнитов распределителя в заданный момент времени (рис. 1, б).

В логическом модуле при помощи основных логических элементов из библиотеки «FluidSim» (рис. 1, б), реализуется необходимый порядок работы гидросистемы, который обеспечивает блокировку работы нескольких входных сигналов при одновременном нажатии нескольких кнопок управления, тем самым обеспечивая отсутствие сбоев в работе гидросистемы при ее управлении.

Таким образом элементы гидравлической (распределители) и электрической (электромагниты) схем создают электрогидравлическую схему привода снегоочистителя «Амкодор 9531».

В режиме моделирования можно наблюдать работу гидросистемы на основе созданной имитационной модели. Результатом создания модели в среде «FluidSim» являются графики работы цилиндров рабочего органа снегоочистителя и цилиндра поворота кожуха ротора (рис. 2.).

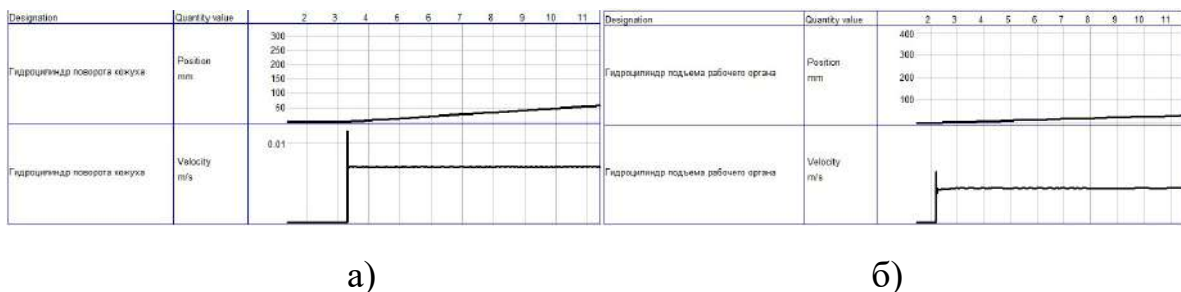


Рис. 2 - Графики хода гидроцилиндра поворота кожуха ротора (а), и хода гидроцилиндра подъема рабочего органа (б) снегоочистителя «Амкодор 9531»

Заключение. В результате имитационного моделирования электрогидравлической гидросистемы снегоочистителя «Амкодор 9531» в различных условиях эксплуатации удалось проверить работоспособность гидросистемы при различных характеристиках насоса и различных условиях нагружения, что позволяет выявить и устранить негативные факторы при работе системы на ранних этапах проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков А.В. Исследование работы гидропривода с помощью программы fluidsim // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 5-1.
2. Снегоочиститель шнекороторный «Амкодор 9531»: Руководство по эксплуатации 9531.00.00.000 РЭ - ОАО «Амкодор», Минск 2011. – 70 с.

УДК 621.777: 621.79

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЛАКИРОВАНИЯ ВОЛОЧЕНИЕМ

Н.В. Иноземцева
УО « Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Способы нанесения металлических порошковых покрытий на металлическую основу в технологиях плакирования методом совместной пластической деформации основы и порошка покрытия отличаются высокой производительностью и обеспечивают получение слоистых материалов. Эти материалы обладают широким спектром и уникальным сочетанием таких ценных свойств, как высокая прочность, коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, жаропрочность, износостойкость и др. Сегодня эти материалы находят все большее применение в автотракторостроении, приборостроении, металлургическом, горнодобывающем, нефтяном, сельскохозяйственном и др. отраслях машиностроения. Из поли- и биметаллов изготавливают листы, ленты, прутки, проволоки, трубы, фасонные профили, детали и конструкции различной конфигурации. Применение слоистых металлических композиций позволяет не только повысить надежность и долговечность большой номенклатуры деталей и оборудования, но и существенно сократить расход высоколегированных сталей, дефицитных и дорогостоящих цветных металлов, снизить энергоемкость и металлоемкость, расходы на техническое обслуживание, производство запчастей и ремонт оборудования.

Совместная пластическая деформация реализуется с помощью операций обработки металлов давлением, таких как обратное выдавливание, прокатка и волочение. В работе [1] приводятся схемы формирования покрытий на основе с помощью применения металлических порошков в процессе их совместной пластической деформации, выявлены закономерности образования соединения между металлической основой и порошковым покрытием на стадии их совместной пластической деформации, выраженные через технологические параметры. Создание нормальных контактных напряжений обеспечивает получение качественного соединения между соединяемыми слоями, а также получение качественного покрытия. Поэтому их анализ является актуальным. В работе [2] было рассмотрено напряженно-деформированное состояние на первом участке, где происходит увеличение плотности порошка металла от состояния утряски до состояния компактного металла. Были получены зависимости для расчета нормального

контактного давления p_x в покрытии и продольного напряжения σ_{cx} в сердечнике.

Данная работа посвящена рассмотрению второго участка рабочего конуса волокна, где происходит дальнейшая деформация формируемого покрытия до момента, когда напряжение в сердечнике достигнет предела текучести. Возникающие в центральных слоях растягивающие напряжения могут при некоторых условиях (большой угол конусности, высокие обжатия и коэффициенты трения) вызвать нарушение целостности протягиваемого металла в центральных слоях, распространяющееся затем на периферию. Поэтому анализ напряженного состояния на втором участке является актуальным.

На третьем участке происходит совместная деформация, как покрытия, так и сердечника.

На основании теоретических исследований были получены зависимости для определения нормального напряжения p'_x в слое покрытия и растягивающего напряжения σ'_{cx} в сердечнике на втором участке формирования покрытия в процессе волочения.

Зависимость распределения нормального контактного давления вдоль очага деформации на втором участке формирования покрытия имеет вид

$$p'_x = \left[p_1 - \frac{B_3}{A_2} - \frac{B_2}{(A_2 + 1)(D_k^2 - d^2)} \right] \frac{(D_x^2 - d^2)^{A_2}}{(D_k^2 - d^2)^{A_2}} + \frac{B_2}{(A_2 + 1)(D_x^2 - d^2)} + \frac{B_3}{A_2}. \quad (1)$$

Продольное напряжение в сердечнике определяется по зависимости

$$\sigma'_{cx} = \sigma_{cx} + A_3(D_k - D_x) + B_4 \frac{1}{2d} \ln \left| \frac{(D_k - d)(D_x + d)}{(D_k + d)(D_x - d)} \right|. \quad (2)$$

Значения p'_x и σ'_{cx} в конце второго участка будут являться начальными параметрами напряженно-деформируемого состояния третьего участка рабочего конуса волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобарикин, Ю.Л. Технологическое условие образования соединения между металлической основой и порошковым покрытием на стадии их совместной пластической деформации в технологиях плакирования / Ю.Л. Бобарикин, Н.В. Иноземцева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2006. – №3. – С. 15-21.
2. Бельский, А.Т. Теоретическое исследование напряженного состояния в очаге деформации при формировании покрытия в процессе волочения / А. Т. Бельский, Н. В. Иноземцева // Вестник ГГТУ им. П. О.Сухого: научно-практический журнал. - 2020. - № 1. - С. 23-31.

УДК 620.197.2

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВУОКСИ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ

Н.Н. Федосенко¹, Н.Ф. Соловей², Н.А. Алешкевич¹, А.С. Шантыко²,
Е.А. Кулеш¹, А.Г. Бердиев¹

¹ Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь;

² Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Тонкие оксидные пленки (толщиной от долей микрометра до нескольких микрометров), получаемые в вакууме, обладают уникальными свойствами. Оксидные и полимерные покрытия микронных и субмикронных толщин представляют большой интерес для формирования антибликовых покрытий на экране бортового компьютера сельскохозяйственной техники.

Ранее, выполненные исследования покрытий показали, что их микроструктура и оптические свойства во многом зависят от технологии их формирования. В свою очередь, покрытия на основе оксида кремния SiO₂ характеризуются стабильным показателем преломления независимо от технологии формирования. При этом оптические свойства таких покрытий на основе двуоксида циркония и кремния являются важным целевым параметром, и определяются спектральной зависимостью энергетических и амплитудных коэффициентов пропускания и отражения, которые, в свою очередь, являются функциями показателя преломления и толщины отдельных слоёв.

Получение покрытий на основе двуоксида циркония и кремния осуществлялось с использованием установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и системой непрерывного контроля оптических характеристик Iris 0211.

Исследование оптических свойств полученных оксидных покрытий проводилось на спектрофотометре Photon RT со спектральным диапазоном 200 – 4000 нм. Морфология поверхности покрытий исследовалась на атомно-силовом микроскопе Solver P47 PRO. Адсорбционная активность поверхностей многослойных интерференционных покрытий, осажденных на различные подложки, оценивали путем расчета краевого угла смачивания поверхности. Захват и распознавание изображения лежащей капли жидкости проводили с помощью специально разработанного программно-аппаратного комплекса «Капля-2» с частотой от 1 Гц.

Результатом проведенных ранее комплексных исследований оптических свойств однослойных покрытий на основе оксидов кремния и цир-

кония стала разработка конструкции 7-слойного поляризационного покрытия, представляющего собой чередующиеся четвертьволновые слои с высоким (2,04) и низким (1,46) показателями преломления. Оптические свойства покрытий, такие как коэффициент пропускания T и коэффициент отражения R , были определены с помощью спектрофотометра Photon RT (Essent Optics) в диапазоне длин волн от 380 до 950 нм.

Анализ спектров пропускания 7-слойных покрытий на основе оксидов кремния и циркония показал, что пропускающая способность неполяризованного излучения на полимерных подложках имеет более выраженную зависимость от угла наклона излучения. Так при угле падения света 75° коэффициент пропускания принимает значения от 50 до 70 %, а при угле падения 60° – от 85 до 90 % в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра.

Установлено, что полученные многослойные покрытия характеризуются высокими коэффициентами пропускания поляризованного излучения от 80 до 99 % в видимой области спектра. Можно отметить два интерференционных пика с максимумом пропускания на длинах волн около 500 нм и 740 нм, при этом на длине волны 740 нм коэффициент пропускания покрытий на подложках из стекла и кварца достигает 99 %, а для покрытий на подложках из ПЭТ и ПММА – около 93 % и 95 %, соответственно. Коэффициент отражения многослойного покрытия колеблется в диапазоне от 5 до 45 %, при этом наблюдаются интерференционные пики с максимальными коэффициентами отражения 37 % и 42 % на длинах волн 500 нм и 900 нм, соответственно. Анализ экспериментальных результатов зависимости поляризационной способности 7-слойных покрытий ZrO_2/SiO_2 на разных длинах волн отраженного излучения позволил установить два рабочих значения длин волн (399 нм и 740 нм), для которых наблюдалась максимальная поляризационная способность.

Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что сформированное многослойное покрытие имеет низкие значения шероховатости поверхности и малые размеры зёрен и, как следствие, морфология поверхности сформированного покрытия не оказывает существенного влияния на оптические характеристики многослойного покрытия, связанные с рассеянием и поглощением излучения на дефектах и неровностях поверхности.

Проведенные исследования позволят создавать антибликовые покрытия, состоящие только из 7 слоев, с высоким уровнем однородности структуры, низкой шероховатостью поверхности и стабильностью оптических свойств в видимом диапазоне волн.

УДК 620.178.74

УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ СТАЛИ 20ХНЗА И ЕЁ ЗАРУБЕЖНОГО АНАЛОГА 16CrMnS5

И.Н. Степанкин¹, Е.П. Поздняков¹, А.В. Рабков¹, М.Е. Буйко¹,
Т.И. Сидоренко², А.М. Коротцов², А.В. Радионов³

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь;

²ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь;

³ООО «Миорский металлопрокатный завод», г. Миоры, Республика Беларусь

С целью повышения износостойкости и контактной выносливости зубчатых колес, шестерён, поршневых пальцев и других ответственных деталей машин, работающих при высоких ударных и динамических нагрузках, применяются методы диффузионного упрочнения поверхностного слоя. Самыми распространенными среди них являются процессы преимущественной имплантации углерода – цементация и нироцементация. Помимо высокой твердости поверхности необходимо учитывать и способность материала сердцевины противостоять разрушению при ударных нагрузках. Для данных деталей традиционно используются большое количество конструкционных сталей – 12ХНЗА, 18ХГТ, 20ХНЗА, 15Х 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, что связано с низкой информативностью о ее свойствах. Целью данной работы является определение свойств стали 16CrMnS5 с термодиффузионно-упрочненными слоями и сравнение со свойствами широко распространенной стали 20ХНЗА.

На рис. 1 представлены результаты испытаний на ударную вязкость термодиффузионно-упрочнённых образцов из сталей 16CrMnS5 и 20ХНЗА. Анализ данных показал, что увеличение длительности цементации с 8-ми до 12-ти часов не приводит к значительному изменению ударной вязкости стали 16CrMnS5. После 8-ми часового науглероживания её ударная вязкость составила 13,8 Дж/см², а после 12-ти часового – 12,9 Дж/см². Это обусловлено тем, что науглероженные слои имеют близкие параметры значений твердости и ее распределения по всему сечению модифицированных слоёв [1]. Толщина науглероженных слоев составила порядка 2 мм (рис. 2 а, б).

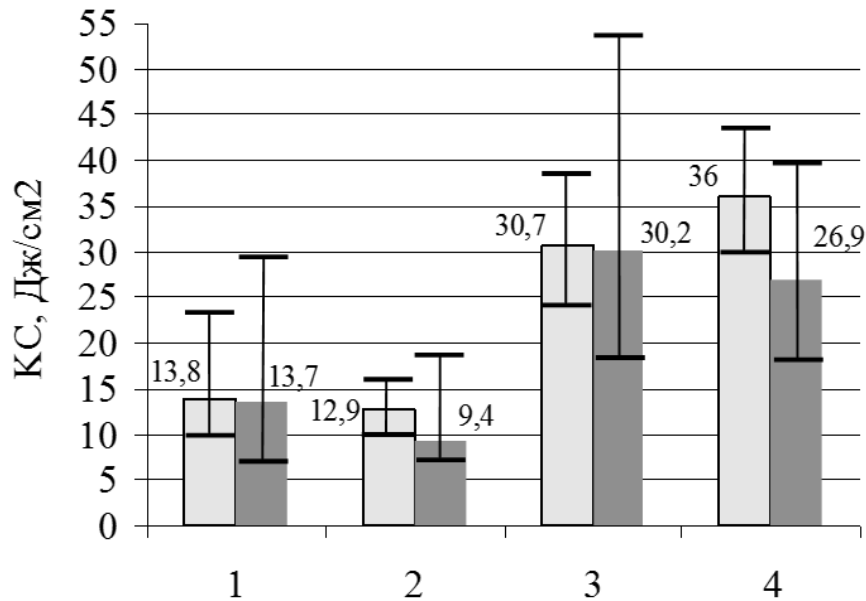


Рис. 1 - Ударная вязкость стали 16CrMnS5 (левые столбцы) и 20ХН3А (правые) после термодиффузионного упрочнения 1 – 8-ми часовая цементация; 2 – 12-ти часовая цементация; 3 – 6-ти часовая нитроцементация; 4 – 8-ми часовая нитроцементация

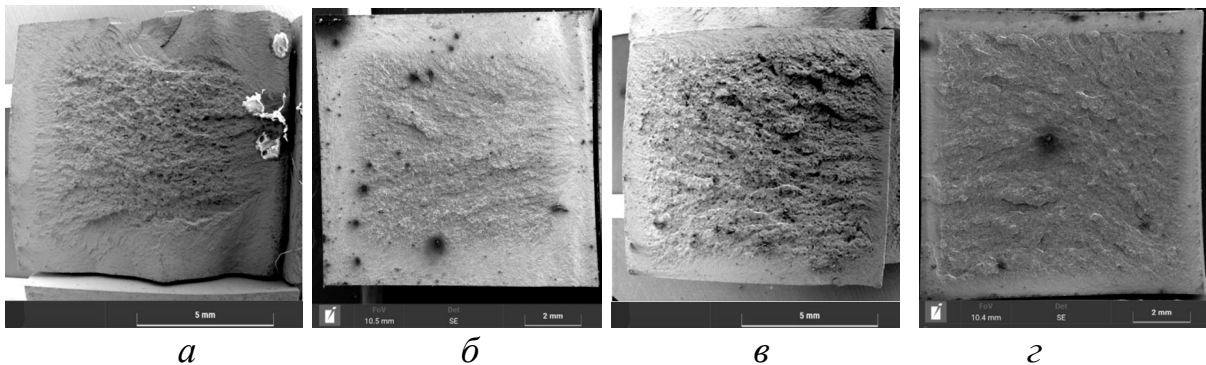


Рис. 2 - Фотографии изломов после разрушения диффузионо-упрочненных образцов из стали 16CrMnS5 (а, в) и 20ХН3А (б, г): а, б – 8-ми часовая цементация; в, г – 6-ти часовая нитроцементация

После испытаний нитроцементованных образцов стали 16CrMnS5 оказалось, что значение ударной вязкости повышается в 2,5 раза по сравнению с цементованными. Это явление обусловлено различной толщиной диффузионных слоев, их морфологией и фазовым составом. Толщина нитроцементованных слоев (рис. 2 в, г) примерно в 2 раза меньше, чем цементованных (рис. 2 а, б), толщина которых составила около 1 мм [1]. Снижение толщины слоя приводит к увеличению удельной площади сердцевины, которая является более вязкой, чем хрупкая поверхность. Так же в структуре нитроцементованных слоев отсутствуют крупные включения (карбиды), которые являются концентраторами повышенных напряжений на межфазной границе «карбид-матрица». При одновременной диффузии уг-

лерода и азота в структуре диффузионного слоя формируется большее количество остаточного аустенита, чем при чистом науглероживании [2, 3]. По пластичности аустенит значительно превосходит хрупкую мартенситную матрицу, что позволяет нитроцементованному слою лучше противостоять ударной нагрузке. Так же следует отметить, что увеличение длительности нитроцементации несколько повышает ударную вязкость стали – после 6-ти часового насыщения ударная вязкость составила 31 Дж/см², а после 8-ми часового – 36 Дж/см².

Как видно из рисунка 1, значения ударной вязкости всех образцов из стали 20ХН3А оказались ниже образцов из стали 16CrMnS5, упрочненных по аналогичным режимам. Помимо этого немаловажным является большой разброс значений ударной вязкости, определяемой при помощи серии из 10 образцов. Для стали 16CrMnS5 максимальное отклонение – 64% – зарегистрировано у образцов после 8-ми часовой цементации. Для стали 20ХН3А максимальное отклонение оказалось гораздо большим – 117%, – которое обнаружено так же у образцов после 8-ми часовой цементации. В целом, отклонения от среднего значения у стали 20ХН3А в 2-3 раза больше, чем у стали 16CrMnS5.

Приведенные доводы позволяют сделать вывод о том, что сталь 16CrMnS5 обладает большей стабильностью значений ударной вязкости по сравнению с традиционно применяемой 20ХН3А. Окончательный вывод о возможности применения стали 16CrMnS5 вместо стали 20ХН3А можно сделать после проведения испытаний данных сплавов на контактную усталость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микроструктура и микротвердость термодиффузионно-упрочненных слоев конструкционной стали 16CrMnS5/ И.Н. Степанкин [и др.] // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XXI Междунар. науч. –техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 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, 2021. – С. 84–88.

2. Gas nitriding and its variations in industrial applications / P. Wach [et al.] // Materials Engineering. – 2008. – V. 6. – P. 808-811.

3. К вопросу влияния остаточного аустенита на износостойкость науглероженных слоев стали 40Х и 35ХГСА / И.Н. Степанкин [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редколлегия: А.В. Бельый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, – 2019. – С. 104-116.

УДК 621.793

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Н.Ф. Соловей, Д.В. Рехлицкая, В.В. Лаптев, Л.А. Мороз
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Одним из важных направлений деятельности НТЦК являются работы по повышению износостойкости ДСЕ, направленные на повышение надежности кормо- и зерноуборочных комбайнов в целом.

Износостойкость определяется с помощью методов линейного износа, массового износа и методом лунок.

Сущность метода линейного износа заключается в определении изменения линейных размеров образцов в процессе эксплуатации. Преимущества метода: простота, доступность, возможность дифференцировать износ по разным точкам поверхности. Недостатки: относительно большая погрешность приборов, которая, при незначительном износе может оказаться соизмеримой с его величиной; трудность замеров крупногабаритных деталей и деталей сложной конфигурации.

Метод массового износа. Методом взвешивания измеряют суммарный износ (суммарную потерю массы) поверхности трения. Преимущества: простота, доступность, относительно высокая точность. Недостатки: невозможность дифференцирования износа по разным точкам поверхности; сложность учета количества адсорбированных молекул воды и смазочного материала, как в начале эксперимента, так и после.

Метод лунок заключается в нанесении на рабочую поверхность серии лунок и определении величины износа по изменению их размеров. Преимущества: высокая точность, возможность определения износа в разных точках. Недостатки: высокая трудоемкость, необходимость разборки узла, наличие специальных приборов для нанесения отпечатков и измерения их величины.

Использование перечисленных методов, в силу имеющихся недостатков, не позволяет получить достоверную информацию о величине и характере износа крупногабаритных деталей кормоуборочного комбайна.

С целью устранения перечисленных недостатков, нами разработан способ контроля износа на основе сканограмм [1]. Для получения сканограмм используется трехкоординатно-измерительная машина МСАх фирмы Nikon Metrology. С помощью программного обеспечения PolyWorks получают сканограмму поверхности исследуемой детали до и в процессе испытаний через определенный промежуток времени. Установив граничные условия в автоматическом режиме, получаем интенсивность

износа непосредственно в каждой точке исследуемой поверхности. При этом контроль рельефа поверхности позволяет оценивать качество покрытия.

Реализация метода осуществлялась в течение 2021 года при исследованиях опытных покрытий плоских деталей КВК 0144421 и КВК 0144423 технологического тракта кормоуборочных комбайнов КВК-800 №1809 и КВК-8060-5 №0001. Детали изготовлены по серийной технологии и с опытным нанесением методом гиперзвуковой металлизации покрытий на основе сталей 40X13 и 95X18.

В результате анализа сканограмм установлен неоднородный рельеф покрытия: шероховатость колеблется в интервале R_a от 6,8 мкм до 14,7 мкм и R_z от 42,8 мкм до 75,5 мкм.

Для снижения неоднородности уровня шероховатости покрытия и улучшения процесса приработки разработан способ получения покрытия методом гиперзвуковой металлизацией с использованием двух проволок из разных материалов одновременно[2].

Установлено, что интенсивность износа покрытий из сталей 40X13 и 95X18 в процессе испытаний снижается. На наш взгляд, это связано с тем, что в сталях аустенитного класса, в процессе воздействия механических частиц на покрытие, аустенит превращается в мартенсит деформации. С увеличением процента аустенизации увеличивается содержание мартенсита деформации и, соответственно, повышается износостойкость.

Применение метода сканограмм для определения величины износа позволило повысить точность измерений и существенно снизить затраты на их проведение. Установлено повышение износостойкости опытных деталей КВК 0144421 и КВК 0144423 с покрытием из стали 95X18 ГОСТ 5949-75 на 75% в сравнении с серийной технологией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловей Н.Ф., Рехлицкая Д.В., Черношей В.С. «Повышение надежности и долговечности деталей технологического тракта кормоуборочного комбайна»// 4 Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра»: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, 2020г – С. 35 - 38.
2. Белоцерковский М.А., Сосновский А.В., Соловей Н.Ф., Камко А.И., Способ получения покрытия гиперзвуковой металлизацией/ Патент РБ №22381, зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 26.11.2018г.

УДК 004.94

ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОМПЛЕКСНОЙ АНИМАЦИИ МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В ПО 3D CAD PTC CREO ВЕРСИЯ 7.0

Н.В. Грудина¹, С.В. Стельмашонок¹, В.И. Козлов², И.А. Кольцова²

¹Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Сегодня 3D-модели с заполненными атрибутами требуются на этапах всех жизненного цикла изделия, поэтому силу трехмерности трудно переоценить. Проектирование 3D-модели используется как при концептуальном, так и при рабочем проектировании для компьютерного инженерного анализа принимаемых конструкторских решений. Ни одна из САД-систем не имеет таких возможностей, качеств, как та совокупность достоинств, которую предоставляет Creo Parametric.

PTC Creo является набором приложений для проектирования: Creo Parametric, Creo Direct, Creo View, Creo Simulate и Creo Sketch, чем PTC отличается от конкурентов. Приложения спроектированы так, что могут работать и независимо, и совместно. В Creo объединены два подхода – параметрическое моделирование Pro/ENGINEER и прямое моделирование CoCreate для обеспечения большей гибкости моделирования. На предприятиях часто применяются различные инструменты проектирования, и возникает проблема переноса данных между ними. Поэтому важно отметить такую возможность приложения Creo Parametric – расширение поддержки импорта форматов из САПР других производителей, таких как Dassault CATIA V4 и V5, Solid Works и Siemens.

Тесная связь с версией системы управления инженерными данными Windchill является еще одной особенностью Creo. В Creo версии 7.0 и выше есть возможность рендеринга – быстрое создание точных, реалистичных изображений изделий, содержащих сборки любых размеров как в дизайнских программах (от англ. rendering – «визуализация»). Динамические изменения изделия с учетом таких естественных эффектов, как отбрасывание теней, зеркальные отображения, наложение текстур и прозрачность.

В Creo присутствует обширная библиотека материалов, таких как стекло, пластики, металлы, дерево и многие другие (рис. 1, а). Если же вы не нашли нужный вам материал, вы можете сами либо редактировать настройки доступных, либо создать свой же зайдя в пункт «дополнительный образы». Так выглядит деталь, если на нее наложить материал. При-

существует шум, так как рендеринг происходит в реальном времени (рис. 1, б). Это сделано для меньшей нагрузки на систему при работе.

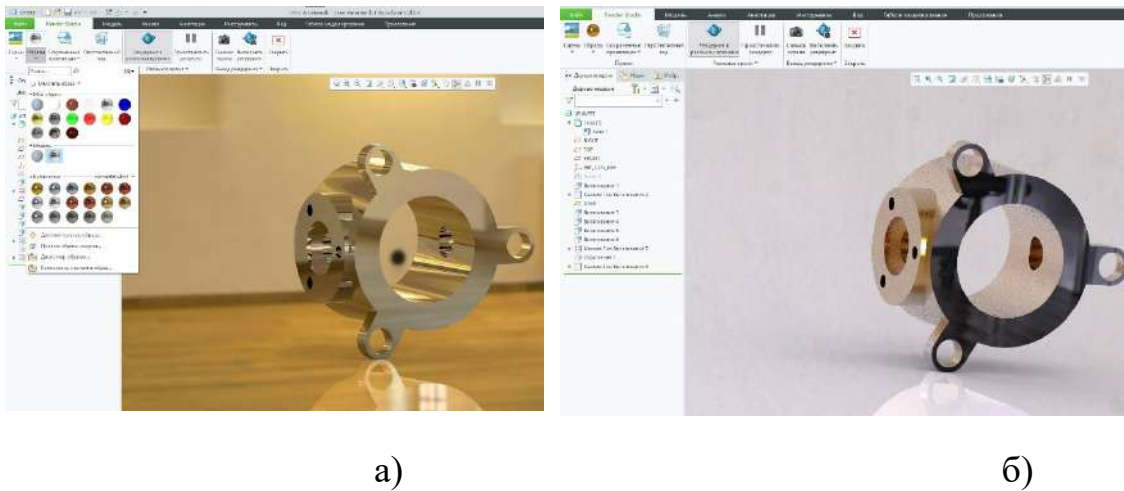


Рис.1 - Выбор материала в Creo (а) и рендер в режиме реального времени (б)

Конструкторское сопровождение 3D-моделированием актуально не только в техносфере, но и медицинской, например, ортопедия и нейрохирургия. Применение компьютерной графики и последующей процедуры 3D-прототипирования костных структур позволяет существенно детализировать объекты планируемого оперативного вмешательства и на стадии предоперационной подготовки тщательно проработать стратегию хирургических манипуляций, и при необходимости подготовить имплантируемые элементы (рис.2).

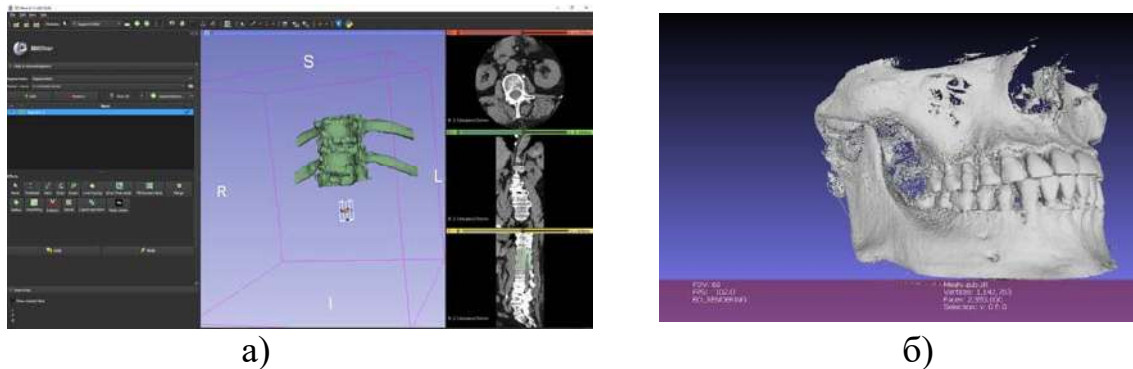


Рис. 2 - Пример фрагментации модели позвоночника для детализации оперативного вмешательства (а), вид модели «Челюсти» после оптимизации количества полигонов (б)

Изучение функциональных возможностей CAD-системы – Creo Parametric показало её выгодное применение не только в машиностроительной отрасли, но и медицине из-за ее возможностей сочетать в себе два подхода – параметрическое и прямое моделирование, удобства работы с небольшими приложениями, а также поддержки импорта форматов из САПР других производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Creo Parametric. – Режим доступа: http://www.pro-technologies.ru/product/Creo_Parametric/.
2. Рендеринг. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рендеринг>
3. Особенности трехмерного моделирования анатомических структур человека для повышения эффективности оперативного лечения в ортопедии и нейрохирургии /Е.В.Ковалев, Д.А.Довгало, А.В.Ковалевич, С.В.Стельмашонок // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XXI Междунар. науч. –техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 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, 2021
4. Фоторендеринг и комплексная анимация модели в реальном времени – новые функциональные возможности программного обеспечения 3D CAD PTC CREO версия 7.0 /Н.В.Грудина, С.В.Стельмашонок, Д.Г.Пацай, И.А.Кольцова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XXI Междунар. науч. – техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 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, 2021

УДК 631.35

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЛЕКТОРОМ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ МАССЫ НА ПОЛЕ

Д.Н. Иванов, А.Н. Вырский, А.С. Шантыко

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

В сельскохозяйственном комбайностроении важным является понимание технологических процессов, происходящих в рабочих органах сельскохозяйственной техники. Одним из таких процессов является процесс измельчения технологической массы и равномерное расстиление её по полю, при этом ширина разбрасывания должна стремиться к ширине агрегируемой жатки. Однако исследование данного процесса экспериментальным путём с целью обеспечения требуемой ширины разбрасывания трудно реализуемо из-за необходимости проведения дополнительных доработок конструкции комбайна и сезонности проводимых полевых работ. В качестве инструмента исследования выбран программный комплекс ROCKY включающий в себя все современные наработки в области имитационного моделирования методом дискретных элементов, позволяющий рассчитать поведение потока частиц различных форм и размеров при их движении по технологическому тракту сельскохозяйственной техники [1].

В данной статье рассмотрен процесс доработки серийной конструкции зерноуборочного комбайна для агрегирования с 9-метровой жаткой.

По результатам проведения имитационного моделирования исходной конструкции (рис. 1 и 2), ширина разбрасывания измельченной технологической массы по полю составляет 6.5 м.

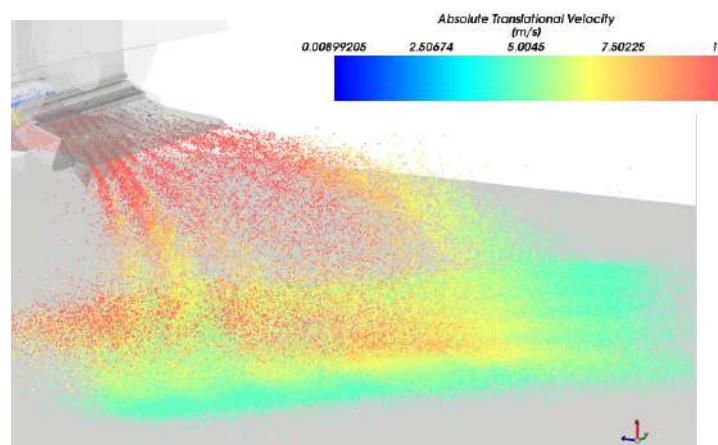


Рис. 1 - Поля скоростей движения измельченной технологической массы на поле для исходной конструкции

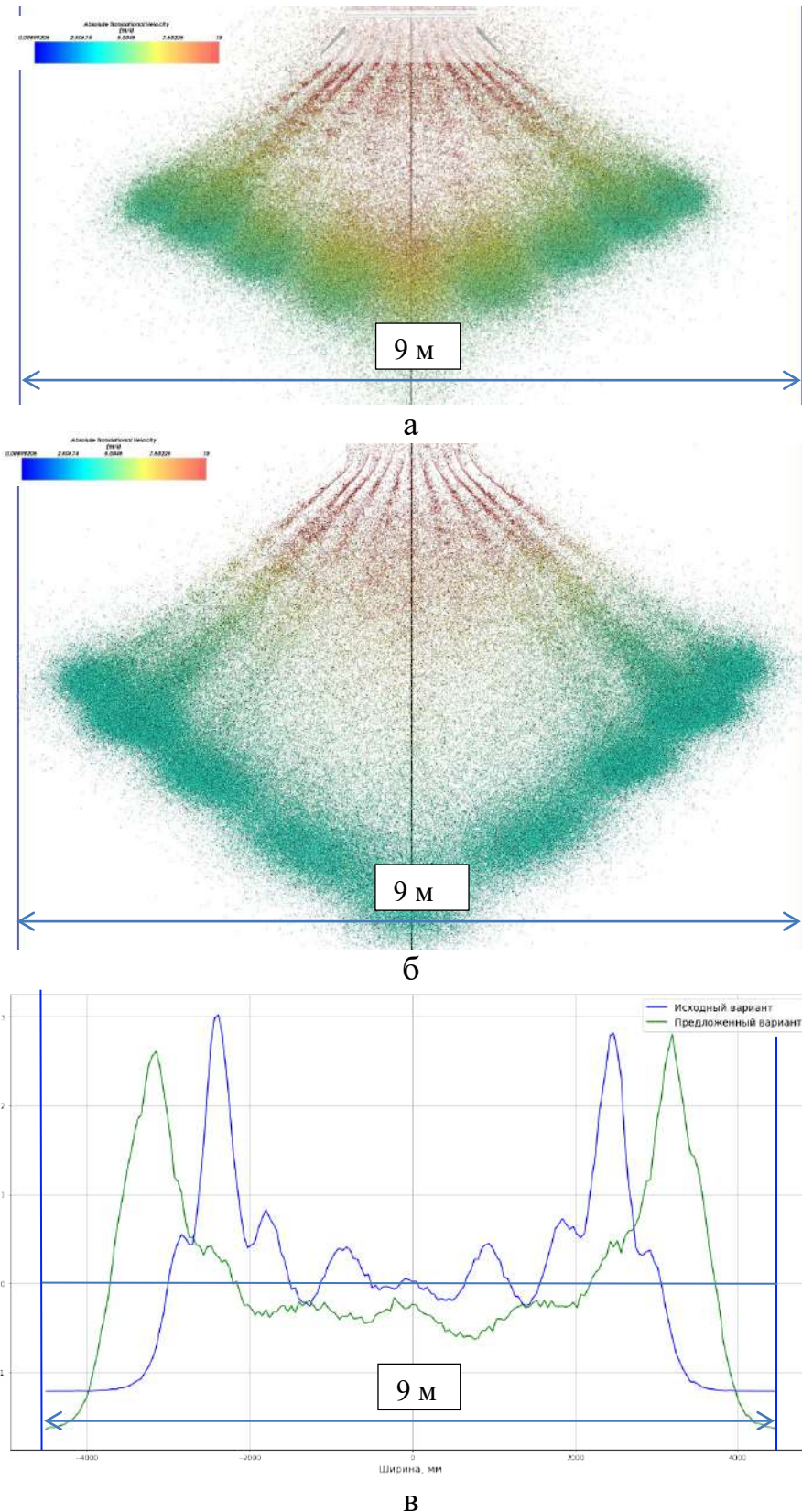


Рис. 2 - Поля скоростей движения измельченной технологической массы на поле для исходной (а) и предложенной (б) конструкции, а также её стандартизованное распределение по полю для исходной и предложенной конструкции (в)

Ширины полученного распределения достаточно при агрегатировании с 6-метровой жаткой, однако при агрегатировании с 9-метровой жаткой требуется её увеличение. Для достижения данной задачи проведены работы по поиску технических решений и сформированы предложения по доработки конструкции на существующем образце зерноуборочного комбайна. Так на рисунке 2 представлена визуализация распределения технологической массы по полю исходной и предложенной конструкции, а также график стандартизованного распределения. Из него следует, что ширина разбрасывания измельченной технологической массы увеличилась и приближается к 9 м.



а



б

Рис. 3 - Вид на равномерность расстилая измельченной технологической массы по результатам полевых испытаний исходной (а) и предложенной (б) конструкции

Для верификации имитационных моделей исходной и предложенной конструкции дефлектора проведены полевые испытания. Во время испытаний определялась ширина разбрасывания измельченной технологической массы и фиксировалась равномерность её расстилая по полю (см. рисунок 3). Согласно результатам обработки данных испытаний, ширина разбрасывания измельченной технологической массы для исходной конструкции составляет 6.6 м, а для предложенной – 9.1 м.

Таким образом, применение имитационного моделирования, основанного на методе дискретных элементов, показывает наглядность, интерпретируемость и достоверность применяемого подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жедик, А.А. Современные методы имитационного моделирования технологических процессов, как инструмент исследования и оптимизации конструкции в сельскохозяйственном комбайностроении / А.А. Жедик, А.С. Шантыко, Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства". Вып. 53/ ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.] - Минск : Беларуская навука, 2020. - С.157-161.

УДК 631.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА СО СДВОЕННЫМИ КОЛЕСАМИ ПРИ ПОВОРОТЕ

С. И. Кирилук, С.А. Шишков, И.Д. Романов
 УО «Гомельский государственный
 технический университет имени П.О. Сухого»,
 г. Гомель, Республика Беларусь

Комбайн КЗС-10К предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а, с применением комплектов оборудования или специальных приспособлений, для уборки кукурузы на зерно, подсолнечника, зернобобовых, крупяных культур, семенников трав и рапса.

Установка сдвоенных колес, увеличивает площадь пятна контакта движителей с опорной поверхностью, снижает удельное давление на грунт и глубину колеи. Режим движения комбайна со сдвоенными колесами при повороте будем характеризовать следующими параметрами (рис. 1): средней поступательной скоростью V_{cp} , км/ч, средним радиусом поворота R_{cp} , м. Как известно, величина буксования каждого из колес δ зависит от нормальной нагрузки G_k и реализуемой колесом касательной силы F_k [1]. При равных вертикальных нагрузках на каждое из колес и равных условиях сцепления колес, при использовании симметричного дифференциала буксования δ всех колес будут равны. Увеличенный кинематический радиус внешнего колеса вызывает его дополнительную тангенциальную деформацию и может быть оценен [1] величиной $\Delta r_k = (1 - \delta) \cdot F_k / \lambda_\tau$, м, (1),

где F_k – касательная сила тяги, реализуемая колесом, Н; λ_τ – тангенциальная жесткость шины, Н/м. Тогда потеря мощности на тангенциальную деформацию наружного колеса может быть определена, как

$N_\tau = \Delta V \cdot F_k = \omega \cdot \Delta r_k \cdot F_k = (1 - \delta) \cdot \frac{\omega \cdot F_k^2}{\lambda_\tau}$, (2), где ΔV – кинематическая

скорость тангенциальной деформации шины, м/с; ω – угловая скорость вращения полуоси, c^{-1} . При заданных режимах поворота V_{cp} и R_{cp} угловые скорости вращения полуосей можно определить по зависимостям: – левой и правой соответственно

$$\omega_l = \frac{V_{cp} \cdot \left(1 - \frac{tg \alpha}{L} \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{2}\right)}{r_k \cdot (1 - \delta)}, \omega_{np} = \frac{V_{cp} \cdot \left(1 - \frac{tg \alpha}{L} \cdot \frac{(l_3 + l_4)}{2}\right)}{r_k \cdot (1 - \delta)}, \quad (3)$$

где α – угол поворота управляемых колес, град.; L – колесная база комбайна, м.

Подставляя выражения (3) в (2), получаем формулы для определения потерь мощности на тангенциальную деформацию наружных шин:

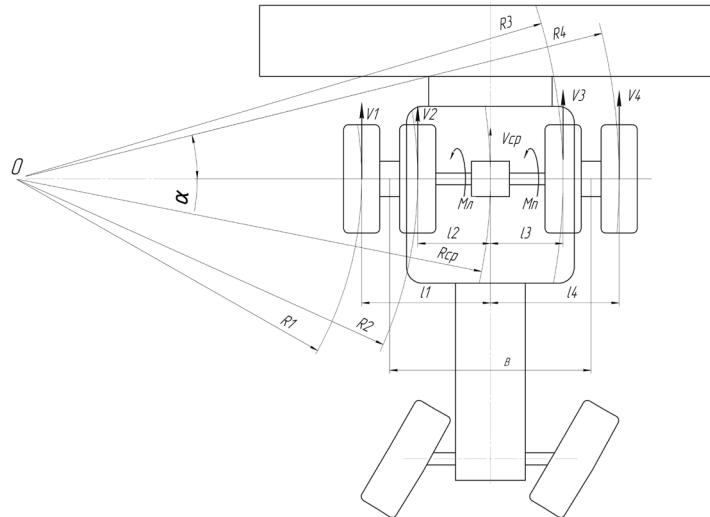


Рис. 1 - Схема комбайна со сдвоенными ведущими колесами при повороте: V_1, V_2, V_3, V_4 – линейные скорости поступательного движения ведущих колес; V_{cp} – поступательная скорость комбайна; R_1, R_2, R_3, R_4 – радиус поворота комбайна по середине ведущих колес; $R_{cp} = 5 - 5,5$ м – радиус поворота комбайна; $l_1 = 1,65$ м, $l_2 = 1,41$ м, $l_3 = 1,41$ м, $l_4 = 1,65$ м – координаты установки ведущих колес; $M_л, M_п$ – крутящий момент на левой и правой полуосях; B – ширина колеи

$$N_{\tau л} = \frac{F_k^2}{\lambda_{\tau}} \cdot \frac{V_{cp} \cdot \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{L} \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{2}\right)}{r_k \cdot (1 - \delta)}, \quad N_{\tau пп} = \frac{F_k^2}{\lambda_{\tau}} \cdot \frac{V_{cp} \cdot \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{L} \cdot \frac{(l_3 + l_4)}{2}\right)}{r_k \cdot (1 - \delta)}, \quad (4)$$

эти формулы показывают, что исследуемые потери мощности зависят от величины реализуемой касательной силы тяги и тангенциальной жесткости колеса, и не зависят от величины буксования. Проведем расчет значений потерь мощности при различных углах поворота α для следующих условий: Комбайн КЗС-10К с шинами ведущих колес 28,1R26 и 16,9R38 «Белшина», давление воздуха в шинах внутреннего колеса – 0,19 МПа, давление воздуха в шинах наружного колеса – 0,16 МПа, агрофон – стерня колосовых ($f = 0,092$; $\varphi = 0,68$) скорость движения – 2,5 м/с (9 км/ч), $L = 3370$ мм, $F_k = 70$ кН, $G_k = 30 - 32$ кН. При расчете, очевидно, что, потери мощности на внутренней полуоси снижаются при увеличении угла поворота. Это объясняется снижением угловой скорости вращения полуоси. Увеличение относительной угловой скорости наружной полуоси приводит к

увеличению потерь мощности с увеличением угла поворота. Определенные при расчете потери мощности на тангенциальную деформацию наружных шин в зависимости от угла поворота составляют 2,5...3,5 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровник, А.И. Показатели трактора «Беларус» со сдвоенными колесами при повороте/ А.И. Бобровник, Т.А. Варфоломеева// Агропанорама: БГАТУ – 2019 – №3 – С. 5-9.

УДК 631.35

ВЕРИФИКАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА ИЗ БУНКЕРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

А.А. Иванова, Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов, А.Н. Вырский
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Понимание технологических процессов, происходящих в рабочих органах сельскохозяйственных комбайнов, является важным этапом создания высокоэффективной техники. Основная сложность исследования технологических процессов экспериментальным путём это необходимость применения дорогостоящего оборудования и проведения дополнительных доработок конструкции комбайна на реальном образце. Однако даже в этом случае экспериментальный подход не позволяет создать полную картину перемещения технологической массы в рабочих органах сельскохозяйственной техники.

Одним из конкурентных преимуществ зерноуборочного комбайна является высокая производительность системы выгрузки зерна из бункера. В качестве инструмента исследования выбран программный комплекс ROCKY включающий в себя все современные наработки в области имитационного моделирования методом дискретных элементов, позволяющий рассчитать поведение потока частиц различных форм и размеров при их движении по технологическому тракту сельскохозяйственной техники [1].

По результатам анализа проведенного имитационного моделирования выгрузной системы исходной конструкции найден резерв для повышения производительности. Анализ заполненности витков в зонах А и Б (см. рис. 1) показал, что в зоне А заполненность витков технологической массой составляет 96.7 %, при этом заполненность витков в зоне Б – 52.6 %. Таким образом ограничивающим производительность выгрузной системы является горизонтальный шнек.

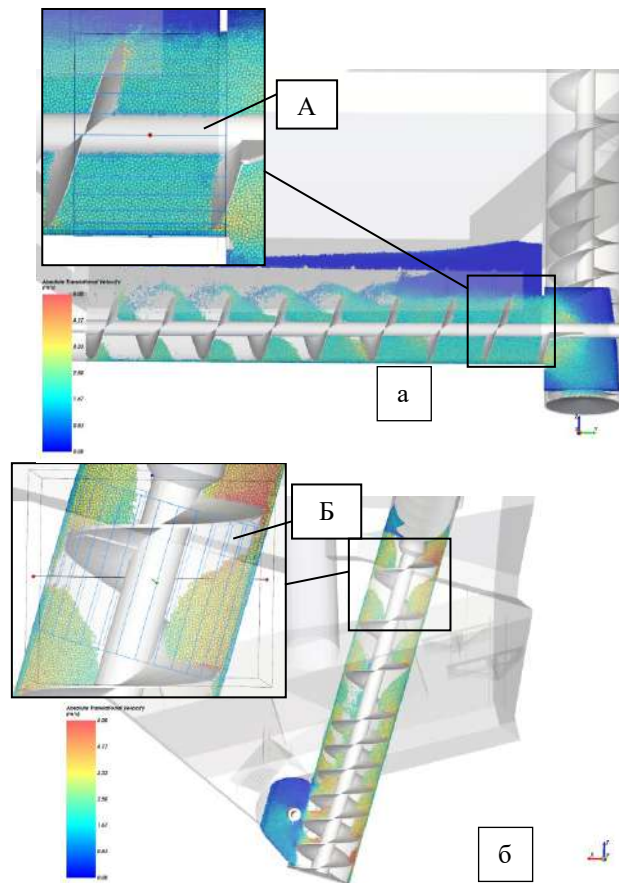


Рис. 1 - Поля скоростей движения частиц технологической массы в зоне горизонтального (а) и вертикального (б) шнека исходной конструкции

График производительности выгрузной системы для исходной конструкции при выгрузке технологической массы представлен на рис. 2.

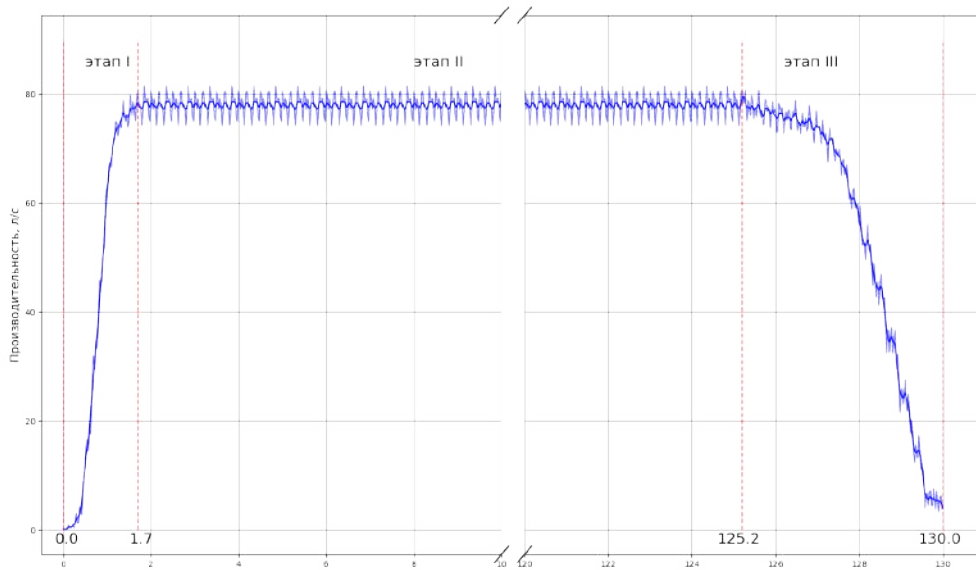


Рис. 2 - Производительность выгрузной системы исходной конструкции при выгрузке технологической массы объёмом 9.5 м³

Из него следует, что производительность при образовании плотного потока технологической массы (этап II) составляет 77.5 л/с. Общая продолжительность процесса выгрузки технологической массы объемом 9.5 м³ составляет 130.0 секунды. Общая производительность выгрузной системы при этом составляет 73.1 л/с.

В результате проведения ряда работ по поиску технических решений были сформированы предложения по доработки конструкции на существующем образце зерноуборочного комбайна.

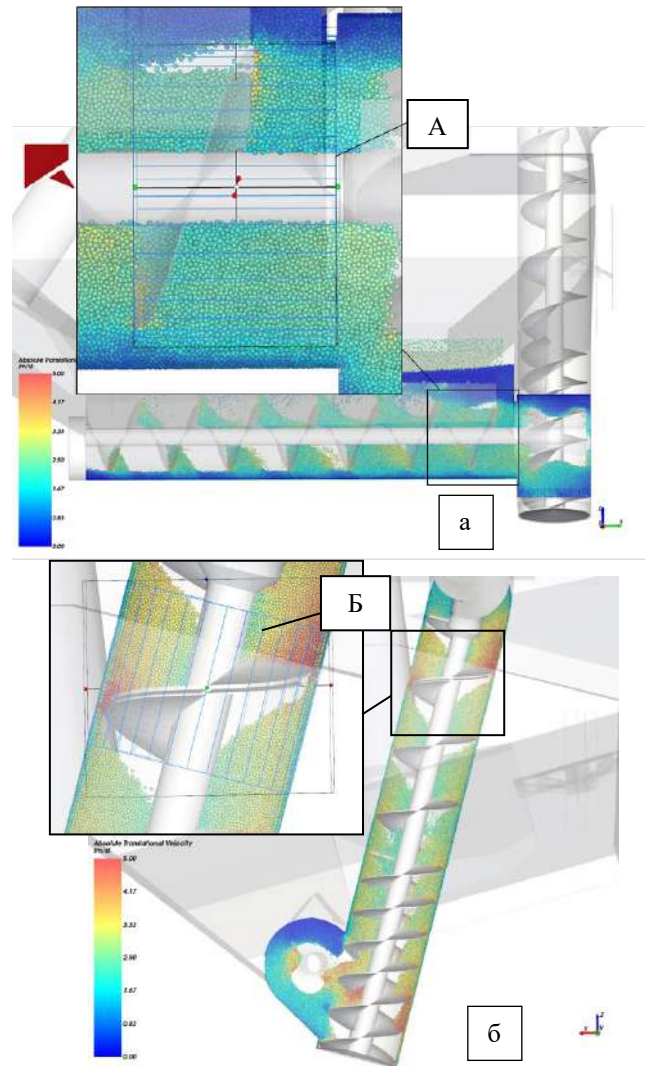


Рис. 3 - Поля скоростей движения частиц технологической массы в зоне горизонтального (а) и вертикального (б) шнека предложенной конструкции

По результатам имитационного моделирования предложенной конструкции (см. рис. 3) заполненность витков технологической массой в зоне А составляет 90.0 %, а в зоне Б – 75.4%.

График производительности выгрузной системы для предложенной конструкции при выгрузке технологической массы представлен на рис. 4.

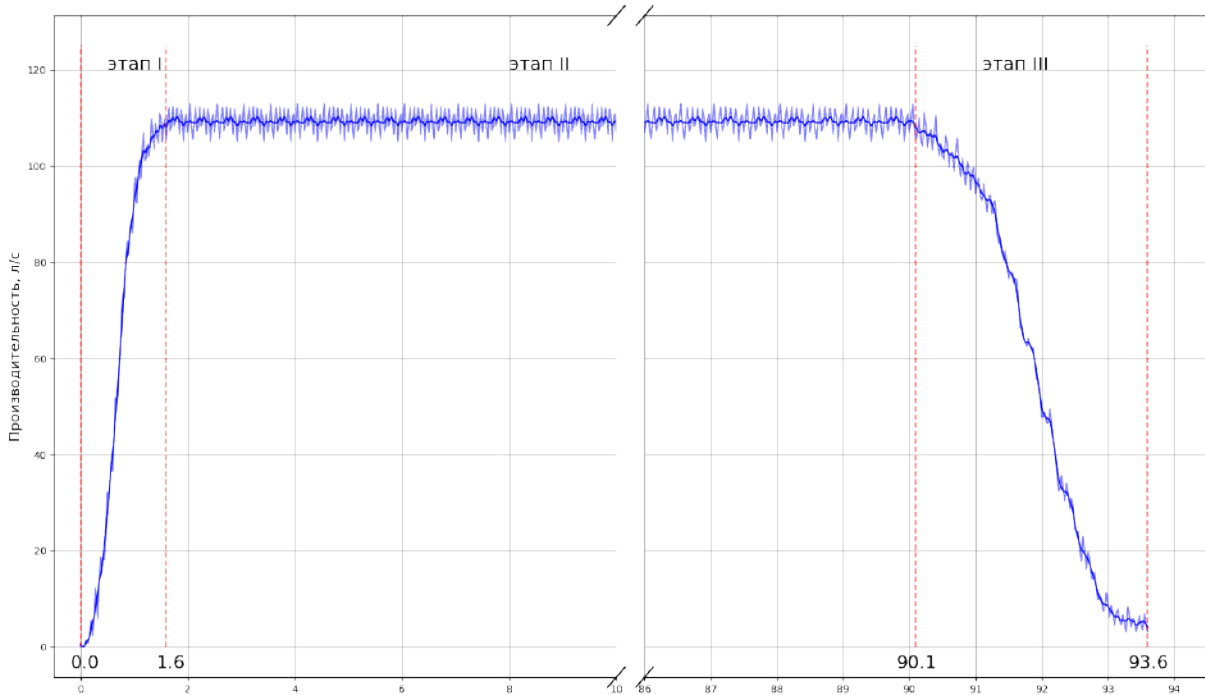


Рис. 4 - Производительность выгрузной системы предложенной конструкции при выгрузке технологической массы объёмом 9.5 м^3

Из него следует, что производительность при образовании плотного потока технологической массы (этап II) составляет 109.0 л/с. Общая продолжительность процесса выгрузки технологической массы объёмом 9.5 м^3 составляет 93.6 секунды. Общая производительность выгрузной системы при этом составляет 101.5 л/с.

Таким образом, расчетная производительность выгрузной системы предложенной конструкции увеличилась на 38.9 %.

Для верификации имитационной модели проведены полевые испытания исходной и предложенной конструкции в одинаковых условиях и на одном фоне. Фиксировалось время выгрузки по этапам представленных на рисунках 2 и 4. По результатам обработки данных испытаний зафиксировано увеличение производительности предложенной конструкции выгрузной системы на 22...35 %.

Пример имитационного моделирования представленный выше модели выгрузной системы зерноуборочного комбайна показывает наглядность, интерпретируемость и достоверность применяемого подхода. Его применение даёт нам эффективный инструмент для оптимизации существующих конструкций, и возможность избежать ошибок при проектировании новых образцов сельскохозяйственной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жедик, А.А. Современные методы имитационного моделирования технологических процессов, как инструмент исследования и опти-

мизации конструкции в сельскохозяйственном комбайностроении / А.А. Жедик, А.С. Шантыко, Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства". Вып. 53/ ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.] - Минск : Беларуская навука, 2020. - С.157-161.

УДК 631.35

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РЕАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИЯ 4.0

Н.В. Грудина¹, В.И. Козлов², И.А. Кольцова²

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь,

²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Активное использование современных информационных технологий в сферах деятельности человека является неотъемлемой частью прогрессивного развития сегодняшней техносферы. В соответствии с государственной политикой цифровизации в Республике Беларусь и концепцией Индустрия 4.0, требованиями постоянного повышения качества выпускаемой продукции приоритетность использования 3D-моделей в жизненном цикле изделия приобретает первостепенную значимость. Благодаря трехмерному проектированию и изготовлению деталей, современное производство, способно не только разрабатывать новые прототипы без материальных затрат на опытные образцы, но и моделировать нештатные ситуации, исправлять ошибки в конструкции и технологии производства. Оно уже обеспечивает четырех- и пяти- координатную обработку изделий, а также выращивание сложных деталей путем послойной печати. Трехмерное моделирование дает возможность спрогнозировать надежность, уменьшив непроизводственные расходы предприятия на осуществление экспериментальной деятельности с материальными прототипами. Это касается таких инженеринговых аспектов как выбор оптимальных режимов термообработки и упрочняющих технологий, литья, штамповки, резания и других элементов всего производственного цикла.

Практическое обучение студентов на действующем производстве – один из важнейших этапов подготовки инженерных кадров, обеспечивающий получение компетенций, необходимых для эффективной работы в условиях современного предприятия. Ведущие специалисты одного из самых современных предприятий нашего города НТЦК ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ» уже сегодня, совместно с преподавателями УО «ГГТУ им. П.О.Сухого» объединились в рамках концепции усиления практико-ориентированной подготовки студентов и взаимодействия с целью передать современные навыки и умения в области индустрии 4.0 студентам.

Современный подход к интеграции учебного процесса в производственную техносферу реализован путем модернизации учебного плана студентов 3 курса специальности «Производство изделий на основе трех-

мерных технологий», которые проходили конструкторско-технологическую практику в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» в период II учебного семестра – в течение дня раз в две недели, и заканчивали практическое обучение летом на протяжении двух недель. Идейный приоритет такого взаимодействия принадлежит руководству НТЦК. Директор центра – А.С. Шантыко неоднократно высказывался о необходимости более полного погружения студентов в практическую деятельность уже на II-III курсах обучения. Находиться сегодня в тренде можно только с помощью инновационных технологий и здоровых амбиций руководства по постоянному обновлению как материальной базы, так и компьютерной инфраструктуры. НТЦК в области 3D-моделирования и реализации трехмерных технологий является одним из ведущих предприятий в Гомельской области.

Уже сегодня видны предварительные результаты нового подхода в практическом обучении – работа студентов в отделах проходила в рамках их активного включения в реальный творческий процесс разработки 3D-моделей. На начальном этапе практики студентам фактически удалось освоить компетенции, которые им при традиционном подходе прививались на этапе дипломного проектирования, и то далеко не всегда. Были созданы условия для тренировки студентов в трехмерном проектировании в CREO 4.0 на конкретных деталях, а не на искусственно созданных заданиях, как это часто бывает. Студенты работали над оцифровкой и созданием 3D-моделей как листовой, так и твердотельные геометрии по чертежам реальных деталей. Результаты показали, что каждому студенту удалось спроектировать от 15 до 40 моделей деталей узлов (рис.1). По итогам прошедшей практики студенты-практиканты успели пополнить систему управления данными PDM Windchill актуализированными моделями, что принесло пользу не только обучающимся, но и предприятию.

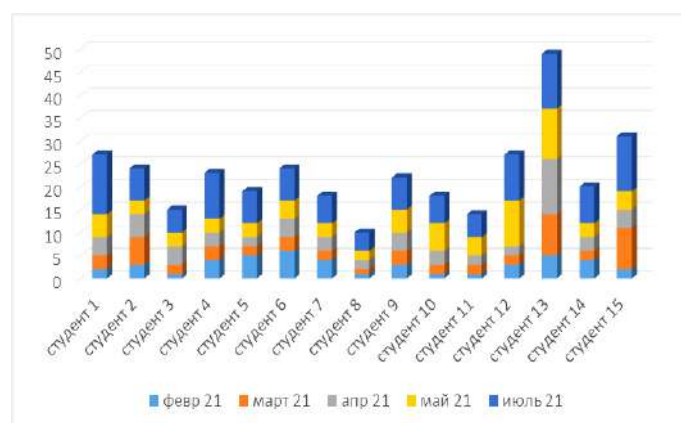


Рис. 1 - Количество спроектированных 3D-моделей за весь период прохождения студентами практики на НТЦК ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

В современных условиях нельзя создавать конкурентоспособную наукоемкую продукцию без интеграции новых информационных техноло-

гий, образования, производства. Тесное взаимодействие предприятия и вузов позволяет обеспечивать качественное инженерное образование в регионе, удовлетворяющее требованиям современных производственных предприятий. Промышленность не должна учить заново молодых специалистов. Они должны как можно быстрее осваивать те задачи, которые перед ними ставятся, как максимум – приносить технологию в производство. Поэтому на «Гомсельмаше» максимально близко организована связь науки с производством.

УДК 631.35

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Н.Л. Прокопенко А.Н. Вырский

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

Разработка образцов новой техники в области машиностроения, удовлетворяющих самым современным требованиям, связана с всесторонними исследованиями прочности и жесткости несущих конструкций с учетом рабочих и экстремальных нагрузок, возникающих при эксплуатации, а также с учетом воздействия внешней среды. Экспериментальное проведение таких исследований, связано, как правило, со значительными затратами временных и материальных ресурсов. Поэтому применение высокоэффективных и точных методов расчетных исследований является основой для создания надежной и конкурентоспособной техники.

Одним из таких методов является метод конечных элементов – в настоящее время основной инструмент решения задач строительной механики, механики деформируемого твердого тела [2]. Для МКЭ характерны широкий диапазон применимости, инвариантность по отношению к геометрии конструкции и механическим характеристикам материалов, высокая степень приспособленности к автоматизации всех этапов расчета.

Рамные конструкции сельскохозяйственных машин – это прежде всего сварные конструкции с наличием значительного числа концентраторов напряжений в виде отверстий различной конфигурации, резкого изменения геометрической формы и размеров, а также собственно сварных швов, являющихся серьезным источником местных напряжений, поскольку для них характерна неоднородность материала шва, наличие всевозможных дефектов и остаточных напряжений, обусловленных температурными деформациями. При воздействии на такие конструкции переменных нагрузок, вызывающих циклическое изменение их напряженного состояния, необходимым условием обеспечения требуемого уровня их надежности является выполнение расчетов усталостной прочности по критерию многоциклового нагружения [4]. При этом наиболее опасным является симметричный цикл нагружения, при котором максимальные напряжения равны амплитуде изменения напряжений. В связи с этим все подвижные рабочие органы сельскохозяйственных машин должны подвергаться анализу и оптимизации по критериям многоциклового усталостной прочности.

В НТЦК ОАО «Гомсельмаш» оценка запасов усталостной прочности конструкций рабочих органов сельскохозяйственных машин проводится по главным напряжениям σ_1 (σ_x), σ_2 (σ_y), σ_3 (σ_z) для объемного

напряженного состояния и σ_1 (σ_x), σ_2 (σ_y) для плоского напряженного состояния. Такой подход позволяет исключить из расчета касательные напряжения и снизить трудоемкость расчетов с одновременным повышением их точности.

Для примера рассмотрим алгоритм расчета стрясной доски зерноуборочного комбайна. Стрясная доска зерноуборочного комбайна в процессе работы системы очистки подвергается действию циклически изменяющихся нагрузок, что требует обязательного проведения расчета усталостной прочности при проектировании конструкции.

Расчет выполняется с использованием программно-аппаратного комплекса ANSYS, модуль Transient Structural. Для расчета конструкций, совершающих колебательное движение, необходимо учитывать коэффициент демпфирования материала, характеризующего затухание внутренних колебаний элементов конструкции. Согласно [1] коэффициент демпфирования для стальной конструкции изменяется в диапазоне 0,02...0,04.

При выполнении расчетов без учета коэффициента демпфирования на графиках изменения напряженно-деформированного состояния с циклом, равным частоте колебаний, наблюдается наложение высокочастотных колебаний напряжений с небольшой амплитудой [6]. Величина коэффициента демпфирования с учетом рекомендуемого диапазона для каждого конкретного случая подбирается путем проведения дополнительных расчетов с целью исключения из графиков напряжений высокочастотных колебаний. В данном случае для расчета стрясной доски коэффициент демпфирования составил 0,025.

При проведении прочностного анализа конструкции стрясной доски так же должна быть учтена жесткость сайлентблоков, установленных в шарнирах механизма привода доски: радиальная жесткость $F_R=17600\text{Н/мм}$, осевая жесткость $F_A=2500\text{Н/мм}$, крутильная жесткость $C_{\text{кр}}=11000\text{Нмм/}^\circ$, демпфирующие коэффициенты для резины приняты в размере 10% от заданных жесткостей согласно [3].

При определении параметров цикла перемены напряжений рассчитывается непрерывное изменение полей главных напряжений за один цикл движения стрясной доски и определяются зоны с максимальным изменением этих напряжений.

На рис. 1 и 2 изображены поля главных максимальных и минимальных напряжений в конструкции стрясной доски.

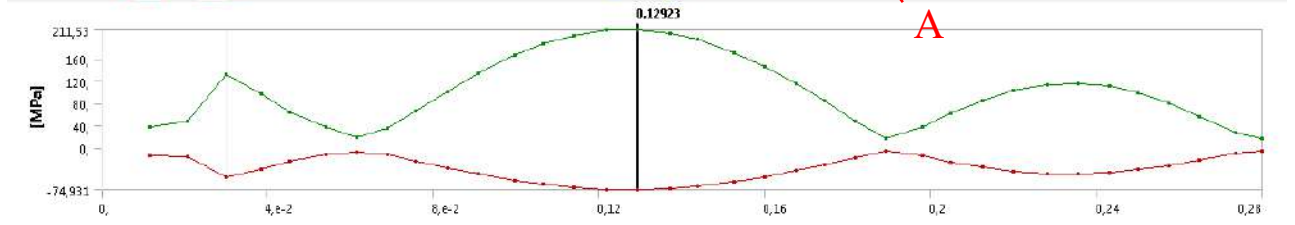
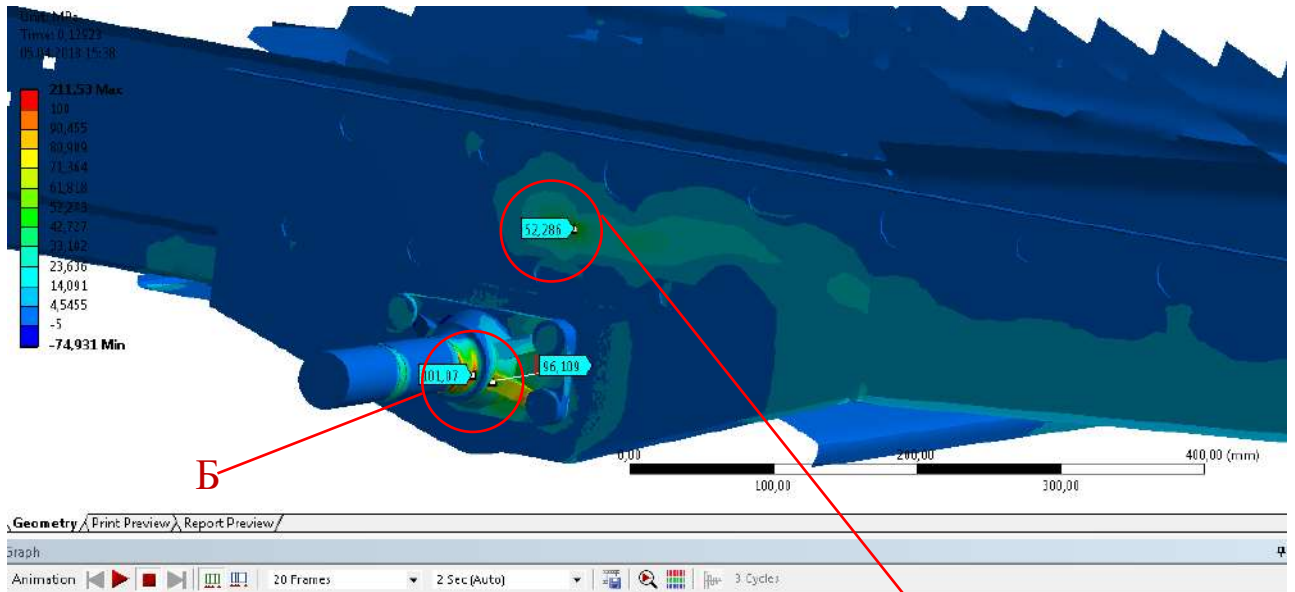


Рис. 1 - Поля максимальных главных напряжений стрясной доски назад-вверх

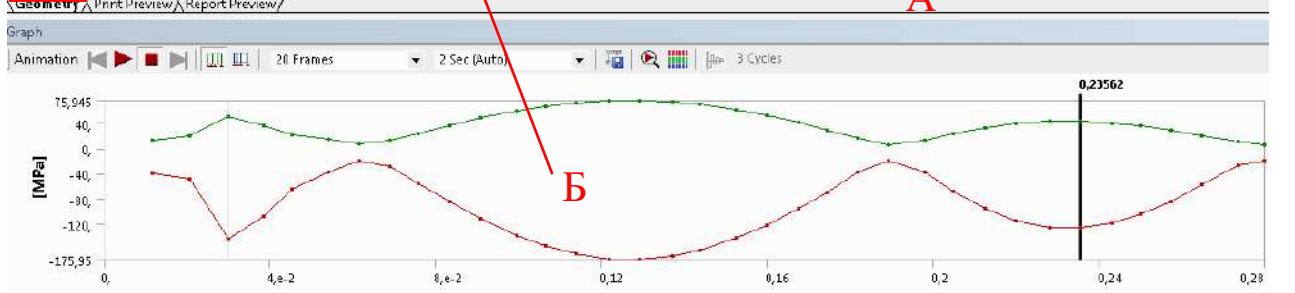
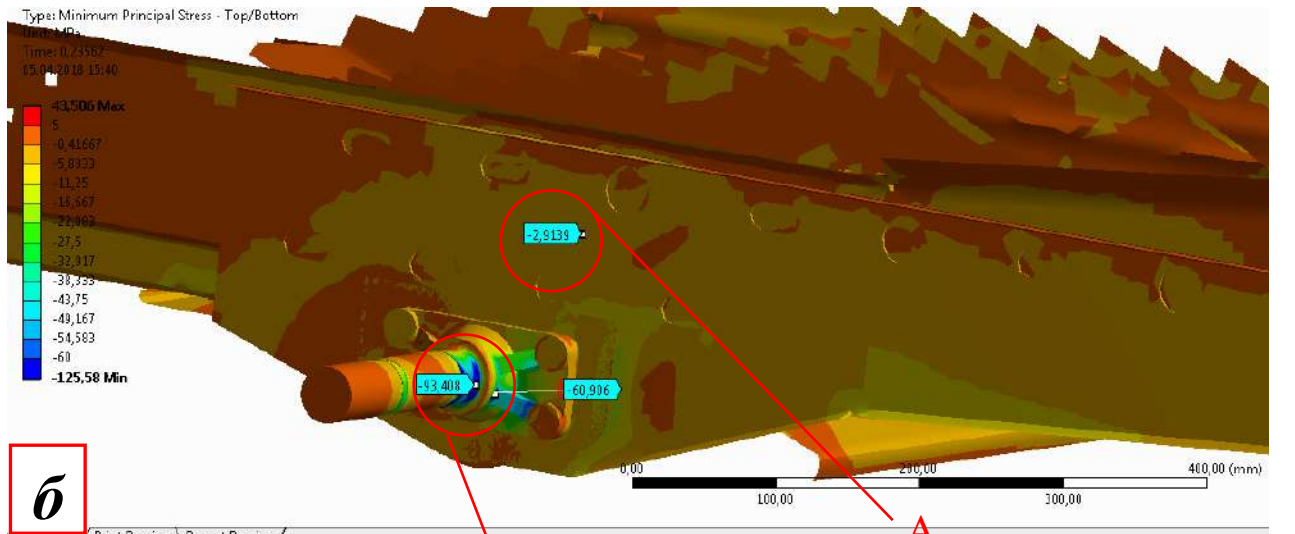


Рис. 2 - Поля минимальных главных напряжений стрясной доски вперед-вниз

Важным условием повышения точности расчета запасов усталостной прочности конструкций является точное определение параметров циклов перемены напряжений в наиболее нагруженных зонах, для чего необходим анализ всех возможных режимов нагружения конструкции с выявлением наиболее опасных режимов.

Метод конечных элементов при достаточно высоком качестве конечно-элементной сетки позволяет определить локальное повышение действующих напряжений, связанное с особенностями геометрии конструкции [5]. Поэтому при назначении расчетных коэффициентов концентрации напряжений необходимо учитывать только технологические факторы, оказывающие влияние на механические свойства материала в рассматриваемой зоне (сварные швы, шероховатость поверхности, переходы зон с различной твердостью, натяг, и т.д.).

В результате расчета были определены циклы перемены главных напряжений и запасы усталостной прочности с учетом технологических факторов в наиболее нагруженных элементах стрясной доски зерноуборочного комбайна, что позволило принять необходимые решения по обеспечению требуемого уровня надежности конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reddy J.N. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis. Оксфорд: Oxford University Press, 2004. 488 с.
2. Kattan P.I., Voyiadjis G.Z. Damage Mechanics with Finite Elements: Practical Application with Computer Tools. Берлин: Springer, 2002. 113 с.
3. Rombach G.A. Finite element design of concrete structures: Practical problems and their solutions. Лондон: Thomas Telford Publishing, 2004. 300 с.
4. Liu G.R., Quek S.S. The Finite Element Method: A Practical Course. Оксфорд: Butterworth-Heinemann, 2003. 384 с.
5. Elishakoff I., Ren Y. Finite Element Methods for Structures with Large Stochastic Variations. Оксфорд: Oxford University Press, 2003. 272 с.
6. Hartmann F., Katz C. Structural Analysis with Finite Elements. Берлин: Springer, 2004. 484 с.

УДК 631.35

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СИЛ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПО ГАРМОНИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ

А.Н. Кондрашова, Д.В. Джасов, И.А. Баран
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Среди всего многообразия видов нагружения по своей распространенности и опасности для работоспособности сельскохозяйственных конструкций доминирующую роль играет переменное нагружение, приводящее к вынужденным колебаниям. При совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных колебаний этой системы происходит резкое возрастание амплитуды колебаний, что приводит к большим деформациям и, как следствие, к разрушению конструкции [1].

Конструкцией, подверженной вынужденным колебаниям, является приспособление для уборки рапса ПР-7С, которое используется при агрегатировании с жатками для уборки сои. По результатам испытания опытного образца конструкции в полевых условиях были выявлены повышенные вибрации на боковых делителях, приводящие к трещинам на правой боковине жатки.

Важной задачей на этапе проектирования жаток и различных адаптеров является проведение предварительных виртуальных исследований для получения отклика конструкции под воздействием внешних сил. В 2020 г НТЦК ОАО «Гомсельмаш» приобрело программно-аппаратный комплекс для выполнения высокопроизводительных расчетов на базе программного обеспечения ANSYS Workbench [2]. Этот комплекс позволяет проводить гармонический анализ конструкций по заданным показателям средствами численного моделирования с помощью модуля Harmonic Response [2]. Модуль позволяет выполнять гармонический анализ и определять установившийся отклик системы на усилие, действующее на конструкцию по гармоническому закону в определенном диапазоне частот.

Целью данного исследования является поиск оптимального варианта конструкции, который обеспечивает допустимый уровень амплитуды виброускорений и виброперемещений, не менее 20% величину отстройки частот собственных колебаний конструкции [3] от частот дорожного фона и возмущающих частот режущего аппарата при обеспечении необходимого запаса прочности.

Расчет проводился методом суперпозиции мод, который использует данные о собственных частотах и формах колебаний, полученных путем

предварительного проведения модального анализа, а так же учитывает предварительное нагружение и демпфирование конструкции.

В итоге был получен гармонический отклик конструкции правой боковины приспособления для уборки рапса при воздействии нагрузок от режущего аппарата в заданном диапазоне частот (от 5 до 15 Гц), определенном в результате предварительного анализа собственных частот конструкции.

С целью оптимизации приспособления для уборки рапса по параметрам прочности и виброустойчивости проведен ряд расчетов различных вариантов конструкции, на основании которых предложены рекомендации по изменению конструкции, отвечающей требуемым параметрам.

Результаты расчета для исходной и оптимизированной конструкции представлены на рис. 1 в виде графиков амплитудно-частотных характеристик виброускорения по оси, направленной вдоль режущего аппарата, а также на рис. 2 в виде полей эквивалентных напряжений.

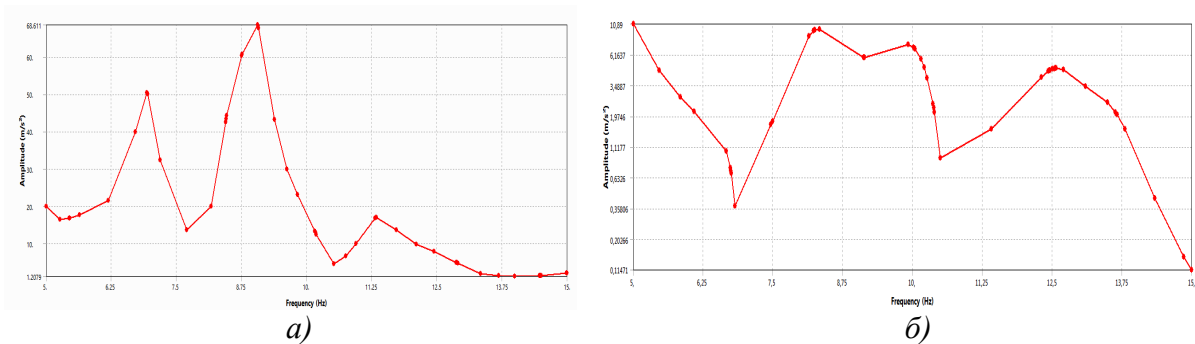


Рис.1 - Амплитудно-частотные характеристики исходной а) и оптимизированной б) конструкции боковины приспособления для уборки рапса ПР-7С

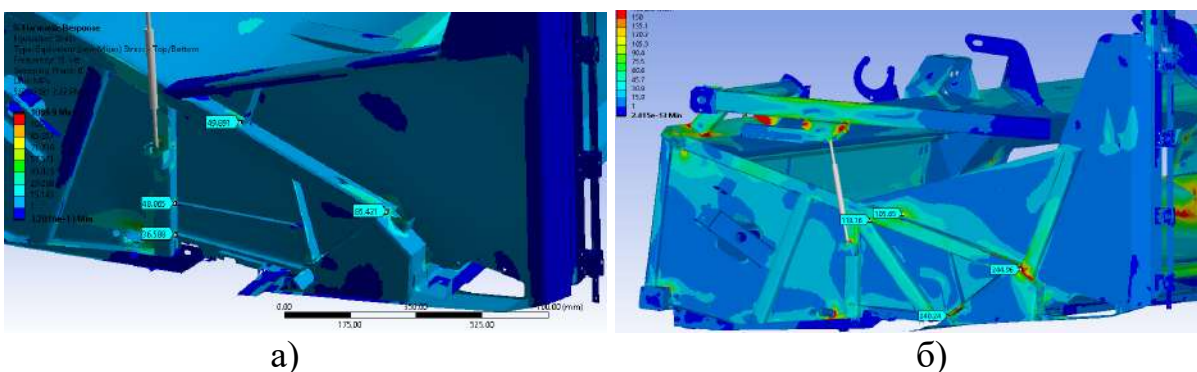


Рис.2 - Поля эквивалентных напряжений в исходной а) и оптимизированной б) конструкции приспособления для уборки рапса на рабочей частоте

По итогам проведенных исследований конструкции были предложены конструктивные решения, которые позволили снизить уровень виб-

роускорений в 5,3 раза на частоте работы режущего аппарата. При этом запасы прочности в опасных сечениях увеличились не менее чем в 2,8 раза.

Результаты виртуальных исследований были подтверждены опытными испытаниями по замеру виброметрирования на частоте работы режущего аппарата рапсового приспособления. Погрешность расчетного значения виброускорения в сравнении с результатами виброметрирования составляет менее 5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берендеев Н.Н. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы/ Н.Н. Берендеев// Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с.

2. 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.

3. Горбатов, В.В. Типовая методика испытаний сельскохозяйственной техники на виброзащищённость/ В.В. Горбатов. – М.:ВНИИМОЖ, 1986. – 219 с.

УДК 631.37

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ САМОХОДНОЙ РИСОВОЙ КОСИЛКИ

А.А. Калиновский, Ю.В. Чупрынин, А.Я. Машук,
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Применение гусеничного движителя на сельскохозяйственной машине снижает негативное воздействие на почву, что особенно актуально при уборке риса на переувлажненных почвах.

Уборка риса проводится двумя способами: раздельным и прямым. В основном используется раздельный способ уборки, где для свалки риса применяются жатвенные агрегаты в составе жатки и жатконосителя. В качестве жатконосителей выступают машины на гусеничном ходу.

Объектом исследования является ходовая часть перспективной самоходной косилки для раздельной уборки риса производства ОАО «Гомсельмаш». Ходовая часть предназначена для обеспечения движения и поддержания остова косилки и состоит из подвески и гусеничного движителя.

В качестве гусеничной ленты движителя выступает резинометаллическая гусеница, т.к. она обладает рядом преимуществ перед металлической гусеницей: универсальность в эксплуатации (используется как на бездорожье, так и асфальтовом покрытии), низкий уровень шума, уменьшение вибрации техники, меньшая масса, меньшее сопротивление движению механизма, а также лучше переносит эксплуатацию во влажных мелко-абразивных средах.

Для соединения катков с остовом применена упругая балансирующая подвеска. В механизме в качестве исполнительного органа используются гидроцилиндры плунжерного типа (по 1 шт. на каретку), а в качестве упругого элемента используется пневмогидроаккумулятор (по 1 шт. на каретку). Такой же принцип применен для механизма натяжения гусеницы. Данное техническое решение с использованием индивидуальной закачкой пневмогидроаккумуляторов обеспечивает возможность тонкой настройки подвески. Это изменение клиренса машины, регулировка жесткости подвески в зависимости от режима (транспортный, рабочий), выравнивание рамы косилки в зависимости от массы навесного оборудования.

В реальных условиях эксплуатации источником нагрузок на опорные катки косилки являются:

- вес подрессоренных масс;
- натяжение гусеничной ленты;

- изменение координаты центра тяжести в процессе эксплуатации (движения на уклонах, опорожнение топливного бака);
- сопротивление перемещению жатки;
- силы инерции при неустановившемся движении;
- изменение касательной силы тяги во времени при прямолинейном движении;
- инерционная нагрузка при криволинейном движении;
- изменение касательной силы тяги при криволинейном движении.

Все выше перечисленные факторы вызывают перераспределение нагрузок на опорные катки.

Рекомендации по конструированию и теоретическим расчетам гусеничных движителей широко освещены в технической литературе и научных публикациях [1, 2, 3, 4]. Однако данные аналитические выкладки носят достаточно приблизительный характер, в результате чего натурные испытания и доводка новых конструкций движителей занимает значительную часть времени при проектировании машин.

Для исследования кинематики и динамики движителя косилки и учета большинства перечисленных факторов, влияющих на динамику ходовой части на этапе проектирования, было применена связка современных программных комплексов Simcenter 3D Motion и Simcenter Amesim.

Комплекс виртуального моделирования механических систем Simcenter 3D Motion, использовался для построения расчетной трёхмерной модели с учетом массово-инерционных характеристик элементов конструкции (рис. 1). Для моделирования гидравлической схемы подвески и натяжения использовался программный пакет для мультидисциплинарных исследований мехатронных систем Simcenter Amesim (рис. 2).

Данные программные комплексы работают в комбинированном режиме, т.е. модель в Simcenter Amesim рассчитывает силы, приложенные к 3D модели в Simcenter 3D Motion, который вычисляет положения и скорости для использования в модели Simcenter Amesim. Схема комбинированного моделирования показана на рис. 3.

В процессе виртуальных экспериментов движения косилки по различным трекам были получены перемещения, скорости и ускорения элементов конструкции, определены угловые колебания остова в продольном и поперечном направлениях. На основании полученных результатов моделирования была проведена оптимизация пневмогидравлической подвески ходовой части косилки, в частности геометрические параметры элементов подвески, давление предварительной закачки жидкости, давление закачки газа в пневмогидроаккумуляторы и их объём.

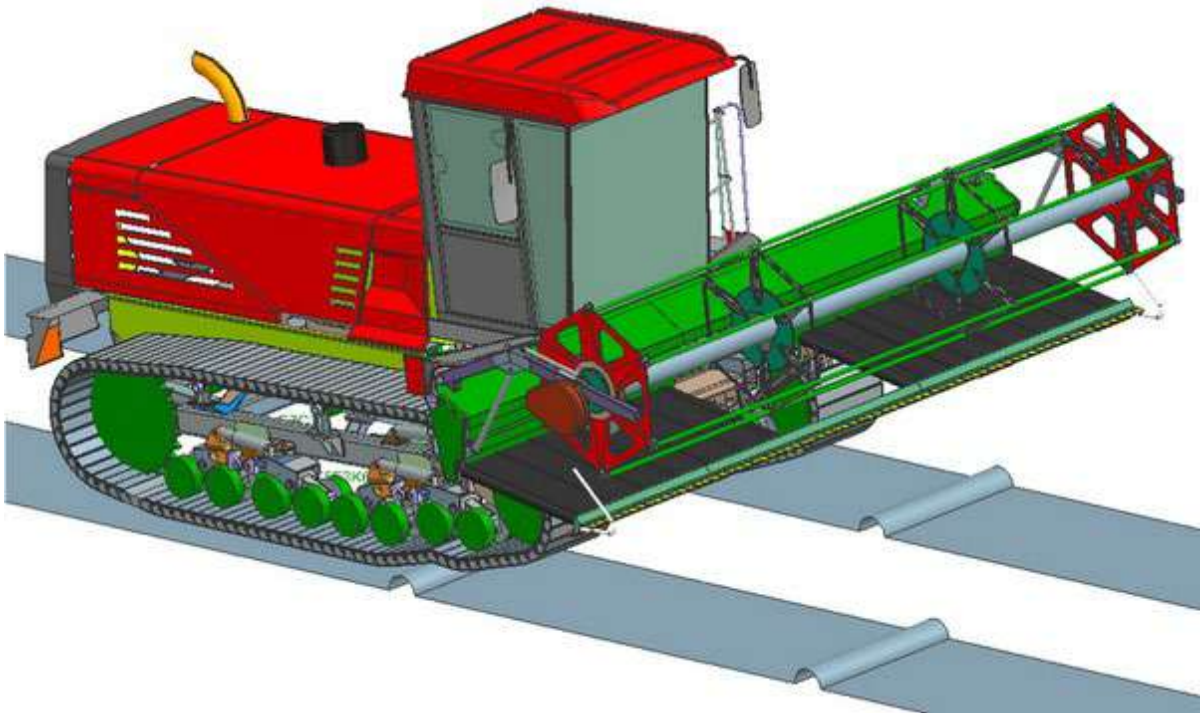


Рис. 1 - Массово-инерционная трехмерная модель косилки в Simcenter 3D Motion

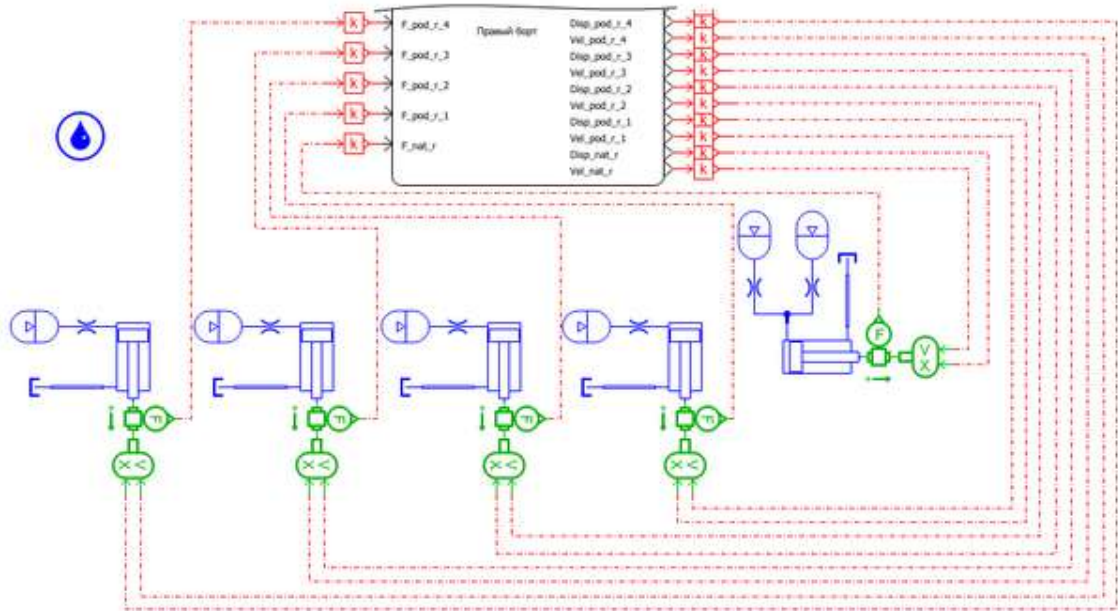


Рис. 2 - Представление гидравлической схемы подвески в Simcenter Amesim

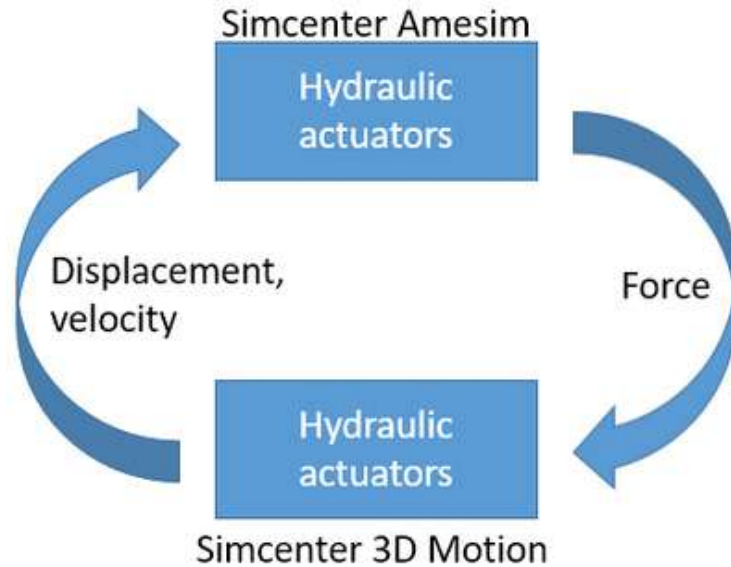


Рис. 3. Схема комбинированного моделирования

На рис. 4 приведены изменения усилия в гидроцилиндрах правого борта ходовой части во время виртуального эксперимента по преодолению косилкой препятствий при скорости движения 5 км/ч.

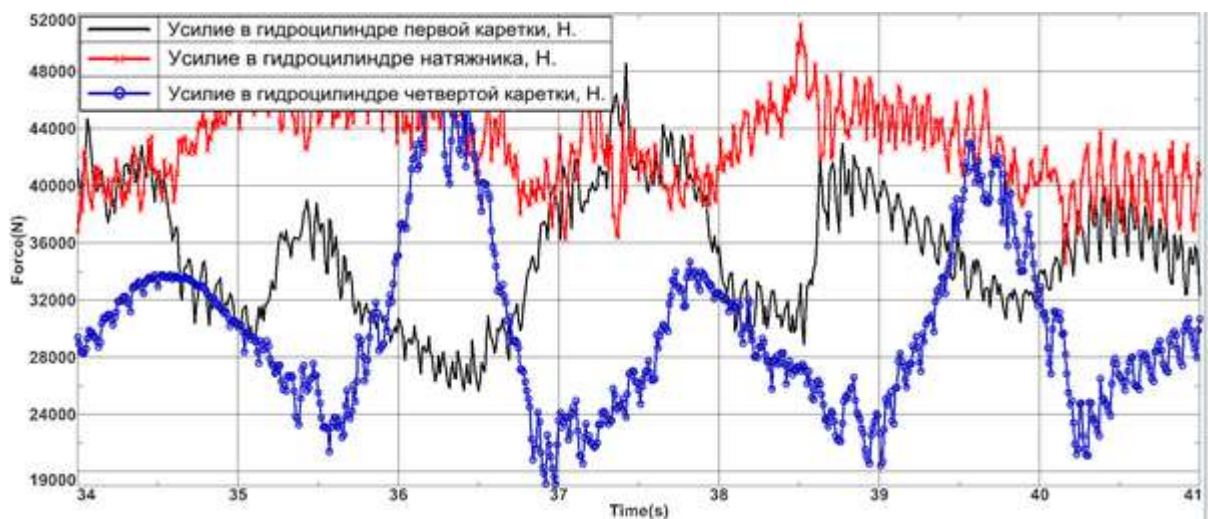


Рис. 4 - Фрагмент результатов компьютерного моделирования преодоления косилкой препятствий, при скорости движения 5 км/ч

Использование современных программных комплексов виртуального моделирования механических систем позволило на ранней стадии проектирования ходовой части гусеничной самоходной рисовой косилки провести ее анализ, нагруженность элементов и оптимизацию конструкции для обеспечения требуемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справочное пособие / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – изд. 2-е, переработ. и доп. – М., «Машиностроение», 1976. – 456 с.
2. Волков, Ю.П. Транспортные гусеничные машины. Ходовая часть: Учебное пособие / Ю.П. Волков, В.Е. Ролле, А.Д. Самойлов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 267 с.
3. Платонов, В.Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с.
4. Бойков, В.П. Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Теория: Учебное пособие. / В.П. Бойков, В.В. Гуськов, В.А. Коробкин. – Минск: Новое знание, 2012. – 543 с.

УДК 004.942, 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AMESIM

Д.В. Джасов, А.А. Калиновский

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

В настоящее время во многих отраслях сельхозмашиностроения, в том числе и в комбайностроении, широко применяются и внедряются сложные технические системы, включающие в себя компоненты различной физической природы. Работа таких систем основана на интеллектуальном управлении, что способствует улучшению функциональных характеристик продукции, увеличению производительности, надёжности, а также снижению эксплуатационных расходов.

Для качественной настройки параметров этих систем и создания оптимальных алгоритмов управления используется математическое моделирование, которое является неотъемлемой частью разработки сложных технических объектов. Как правило, создание математических моделей каждой из подсистем такого объекта, имеющего мультифизические компоненты, классическими методами затруднены тем, что для решения задач из разных областей знаний требуется создание нескольких моделей соответствующими специалистами, а результаты их работы должны быть объединены, интерпретированы и проанализированы. Поэтому на начальной стадии проектирования не всегда имеется возможность отработать взаимодействие подсистем и проверить обоснованность принятых параметров. В связи с этим при испытаниях натурального образца, возникают ситуации, при которых спроектированные подсистемы имеют отклонения в характеристиках, которые в итоге приводят к несоответствию заданным параметрам всего изделия. Одним из способов исключения таких ситуаций является проведение анализа взаимодействия подсистем, выбор их характеристик и параметров еще на этапе концепции, т.е. до разработки конструкторской документации, а только затем проверка их работоспособности в составе машины.

Одним из современных подходов к процессу проектирования технических систем различной степени сложности является междисциплинарное моделирование с учётом работы алгоритмов их управления в единой среде. Примерами таких пакетов для моделирования физико-технических объектов и систем являются Simcenter AMESim, Automation Studio, Modelica, MapleSim, SimulationX и MATLAB Simulink [1].

Для возможности комплексной оценки вариантов технических решений на начальном этапе проектирования, а также для поиска резервов

улучшения работы существующих технических систем, включающих в себя механические, электрические, гидравлические и другие компоненты, НТЦК ОАО «Гомсельмаш» приобрел программно-аппаратный комплекс Simscenter3D компании Siemens PLM Software, включающей в себя также платформу для мультифизического моделирования AMESim.

Simcenter Amesim применяется в расчетно-конструкторских подразделениях и позволяет оценить работоспособность разрабатываемого изделия на ранних этапах, когда еще отсутствуют проработанные CAD модели, а также на поздних этапах проектирования, когда требуется оценить совместную работу уже спроектированных подсистем в составе машины.

Функциональным назначением платформы является [1]:

- анализ функциональных характеристик мехатронных систем;
- оптимизация между механическими, гидравлическими, пневматическими, тепловыми и электрическими/электронными системами до начала испытаний опытных образцов;
- принятие обоснованных решений для обеспечения наиболее важных параметров изделий на ранних стадиях разработки, общее улучшение рабочих характеристик и качества продукта.

Для построения расчетных моделей сложных технических систем не требуется геометрическая 3D-модель изделия. Эти модели строятся с использованием встроенных библиотек агрегатов и компонентов путем создания условных схем технических систем, добавляя символы или «иконки» на рабочую область и указывая связи между ними. Когда схема завершена, происходит задание математического описания компонентов, установки предполагаемых параметров и запуск симуляции. По окончании расчета проводится анализ результатов моделирования.

На рис. 1 представлен пример, созданной в Amesim, схемы модели одного из вариантов двухпоточной трансмиссии энергосредства.

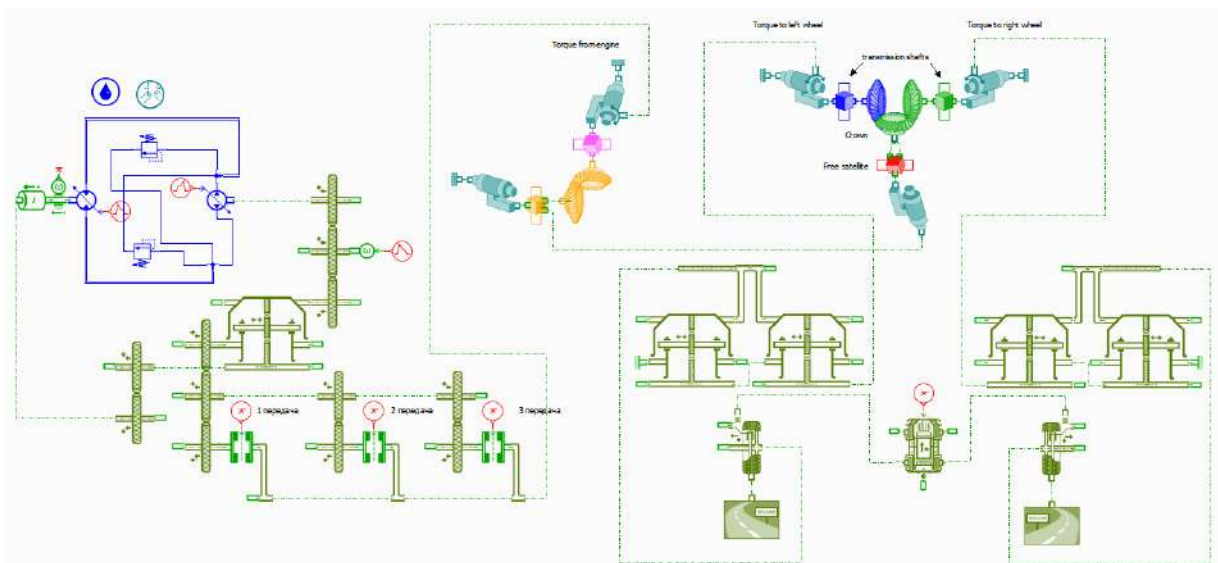


Рис.1 - Схема модели двухпоточной трансмиссии УЭС в Amesim

Результаты расчета представленной на рис. 1 схемы позволили провести анализ и оптимизацию работы двухпоточной трансмиссии на различных режимах, подобрать требуемые параметры элементов и оптимизировать режимы управления. Сравнение данной модели с моделью, сформированной математическими расчетными методами, показали полную идентичность результатов. Однако преимуществом модели, созданной в Amesim, является возможность опроса любых параметров и характеристик компонентов системы в реальном времени. Стоит также отметить, что время, от начала создания расчетной модели трансмиссии до получения первых результатов, оказалось в 2...3 раза меньше, чем при классическом способе. Кроме этого, имея модель трансмиссии в Amesim, есть возможность использовать подключение к ней внешних систем управления для отработки и валидации алгоритмов и стратегии управления всей системой.

Благодаря набору большого количества специализированных библиотек компонентов различной физической природы использование пакета Amesim для исследования сложных технических систем в рамках одной расчетной модели позволяет значительно упростить и сократить время моделирования, по сравнению с традиционными математическими методами, а также проводить более обширный анализ работы и поведения таких систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадиев, А.Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; - Электрон. текстовые и граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.

УДК 53.087.45/621.37/39

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ КЗС-4118

О.В. Рехлицкий, В.Н. Шкирский
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Современная техника имеет множество электронных систем и модулей, для обмена информацией между которыми используется CAN-шина и специальный коммуникационный протокол – CAN J1939. В CAN-шине содержится информация о скорости, частоте вращения коленчатого вала двигателя, температурах масла и охлаждающей жидкости, мгновенный и накопленный расход топлива. Эту информацию можно передать диспетчеру с помощью терминала мониторинга, имеющего CAN-интерфейс.

Система удаленного мониторинга снабжена рядом полезных функций. Первая из них — ежедневный анализ работы машины, основанный на данных о том, где, как и когда она работала в течение анализируемого периода времени. При этом выявляются источники дополнительных затрат, например вынужденные простои и слабые места логистики. В рамках этой опции с помощью специального индикатора на карте можно просматривать полосы движения агрегатов (рис.1). Еще одна функция телеметрической системы — оптимизация производительности, позволяющая сравнивать показатели эффективности машин в режиме реального времени и дистанционно вносить необходимые изменения. Благодаря этому можно оптимально настраивать даже ту технику, которая управляется механизаторами с недостаточным опытом работы, что будет способствовать повышению их производительности труда, а также повышению квалификации за счет приобретения навыков выполнения настроек, соответствующих конкретной полевой обстановке.

В сезоне 2021 г. начата реализация проекта по мониторингу параметров комбайнов КЗС-4118 в Гомельской области и комбайнов КЗС-2124 в Минской области. При помощи оборудования и программного обеспечения фирмы ЕНДС, г. Минск, к навигационной системе были подключены суммарно 80 комбайнов КЗС-4118 и КЗС-2124, благодаря чему, в режиме реального времени в программе «Навигатор С» по каждой машине стало возможно проследить путь передвижения комбайна (рис.1), определить начало и окончание работы, время активной уборки поля (рис.4), определить текущие режимы работы двигателя: частоту вращения коленчатого вала, температуру охлаждающей жидкости, давление в масляной системе, наработку за рассматриваемый период времени (рис.3).

Ежедневно по каждой машине программной формируется отчет о проделанной работе за день, в котором отражаются такие параметры как убранная площадь за весь период работы комбайна и за день, часы работы двигателя за весь период работы комбайна и за день, часы работы комбайна при уборке культуры, путь суммарный и пройденный за день, количество набранных бункеров в течении дня (рис.3). Также предусмотрена возможность формирования отчета по группе (группам) машин (см. таблицу 1).

ПО позволяет информацию о всех контролируемых параметрах комбайна представить в виде графиков (рис.4), по которым можно оценить изменение каждого из этих параметров в течении определенного промежутка времени, так, например, по графикам на рис.4 можно определить, когда комбайн был заведен, когда начал движение, время начала уборки поля, скорость перемещения по дорогам общего пользования и скорость при выполнении технологического процесса уборки поля, температуру охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя в течение дня, установить не было ли ее перегрева.

Одним из важнейших параметров, для комбайна КЗС-4118, работающего на газомоторном топливе, является степень заполнения баллонов газом. Благодаря отображаемой на графиках информации, можно определить, что комбайн начал уборку при, например, 55% уровне топлива и при 25% произведена заправка. Уровень заполнения баллонов важно знать заранее, чтобы спланировать время заправки газом и выстроить логистику доставки топлива к комбайнам с учетом их месторасположения, причем дислокацию отслеживаемой техники в каждый момент времени можно уточнить на имеющейся в программе географической карте местности.



Рис.1 - Местоположение и путь перемещения комбайна

Наименование	Состояние	Владелец	Гараж.номер	Топливо	Скорость	Пробег за период	Пробег
rassvet_0002		ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	0002	30	0	0	
rassvet_0003		ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	0003	96	5	27,03	1980,4
rassvet_0004		ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	0004	89	5	30,08	1554,4
rassvet_0005		ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	0005	99	12	0	

Рис.2 - Групповое отображение параметров комбайнов

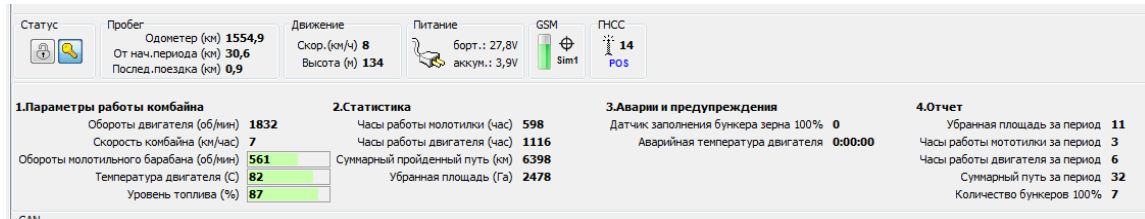


Рис.3 - Отображение текущих параметров комбайна

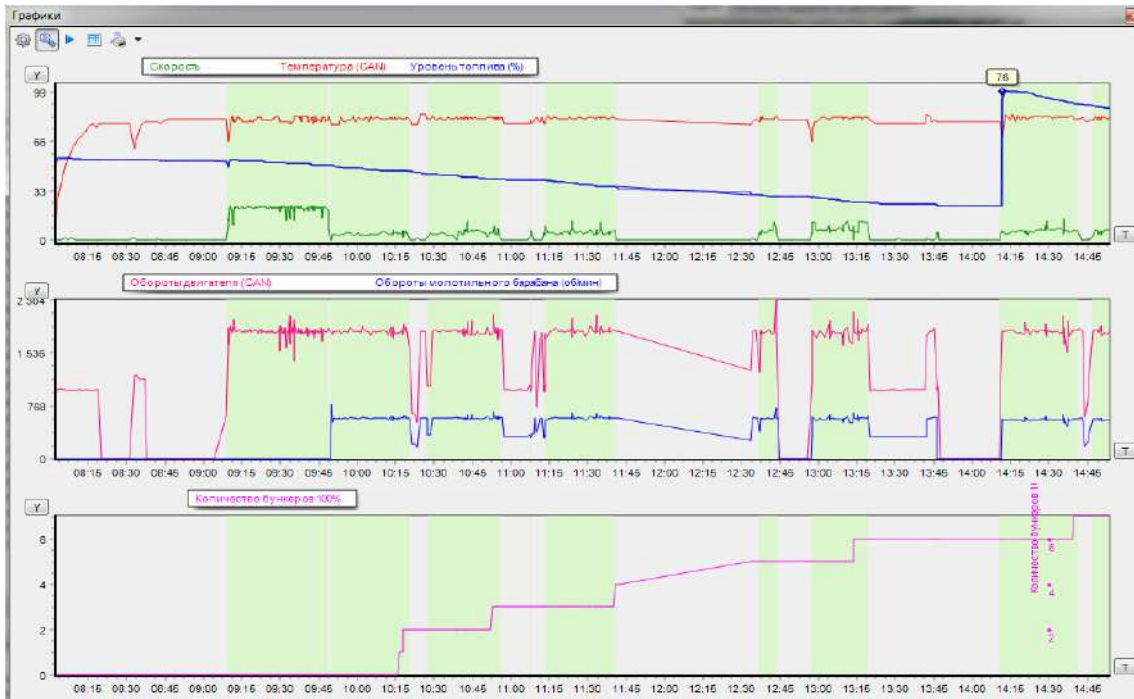


Рис.4 - Графическое отображение параметров комбайнов

Таблица 1 - Отчет о работе группы комбайнов

Владелец	Дата	Убранная площадь, га	Время работы молотилки	Время работы двигателя	Суммарный путь, км	Длительность смены, чч:мм	Начало смены, чч:мм	Окончание смены, чч:мм
ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	06.10.2021	14,9	3,7	6,5	33,1	10:35	07:24	17:59
ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	06.10.2021	21,3	5,2	7,8	43,5	09:26	08:20	17:46
ОАО "Птицефабрика «Рассвет»	06.10.2021	20,8	4,8	7,6	39,3	09:07	08:21	17:29

Выводы: 1. Эксплуатация ограниченной партии зерноуборочных машин подтвердила возможность получения оперативной и достоверной информации о состоянии, месторасположении и результатах работы уборочной техники в реальных хозяйственных условиях.

2. Грамотное использование информации, полученной за время работы оснащенных системой удаленного мониторинга машин, позволит специалистам и руководителям сельскохозяйственных предприятий своевременно реагировать на оперативную ситуацию во время уборочных работ, не допускать простоев, нерационального применения техники, избежать непроизводительных потерь топливно-энергетических ресурсов и обеспечивать их своевременное восполнение.

3. Примененная на зерноуборочных машинах ОАО «Гомсельмаш» система удаленного мониторинга пригодна для встраивания в комплексную технологию точного земледелия, как один из основных элементов, обеспечивающих экономическую эффективность ведения сельского хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.П. Науменко Теория и методы мониторинга и диагностики Материалы лекций, 2017.
2. Журнал Агро Техника и Технологии №4(74) июль-август 2019

УДК 631.354.2:338.001.36

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.К. Липская

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

В современных условиях развития научно-технического прогресса особую актуальность приобретают вопросы, связанные с экономической оценкой эффективности применения сельскохозяйственной техники. Они играют важнейшую роль при проведении работ по экономическому обоснованию применения определенного вида машин. Это связано с тем, что в настоящее время рынок сельскохозяйственной техники предлагает различные варианты оснащения хозяйств как зарубежными, так и отечественными машинами, использование которых позволяет производить один и тот же вид работ. Кроме того, их роль возрастает при необходимости принятия решения о постановке на производство и выпуске новой техники, которая всегда требует существенных капитальных вложений на разработку, проведение испытаний, переход к массовому производству и продвижению на рынок. Однако в будущем от нее можно ожидать получение значительного эффекта.

В Республике Беларусь определение показателей экономической эффективности новой сельскохозяйственной техники осуществляется по методике, изложенной в ТКП 151–2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей» [1]. Технический кодекс установившейся практики подготовлен ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция» на основании ГОСТ 23728–88 – ГОСТ 23730–88 [2] с учетом действующих в стране технических нормативных правовых актов.

В указанном документе установлены следующие основные показатели экономической эффективности:

- годовая экономия себестоимости механизированных работ;
- годовой приведенный экономический эффект;
- срок окупаемости дополнительных (абсолютных) капитальных вложений;
- капитализированная стоимость техники.

На основании этих показателей, полученных в результате испытаний новых машин, делается заключение о целесообразности их постановки на производство или приобретения.

Однако, как показывает практика, при расчете показателя срок окупаемости абсолютных капитальных вложений зачастую возникают суще-

ственные проблемы. Как правило, расчетная величина этого показателя превышает срок службы анализируемых машин, т.е. абсолютные капитальные вложения не окупаются. Основная причина этой проблемы кроется в самой методике расчета. В ней не указаны случаи, в которых следует производить расчет названного показателя, что приводит к грубым ошибкам и в конечном итоге к неправильным выводам.

Следует подчеркнуть, что расчет срока окупаемости абсолютных капитальных вложений применяется только в случаях, когда в хозяйстве (регионе) отсутствует техника (или технология), принятая за базу для сравнения [3, с.11-13], а сами показатели срока окупаемости дополнительных и абсолютных капитальных вложений отнесены к дополнительным показателям эффективности [3, с.20]. В то же время в ТКП 151–2008 отмечается, что экономическую оценку новой сельскохозяйственной техники проводят в сравнении с заменяемой моделью аналогичного назначения [1, с.1]. Следовательно, включение в ТКП упомянутого показателя резко противоречит основным положениям документа и, как показывает практика, приводит к неверному его применению.

Кроме того, методика не делает различия между величинами нормативных коэффициентов эффективности абсолютных и дополнительных капитальных вложений. Так, в результате проводимых расчетов по методике [1] получается, что при равной цене новой и базовой машины, увеличение производительности новой даже на 50 % обеспечивает окупаемость абсолютных капитальных вложений только за пределами ее срока службы, что является недопустимым. Проведенный анализ показал, чтобы величина названного показателя на новый зерноуборочный комбайн не превышала 5 лет, его цена при равной производительности с базовой моделью, должна быть как минимум в 2,1 раза ниже базовой или, при одинаковой цене, его производительность должна быть увеличена не менее, чем в 2 раза по сравнению с базовой, что на практике невозможно.

Необходимо также подчеркнуть, что в Российской Федерации основным документом, который применяют при определении экономической эффективности использования сельскохозяйственной техники, является ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки», введенный в действие в 2008 г. (в 2010 г. данный документ был доработан). Заметим, что в указанный стандарт в число основных показателей сравнительной экономической эффективности специализированной техники, комбинированных, универсальных агрегатов, технологических комплексов машин не включен такой показатель как срок окупаемости абсолютных капитальных вложений [4].

Таким образом, практика применения методики экономической оценки вновь разрабатываемой сельскохозяйственной техники, изложенной в ТКП 151–2008 [1], показала, что нормативный документ содержит ряд недостатков, что приводит к грубым ошибкам и неверному ее приме-

нению. В этой связи, требуется доработать основные положения ТКП и внести в него соответствующие коррективы, в части конкретизации случаев применения показателя срок окупаемости абсолютных капитальных вложений или исключить этот показатель из методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей ТКП 151–2008 (02150). Технический кодекс установившейся практики: ОСТ 10.2.18–2001. – Минск: Минсельхозпрод, 2001. – 14 с.
2. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки: ГОСТ 23728–88 – ГОСТ 23730–88. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 24 с.
3. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники/ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации, Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, М.:1998. – 219 с.
4. Матвеев, А.М. О современных методиках оценки экономической эффективности использования сельскохозяйственной техники / А.М. Матвеев, И.В. Шугуров // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 4. – С. 5 – 8.

УДК 658.512.011.56

ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ МАГНИТНО- ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

С.В. Рогов, Е.А. Пикас

УО «Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Долговечность узлов трения механизмов и машин в условиях эксплуатации обеспечивается путем повышения износостойкости фрикционно-контактирующих поверхностей. Перспективным методом повышения износостойкости быстро изнашиваемых деталей машин является магнито-электрическая обработка, сущность которого состоит в переносе микрочастиц ферромагнитного порошка на упрочненную поверхность при комбинированном воздействии электрических и магнитных полей. Сам процесс достаточно прост, но в тоже время этот метод требует более глубокого осмысления, изучения и совершенствования.

Формообразование упрочненного слоя детали происходит дискретно, в результате одновременного протекания двух процессов: наплавки и контактной приварки микроэлектродов к упрочняемой поверхности и ее электрической эрозии под воздействием микродуговых разрядов. Упрочненная поверхность представляет собой множественное сочетание наплавленных на металл куполообразных выступов высотой 0,1...0,15 мм (максимально до 0,3 мм), состоящих из материала микроэлектродов.

Между выступов могут располагаться относительно небольшие незаплавленные участки, а также электроэрозионные микрократеры глубиной до 0,05...0,1 мм. Под слоем наплавленных выступов имеется переходной слой толщиной 0,03...0,07 мм. Ещё ниже находится зона термического влияния со средней толщиной 0,15...0,2 мм.

По мере увеличения сплошности слоя, процесс переноса материала микроэлектродов на материал подложки затухает, “слой на слой” не ложится. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых получены данные параметров шероховатости, геометрической структуры поверхности и триботехнических характеристик покрытий, сформированных на поверхности трения с плазменного и магнитоэлектрических методов.

Установлены закономерности изменения содержания дисперсных включений боридов и карбиборидных соединений типа B_4C , $B_{56}C$ по глубине упрочненной зоны в зависимости от химического состава ферромагнитных порошков и основы металла. Проведены исследования основных параметров микротопографии поверхности (R_a , R_{max} , R_z , r , S) и твердости поверхности (сталь 45, сталь 40X) после магнито-электрического упроч-

нения ферропорошками ФБ-17 и ФХБ-1. Исследуя микропрофиль путем построения графика установлено, что сплошность нанесенного слоя на исходном, номинальном уровне не превышает 85...95% даже после электроконтактного сглаживания упрочненной поверхности.

При абразивном изнашивании обработанной поверхности определяющим фактором является повышение физико-механических свойств металлической поверхности, обусловленный переодическим изменением размера и формы структуры. Предложена конструкция технологической установки для упрочнения и восстановления быстроизнашивающихся поверхностей.

Этот метод позволяет создать твердый поверхностный слой тем самым увеличить износостойкость и долговечность контактирующих поверхностей.

Однако степень шероховатости после упрочнения достаточно высока, что приводит к достаточно трудоёмкой механической обработке. По своим технологическим возможностям магнитно-электрическое упрочнение занимает промежуточное положение между “грубым” электроискровым легированием и вибродуговой наплавкой (меньше нагрев упрочняемых деталей: при МЭУ - не более 150...200 °С, существенно проще достигается точечно-импульсный характер процесса).

Одним из перспективных и не используемых направлений является применение способа МЭУ при восстановлении изношенных посадочных мест под подшипники качения. Этот способ актуален при восстановлении посадок с натягом, при ремонте роторов электродвигателей. Износ посадочных мест здесь относительно мал (0,05...0,15 мм на диаметр), а обычно применяемая наплавка с последующей проточкой не обеспечивает, как правило, необходимой твердости слоя, да и вызывает большие температурные деформации роторов с необходимостью их правки. Здесь преимущества МЭУ (высокая износостойкость упрочненного слоя, малый нагрев упрочняемой детали) могут обеспечить его высокую эффективность. Установлено, что статическая прочность посадок с натягом, восстановленных магнитно-электрическим способом с последующим шлифованием, не уступает прочности посадок для еще не изношенных поверхностей.

В результате проведения экспериментов с использованием различных экспериментальных установок, были исследованы ряд параметров: твердость, шероховатость, микрорельеф и микроструктура, сформировавшаяся поверхности с помощью магнитно-электрического упрочнения.

УДК 631.354.2.076

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

И.А. Баран, А.Н. Вырский, А.Н. Кондрашова
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Внедрение и использование современных компьютерных технологий сегодня является для предприятия не способом получения конкурентного преимущества, а фактически условием конкурентоспособности [2].

Для обеспечения качественного выделения зерна из зернового вороха в системе очистки зерноуборочного комбайна с одновременной минимизацией потерь зерна очень важно обеспечить необходимый уровень скоростей воздушных потоков, проходящих через верхний и нижний решетный стан, с учетом рекомендаций, изложенных в специальной литературе, например в [1].

С целью принятия корректных конструктивных решений по изменению проточной части системы очистки с целью оптимизации воздушных потоков важным этапом является верификация результатов компьютерного моделирования аэродинамики очистки. Для этого на первом этапе выполняются экспериментальные исследования воздушных потоков с определением необходимых параметров, после чего компьютерная модель настраивается по параметрам (настройки параметров конечно-элементной сетки; настройки моделей и параметров турбулентности; настройки параметров входа, выхода и интерфейсов; настройки расчетных методов и параметров; настройки времени и шагов расчета и др.) с целью максимального приближения к результатам эксперимента.

На рис. 1 представлены результаты компьютерного моделирования аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна КЗС-3219, а также графики скоростей аэродинамического потока над верхним решетом по результатам эксперимента и компьютерного моделирования. Графики построены по результатам определения скоростей в точках, которые были равномерно распределены над верхним решетом и совпадали при проведении эксперимента и компьютерного моделирования. Из рисунка следует, что настройки параметров компьютерной модели позволяют добиться ее высокой степени адекватности по отношению к результатам эксперимента.

Разработанная компьютерная модель аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна является основой для проведения расчетных исследований различных конструктивных изменений очистки с целью повышения ее производительности, и позволяет прини-

мать обоснованные решения для достижения заданных параметров воздушного потока.

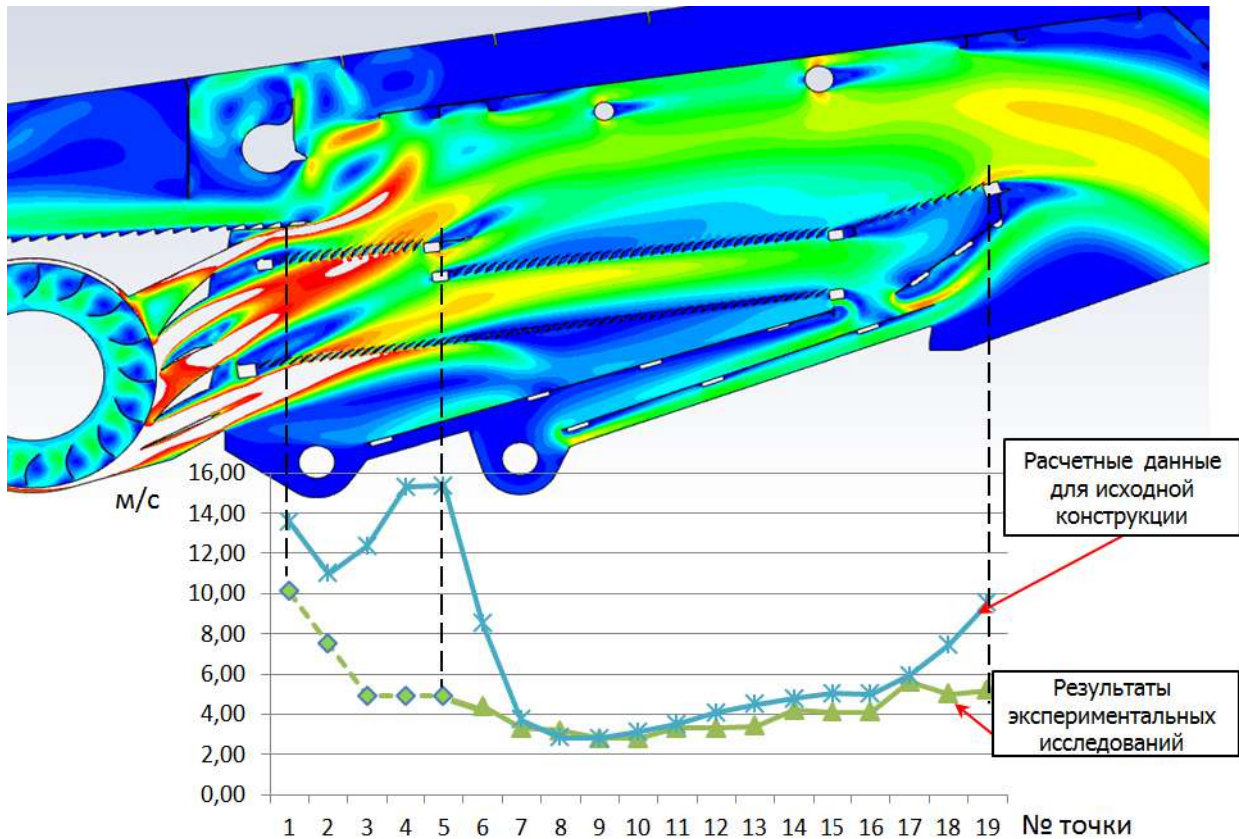


Рис. 1 - Моделирование и верификация компьютерной модели с результатами экспериментальных данных

ЛИТЕРАТУРА

1. Баран И.А., Вырский А.Н., Труханович С.В. Использование компьютерного моделирования аэродинамических потоков при проектировании систем очистки зерноуборочных комбайнов / Молодежь в науке — 2014 : приложение к журналу "Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі" : [материалы Международной научной конференции молодых ученых, Минск, 18—21 ноября 2014 г.] : в 5 ч. Ч. 3: Серия физико-технических наук; Серия физико-математических наук. Минск 2015 – с.56-61

2. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование Т. IV-16/И.П. Ксеневич, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Ксеневича. 2002. с.228-233

3. Крот А.М. Компьютерное моделирование пароводяных потоков внутри рабочей камеры микротурбины и оценивание коэффициента полезного действия для усовершенствования конструкции турбоагрегата / А.М. Крот, П.П. Ткачева, И.Н. Спагар // Информатика. – 2017. - №. 2(54).

УДК 658.512.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Соловьёва

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Задача автоматизации технологического проектирования изготовления опытных образцов для современного сельскохозяйственного машиностроения является чрезвычайно важной и актуальной. Ее решение обеспечивает сокращение сроков внедрения в производство новых проектно-конструкторских разработок и повышение его эффективности. Вместе с тем решение этой задачи связано с определенными трудностями. Это обусловлено как особенностями технологического проектирования, которое традиционно считается творческим процессом, так и возрастающими требованиями современного сельскохозяйственного машиностроения к автоматизированным системам.

Известно, что процесс проектирования – это не что иное, как процесс преобразования исходного описания объекта в его окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и технологического характера. Процесс проектирования состоит из ряда проектных процедур, под которыми понимается формализованная совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением. В свою очередь проектная процедура состоит из ряда проектных операций, предполагающих действие или формализованную совокупность действий, алгоритм которых остается неизменным для ряда проектных процедур.

При автоматизации технологических проектирования процессов изготовления опытных образцов структурно-сложных изделий, к которым, с учетом их сложности, можно отнести и сельскохозяйственные машины, должны быть рассмотрены следующие проектные процедуры:

- 1 Выбора технологического маршрута;
- 2 Выбора металлорежущих станков;
- 3 Выбора станочных приспособлений;
- 4 Выбора содержания операций;
- 5 Расчета припусков и операционных размеров;
- 6 Выбора режущих, вспомогательных и измерительных инструментов;
- 7 Расчета режимов резания и нормирования технологических операций;

8 Формирования текстовых и графических технологических документов;

9 Анализа результатов проектирования.

Анализ состава процедур и условий использования автоматизированной системы проектирования технологических процессов показывает, что для изготовления опытных образцов она должна использовать либо метод адресации, либо метод синтеза.

Основанный на использовании метода групповой обработки деталей и организации группового производства метод адресации характеризуется высокой типизацией решений. Предельная типизация решений достигается при использовании типовых технологических процессов. Разновидностью метода адресации является метод, основанный на заимствовании существующих процессов на основе поиска деталей-аналогов.

Метод синтеза является универсальным методом, предназначенным для проектирования технологических процессов на детали и сборочные единицы для любых изделий. Базой метода являются функциональные модели различных видов обработки, которые позволяют выбрать оптимальный состав технологических переходов в зависимости от требований к точности и качеству обработки элементарной поверхности с учетом конкретных организационно-технических условий конкретного предприятия. Выявленные в процессе моделирования оптимальные планы обработки в дальнейшем используются для формирования операций и технологических маршрутов аналогично тому, как это делается при использовании метода синтеза на основе типовых решений.

Наиболее важной расчетной задачей в перечне проектных процедур является технологическое нормирование. Различают три разновидности метода технологического нормирования: Первый – расчет норм по нормативам. Сущность: длительность нормируемой операции определяется расчетным путем по элементам с использованием нормативов, представляющих собой расчетную продолжительность выполнения отдельных элементов работы. Второй – расчет норм времени на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением. Сущность: норма времени устанавливается в результате изучения затрат рабочего времени наблюдением непосредственно в производственных условиях. Третий – сравнение и расчет по укрупненным типовым нормам. Сущность: норма времени определяется приближенно по укрупненным типовым нормативам, разрабатываемым на основе сопоставления и расчета типовых операций процессов по отдельным видам работ, т.е. норма времени ориентировочно назначается по справочникам.

Использование описанных методов автоматизации технологического проектирования при изготовлении опытных образцов сельскохозяйственной техники, безусловно, будет способствовать повышению качества и сокращению сроков проектирования.

УДК 658.512.011.56

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРАКТОРОСТРОЕНИИ

И. Ю. Левчук

УО «Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Инженерная деятельность в современных условиях тесно связана с использованием персональных электронных вычислительных машин и микропроцессоров. В последние годы в инженерной практике вычислительная техника широко применяется для выполнения расчетов, автоматизации проектирования, организации и планирования экспериментальных исследований, для обработки результатов испытания машин, механизмов, аппаратов и для многих других целей.

В настоящее время с учетом мировых тенденций развития промышленной информатики в области тракторостроения поставлена задача перехода к созданию информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции.

Несмотря на серьезные достижения в автоматизации проектных работ на предприятии, в общем объеме решаемых задач при конструировании новых моделей тракторов имеется немало «белых» пятен, не охваченных компьютерным проектированием, как по этапам проектирования, так и по составу агрегатов и сборочных единиц. При этом следует иметь в виду, что компьютеризация должна позволить:

- решить целый ряд технических проблем, обеспечивающих повышение качества выпускаемой продукции;
- разработать новые, более эффективные методы решения проектных задач;
- улучшить организацию процессов проектирования, документирования и запуска в производство новой продукции.

В качестве технических проблем, которые должны решаться на основе компьютерных методов и средств, можно назвать следующие:

- улучшение технологичности деталей и сборок с учетом особенностей имеющихся на предприятии технологических переделов;
- повышение надежности и долговечности деталей и агрегатов;
- решение задачи импортозамещения деталей и комплектующих;
- оптимизацию конструкции выпускаемой продукции по энерго- и материалоемкости;

- определение путей повышения функциональных характеристик выпускаемой продукции для выполнения требований европейских стандартов;
- повышение безопасности эксплуатации и улучшение условий эксплуатации продукции у потребителя;
- повышение производительности труда конструктора при формировании электронной документации;
- обеспечение выпуска и ведения всех типов электронных документов в соответствии с принципами информационной поддержки жизненного цикла продукции.

Решение всех этих проблем возможно путем разработки новых методов решения задач на базе компьютерного моделирования и анализа всех процессов проектирования и технологической подготовки производства.

Анализ перечисленных проблем показал, что для перехода к организации производственной деятельности предприятия на основе принципов поддержки жизненного цикла продукции в первую очередь необходимо создать методологический базис, рассматривая в комплексе задачи на этапах конструирования, технологической подготовки производства, управления производством, сбыта и эксплуатации тракторной техники. С учетом предыдущего опыта компьютеризации проектных и производственных задач можно формировать ряд концептуальных принципов внедрения информационной поддержки жизненного цикла продукции:

- 1) совершенствование производственной деятельности путем изменения методов решения задач и содержания проектных работ на базе комплекса методических, информационных и программных средств с поэтапным их внедрением в производство;
- 2) организация виртуальных бизнес-процессов на новый состав работ путем создания сквозных циклов по технологическим переделам и отдельным видам работ;
- 3) новая организация работ без изменения существующей структуры подразделений с закреплением разрабатываемых бизнес-процессов в стандартах предприятия;
- 4) реальная работа по компьютеризации деятельности подразделений предприятия путем разработки, технической приемки и сдачи в эксплуатацию в соответствии с календарным планом.

Реализация выдвинутых концептуальных принципов должна выполняться с привлечением молодых специалистов, окончивших Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого по специальности 1-53 01 01-01 «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение и приборостроение)», которые приобрели в вузе умения и навыки решения производственных и научных задач с помощью компьютерной техники.

УДК 629.02:631.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОСТИ ГИДРООБОРУДОВАНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ

О.В. Рехлицкий, А.Н. Шапоров, В.В. Подрез
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Современное гидравлическое оборудование – высокотехнологичное, наукоемкое, производимое на специализированных предприятиях. При проектировании новой техники перед конструкторскими подразделениями предприятий стоит важнейшая задача - обеспечить альтернативность покупного гидрооборудования при внедрении новых разработок в серийное производство.

В тоже время, в условиях увеличивающихся сроков поставки ведущими производителями гидравлического оборудования вследствие введения ограничительных мер в связи с короновирусной пандемией и экономическими санкциями, производители техники на постсоветском пространстве испытывают значительные трудности в ритмичном обеспечении производства покупными изделиями, значительная часть которых поступает из стран дальнего зарубежья. С целью исключения «форс-мажора», а также снижения затрат на приобретение покупных комплектующих изделий (далее-ПКИ), предприятия проводят плановую работу, директивно обязывая свои структурные подразделения постоянно искать альтернативных поставщиков для комплектации серийной продукции. [1], [2].

Задача упрощается, если осуществляется модернизация некоторой локальной технологической части машины. В этом случае обычно изменяются только трассы (разводка) гидравлических рукавов, расположение масляного бака и масляного радиатора. Основные гидроагрегаты, как правило, заимствуются из конструкции серийно-изготавливаемой базовой машины.

В случае, когда в машине применяются принципиально новые для разработчика технические решения, конструктор проводит бенчмаркинг существующих технических решений, в первую очередь, применяемых основными конкурентами. Хорошо, если новое гидрооборудование общепромышленного применения, которое может быть закуплено у известных проектанту фирм без ограничения по срокам поставки и количеству. В противном случае, использование примененных конкурентами ПКИ (если изготовителя удастся идентифицировать) связано с ограничениями возможности их приобретения либо вследствие запрета изготовителю продать третьим лицам, либо его завышенной цены, либо неприемлемыми сроками поставки.

В качестве примера рассмотрим реализуемый проект оснащения системой точного земледелия серийных комбайнов ОАО «Гомсельмаш», в процессе выполнения которого будет обеспечено применение альтернативного ПКИ - гидроблока автовождения.

По результатам предварительного анализа систем автовождения было принято *принципиальное* решение не применять систему подруливания с *электроприводом* рулевого колеса, монтируемую на рулевую колонку, как менее надежную, имеющую ограничение по крутящему моменту и психологически менее комфортно воспринимаемую оператором машины.

Вначале, наиболее оптимальным была признана замена штатного насос-дозатора рулевого управления специальным, выпускаемым фирмой Danfoss, в конструкцию которого встроена контрольно-регулирующая аппаратура с электронным управлением, см. рис.1 [3] с программным обеспечением фирмы Trimble.

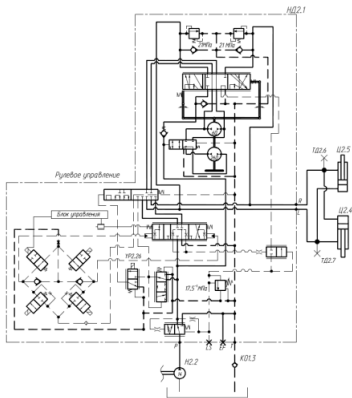


Рис. 1 - Гидросхема автовождения с насос-дозатором (НД2.1) Danfoss

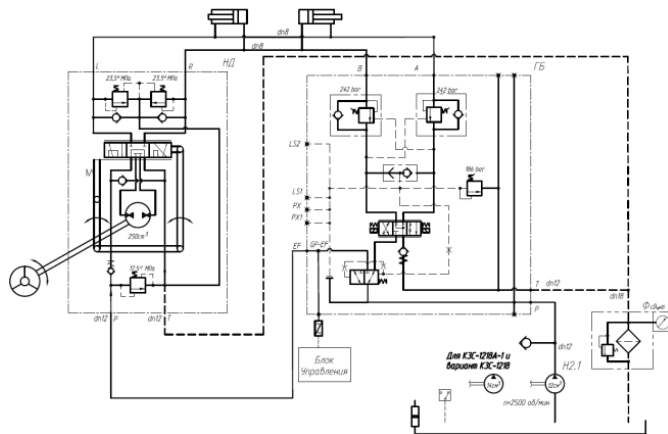


Рис.2 - Гидросхема автовождения со штатным насос-дозатором (НД) и дополнительным гидроблоком (ГБ)

Достоинство данного технического решения - в отсутствии необходимости изменения конструкции остальной гидросистемы комбайна, простота доработки гидросистемы в эксплуатации при оснащении комбайна системой автовождения с управлением по GPS (элемент концепции «точное земледелие»).

Но, оказалось, что фирма Danfoss в настоящее время является монополистом производства таких насос-дозаторов, что потенциально создает проблемы по их закупке при комплектации собираемых на конвейере машин в сроки и в объемах, предусмотренных планами производства ОАО «Гомсельмаш». Вследствие чего, даже после успешных испытаний опытных образцов данных систем, необходимо искать иные технические решения.

С целью ухода от эксклюзивной продукции, в качестве альтернативы с возможностью локализации, было принято решение применить для автовождения *дополнительный гидроблок* управления гидроцилиндрами поворота рулевых колес, устанавливаемый в штатную гидросистему, как показано на принципиальной гидросхеме, рис.2. По такой схеме функционируют гидроблоки систем автовождения фирм TeeJet Technologies, Trimble, Cognitive Technologies и др. Однако конструктивное исполнение гидроблоков у этих фирм разное, что требует проведения анализа стоимостных и технических характеристик, испытаний в составе машины выбранной конструкции (с адаптацией программного обеспечения). Был составлен алгоритм работ по выбору альтернативного ПКИ (рис.3) в соответствии с которым в настоящее время ведутся работы.

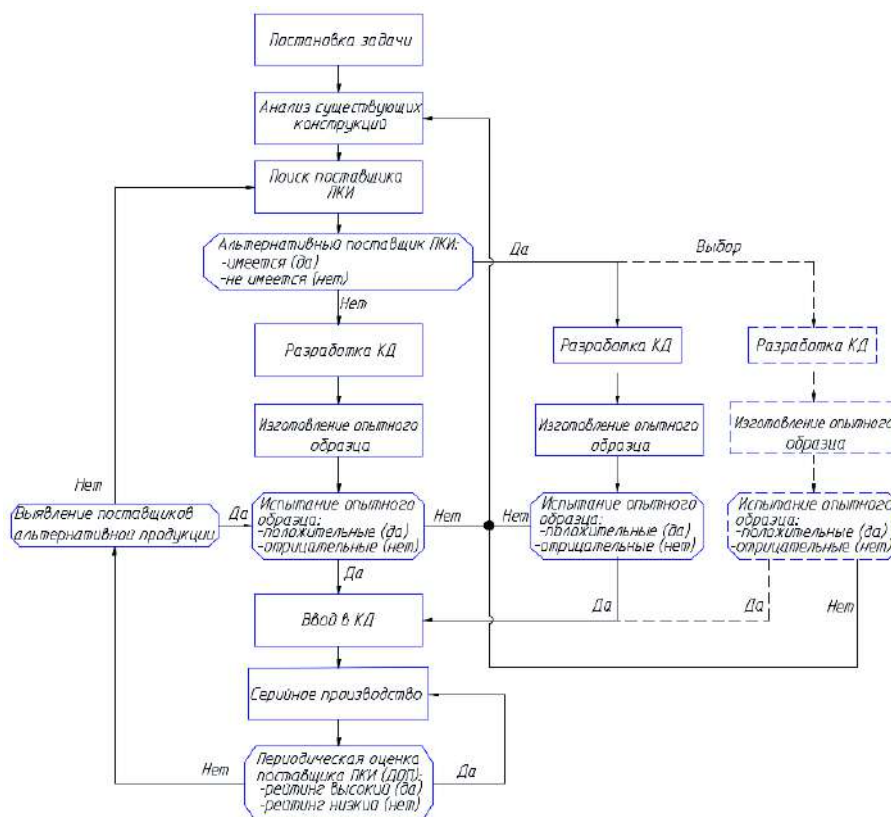


Рис.3 - Блок-схема алгоритма работ по выбору альтернативных ПКИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Необходимость проведения работ по обеспечению альтернативности поставщиков на стадии проектирования увеличивает затраты на проведение ОКР, особенно при отсутствии производства ПКИ, идентичных по всем массогабаритным и функциональным параметрам.

2. Заблаговременно проведенные работы по подбору и одобрению альтернативных поставщиков на стадии проектирования позволяют минимизировать негативные последствия от неритмичных поставок комплек-

тующих изделий при серийном производстве комбайнов, независимо от складывающейся рыночной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Неретина, О.Н. Курочкин. Обоснование альтернативных вариантов выбора поставщика комплектующих изделий на основе концепций межфирменного взаимодействия//Региональная экономика, №11, 2012
2. Королева В.Л. Методы выбора поставщиков // Экономика, управление, финансы: Материалы V междунар. науч. конф. (г. Краснодар, август 2015 г.). – Краснодар: Новация, 2015.
3. Проспект Sauer-Danfoss №11068682 • Rev CD • Sep 2012

УДК 621.828.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЙЛЕНТБЛОКОВ

О.А. Баран¹, Д.В. Джасов², Н.П. Першукевич¹, В.И. Прибыльский¹,
А.Н. Малофей²

¹ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь;

²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Анализ методов рекуперации в приводах колеблющихся рабочих органов зерноуборочных комбайнов показал, что перспективным направлением является использование сайлентблоков в качестве накопителей кинетической энергии колеблющихся масс механизма [1]. Для обеспечения минимальной нагруженности таких приводов необходимы определённые упругие параметры сайлентблоков. В этой связи целью работы было экспериментальное исследование упругих свойств сайлентблоков (жесткости, угла закручивания) при кручении. Рассматривалась возможность управления коэффициентом жесткости сайлентблока за счёт величины натяга между внутренней металлической и резиновой втулками путём изменения наружного диаметра внутренней металлической втулки.

Статические испытания проводились на стендовой установке НТЦК ОАО «Гомсельмаш» с использованием комплекта грузов и датчика измерения угла ДУП-01 с диапазоном измерения $\pm 15^\circ$ и разрешением обработки сигнала $0,1^\circ$. Стенд (рис. 1) представляет собой рычаг 1, один конец которого вместе с сайлентблоком закрепляется в опоре 3, на втором конце расположено крепление, на котором устанавливаются грузы 2. Количество грузов выбирается исходя из жёсткости сайлентблоков.

Для исследования использовались два типа образцов: серийный и макетный с увеличенным на 26% наружным диаметром внутренней металлической втулки. В обоих случаях применялась упругая вставка одного типоразмера (габаритные размеры $\varnothing 44 \times 55$, внутренний диаметр $\varnothing 23$ мм) из вулканизированной резины на основе смеси 7-ИРП-1348. Внутренний диаметр наружных металлических втулок сайлентблоков одинаков и на 4,5% меньше наружного диаметра резиновых втулок. Длина резиновой втулки макетного образца

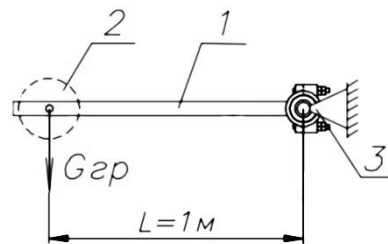


Рис. 1 - Принципиальная схема элементов стенда:

1 – рычаг, 2 – груз,
3 – опора

увеличивалась приблизительно на 20% по сравнению с серийным, что компенсировалось удлинением металлических элементов.

В результате испытаний получены характеристики упругости сайлентблоков при коаксиальном кручении, выполнена оценка остаточной деформации после нагружения, а также определён крутящий момент начала проворота металлических втулок относительно резиновой.

Анализ зависимости угла поворота наружной втулки сайлентблока относительно внутренней от приложенного крутящего момента (рис. 2) показал, что для макетного образца она близка к линейной в отличие от зависимости серийного образца. Применение упругих элементов с линейной характеристикой обеспечивает меньший уровень гармоник частоты нагружения, что снижает общий уровень вибрации в механизмах.

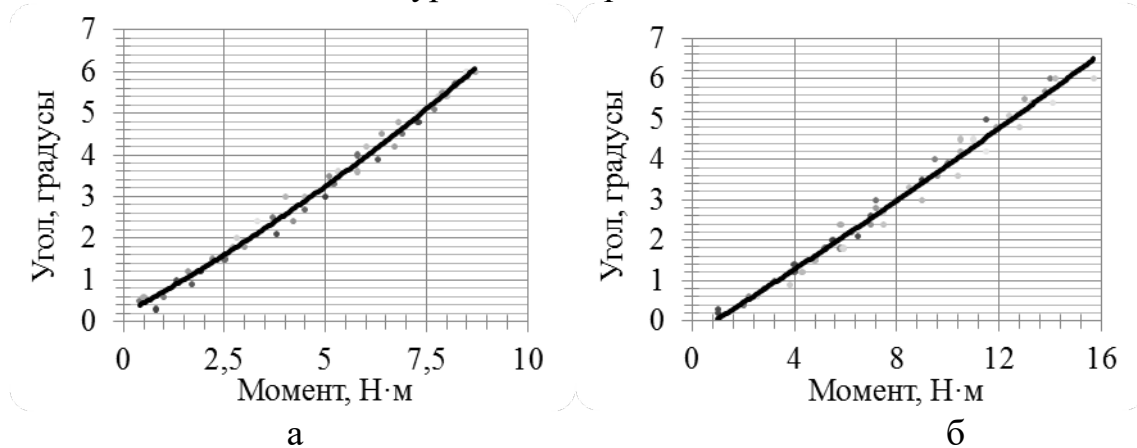


Рис. 2 - Графики зависимости угла закручивания наружной металлической втулки сайлентблоков относительно внутренней от приложенного крутящего момента: а – серийный образец, б – макетный образец

Крутильная жёсткость макетного образца в 1,75 раза выше, чем серийного образца. Остаточная деформация после снятия нагрузки для серийных образцов не превышала 0,6 градуса, для макетных образцов – 0,5 градуса. Крутящий момент начала проворота металлических втулок относительно резиновой для серийных образцов находился в пределах 10... 14 Н·м, для макетных образцов – 40... 50 Н·м. Запас крутящего момента проворота втулок по сравнению с моментом при максимальном угле закручивания сайлентблока для макетного образца (250 %) значительно больше, чем для серийного (11 %).

Таким образом, проведённые исследования показали, что за счёт изменения натяга между внутренней металлической и резиновой втулками можно получить жёсткость сайлентблока, необходимую для снижения нагрузок в рекуперативном приводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шантыко, А.С. Экспериментальная оценка влияния сайлентблоков на нагруженность привода очистки / А.С. Шантыко [и др.] // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сборник тез. докл. IV международ. науч.-практ. конф. – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2020. – с. 45-46.

УДК 631.35.008.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В CREO PARAMETRIC ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОГО ЗАМЫСЛА

Д.А. Крот

Научно – технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

С появлением мощных графических станций, а также компьютеров, способных решать не только математические задачи, но и визуализировать сложные технические процессы на экране, начался новый виток в машиностроительном проектировании. Потребности машиностроительной промышленности обусловили развитие программного обеспечения, которое позволило не только получить статическую 3D модель, но сделать ее подвижной, получить более глубокую и детально проработку конструкторского замысла.

Для более детального понимания вопроса мы рассмотрим одно из выполненных исследований на примере модели зерноуборочного комбайна КЗС – 1104. Поводом для исследований послужило обращение конструкторского отдела в связи с возникшими проблемами с системой очистки выявленными в процессе сборки опытного образца. Система очистки в укрупненном виде состоит из: стрясной доски, скатной доски, верхнего и нижнего решетного стана, вала, двух шатунов, двух двуплечих рычагов очистки. В процессе обкатки опытного образца, были замечены стук при работе данной системы. Ввиду затрудненного доступа (находится внутри комбайна) источник (причину стука) визуально определить не удалось.

Было принято решение – создать подвижную 3D модели КЗК-1104-0100400, которая позволила бы найти дефект и откорректировать его в конструкторской документации и в экспериментальном образце.

Использовалось программное обеспечение Creo Parametric 4.0. При 3D моделировании активно использовались predefined наборы ограничений, позволяющие описывать движение компонента в сборке, что необходимо для приведения механизма в движение и анализа движения. Так же стоит отметить, что при использовании predefined наборов ограничений создавать сборку необходимо в последовательности, которая не будет противоречить как конструкторскому замыслу, так и корректной работе ограничений в модели.

Базовым элементом, на котором была построена сборочная единица – скелетная модель зерноуборочного комбайна, на котором была установлена собираемая очистка.

Благодаря скелетной модели, позиционирование в пространстве рамы машины, на которую были установлены остальные узлы и детали происходит корректно. Очистка закреплена на 6 подвижных рычагах (рис.1) которые выделены на изображении красной рамкой.

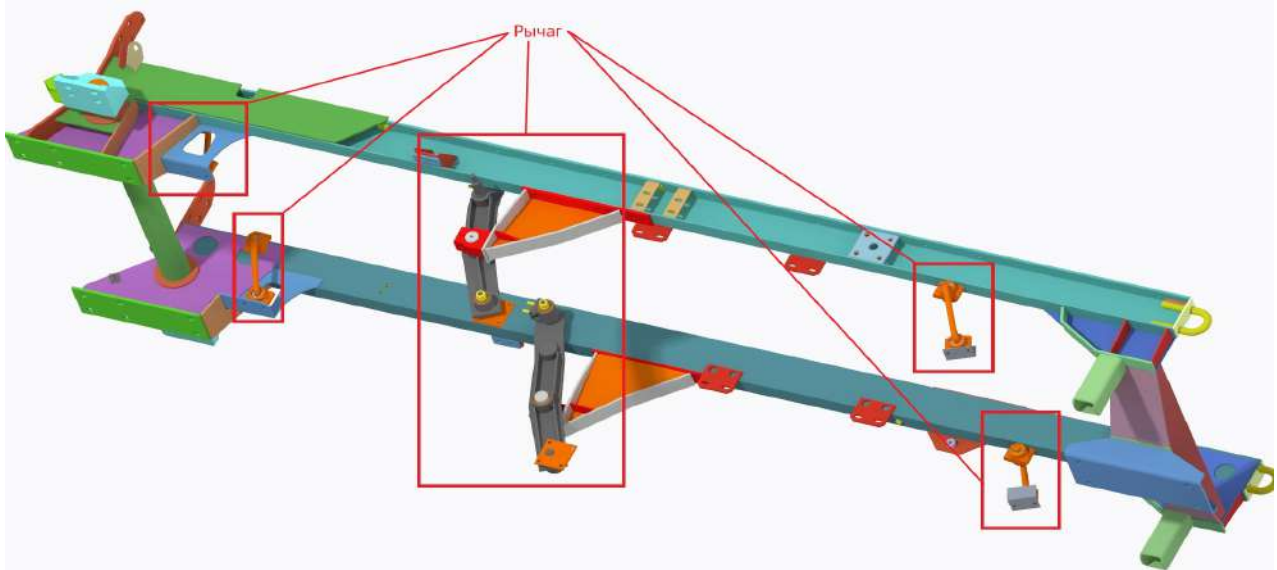


Рис.1 – Подвижные рычаги

Для реализации механизма в движении был использован тип предопределенного набора ограничений – Штифт, который соединяет компонент с осью привязки таким образом, что компонент вращается вокруг этой оси с одной степенью свободы.

Уместно отметить, что в Creo Parametric реализованы 12 типов предопределенных наборов ограничений, отличающихся количеством степеней свободы и типом размещения в 3D модели (приложение 1). Что дает возможность построения в Creo Parametric широкого спектра типов механизмов.

На основании подвижных 3D моделей была собрана очистка, для ее закрепления были использованы жесткие ограничения, не имеющие степеней свободы.

Вал привода очистки был размещен с использованием скелетной модели зерноуборочного комбайна, вся конструкция приводится в движение с помощью шатунов и эксцентриков, установленных на этом валу (рис.2).

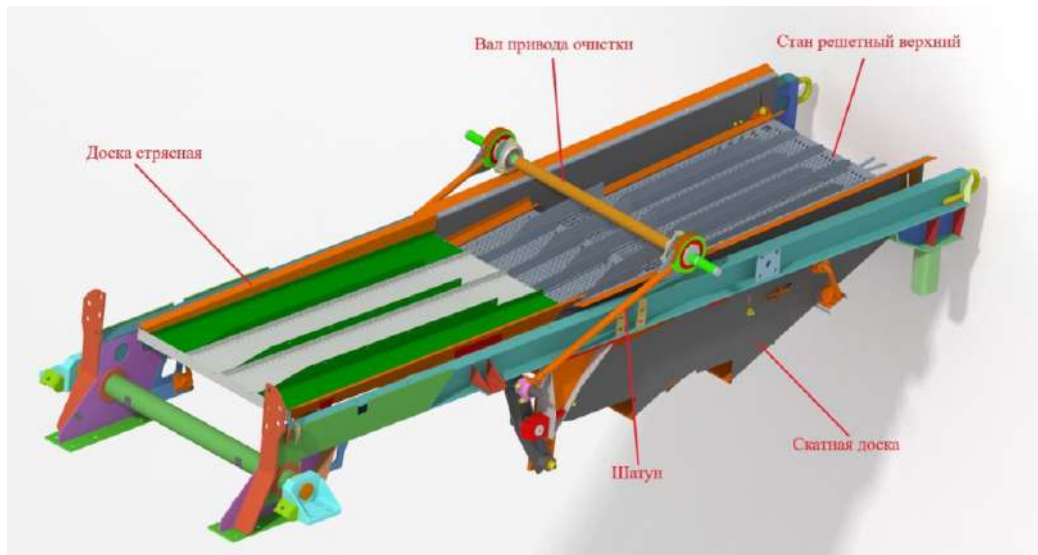


Рис.2 – Установка привода очистки

Для корректного позиционирования вала так же используется скелетная модель, для закрепления модели вала использовали predetermined набор ограничений «Штифт».

В Creo Parametric имеется возможность использовать сервопривод, что позволит придавать движение механизму с различными сервисными возможностями: скорость, ускорение, положение.

Вообще у сервопривода существует 3 типа движения: поступательное движение, вращательное движение и движение вдоль кривой. По сути, сервопривод позволил нам задать для этой модели определенное движение с одной степенью свободы, а именно вращение вала по оси, что и приводит в движение всю нашу конструкцию.

После создания подвижной 3D модели выяснилось, что опорная ось в скелетной модели зерноуборочного комбайна смещена на 3 мм в сторону от необходимой точки, что и повлекло за собой ошибку при проектировании и сборке в экспериментальной машине.

С одной стороны кажется, что создание подвижной 3D модели довольно сложное и долгое занятие, но это не совсем так, на ранних этапах ознакомления с данным функционалом Creo Parametric могут возникнуть небольшие вопросы, но впоследствии, все становится куда как понятнее и доступнее. Так же стоит понимать что, таким образом, мы получили 3D модели собранные с помощью predetermined наборов, позволяющих не только увидеть движение конструкции во время проектирования, но и избежать потенциальных ошибок при проектировании.

Созданием подвижных 3D моделей не ограничивается лишь установкой сервоприводов – возможно создание подвижных моделей для пар зубчатого зацепления, системы ремня и шкива, кулачков. Так же для работы с подвижной 3D моделью есть возможность работать с пружинами,

демпферами, силовыми приводами, указывать нагрузку на опорах, определять силу или момент.

Это все позволяет отслеживать в реальном времени динамическое изменение в модели, которое и позволит избежать последующих ошибок

Трёхмерное моделирование не является универсальным средством для проектирования, и не может заменить специалиста – конструктора, вместе с тем оно позволяет выполнить разнообразные исследования, тесты и проверки до изготовления в металле. Выявить на ранних стадиях ошибки и избежать переделывания конструкции в железе, тем самым сократить время выпуска новых видов техники и повысить качество уже на этапе проектирования.

УДК 631.35.008.94

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКТОРСКИХ ПРОРАБОТОК В СРЕДЕ CREO PARAMETRIC ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С PDM WINDCHILL

И.А. Кольцова¹, Д.А. Крот¹, Н.В. Грудина²

¹ Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

² УО «Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

В Научно-техническом центре комбайностроения (далее, НТЦК) ОАО «Гомсельмаш» уже 100% проектируемых изделий разрабатываются с использованием 3D-моделей. Все конструкторские подразделения работают с единым программным средством – Creo Parametric (далее - Creo). Данные сохраняются в едином информационном пространстве в системе управления жизненным циклом изделия PDM Windchill (далее - Windchill), обеспечивающую многопользовательскую, коллективную работу над проектами в режиме реального времени.

При проектировании изделий сельскохозяйственной техники важное место занимает выполнение конструкторских проработок 3D-моделей сборок, деталей, узлов верхнего уровня. Для данных целей в Creo появилась новая технология «Сессия исследования моделей».

Перспективным направлением в Creo при выполнении конструктивных проработок является функционал «Сессия исследования моделей/конструкций» (англ. PTC Creo Design Exploration Extension –

далее DEX). Данная технология появилась в новых версиях Creo версии 3 и выше для работы с трехмерной геометрией. Применяется для конструктивных проработок деталей/сборочных единиц при изменении конструкции, создание новых изделий, дизайнерских работах. Сессия исследования модели создает, сохраняет данные в одном файле Creo с расширением .TMU (далее- TMU) и далее данные сохраняются и хранятся в системе управления жизненным циклом изделия PDM Windchill (далее-Winchill) .


Предусмотрен функционал, позволяющий загружать файлы TMU как объекты САПР в Windchill и управлять файлами TMU как первичными объектами в Windchill (продукт Windchill PDMLink).

Традиционно, ежедневно конструктор выполняет проработки, и каждый вариант проработанной конструкции сохраняется в отдельный файл в системе Windchill. Создали вариант проработки конструкции, далее сдали на хранение в системе Windchill. Следующим файлом для проработки делаем копирование или выполняем команду «Сохранить как» в Windchill.

В результате имеем несколько (множество) файлов проработок, множество, версий (итераций) хранящихся в Windchill.

TMU-файлы полностью поддерживаются в Windchill в качестве объектов САД-документа. Благодаря поддержке этих файлов в качестве объектов САД-документа их можно переименовывать и предотвращать потерю ассоциативности и конструкторских данных.

В PTC Creo DEX - новый подход, новая технология. Если мы исследуем (прорабатываем) один узел, то в одном файле TMU может находиться несколько (множество) вариантов проработок данного узла (конструкции). PTC Creo DEX - отдельная среда для удобной оценки новых идей и анализа изменения конструкций.

Сессия исследования моделей основана на теории создания контрольных точек и создание ветвей контрольных точек, образующих «Дерево контрольных точек» Пиктограмма сессии использования модели , применима в Creo/Windchill.

К очень полезным новшествам относится создание инструмента для сохранения результатов сессии в назначенных контрольных точках. Зафиксированный результат сессии позволяет дальше производить исследование вариантов конструкции без потери данных, исключает создание резервных копий и позволяет изучать множество вариантов конструкции перед принятием окончательного решения.

Инструмент PTC Creo DEX позволяет быстро и эффективно сравнивать варианты конструкции и определять наиболее эффективный процесс моделирования. Более того, если конструктор, исследуя одно из направлений конструирования, выявляет его неэффективность, он может быстро вернуться назад к сохраненной ранее контрольной точке. При этом ему не потребуется воссоздавать модель полностью.

Контрольные точки представляют собой этапы процесса проектирования (проработки конструкции, создании новых вариантов конструкции). При этом на каждом этапе работы с контрольными точками доступен весь функционал, все команды Creo. Каждая контрольная точка фиксирует инкрементные изменения, внесенные в модели в активной контрольной точке. Новая контрольная точка всегда добавляется последовательно. Когда вы добавляете новую контрольную точку, ей Creo назначает уникальный идентификатор и свойства по умолчанию. Контрольные точки формируют «Дерево контрольных точек», которое ассоциативно связано с «Деревом моделей» Creo (рис. 1).

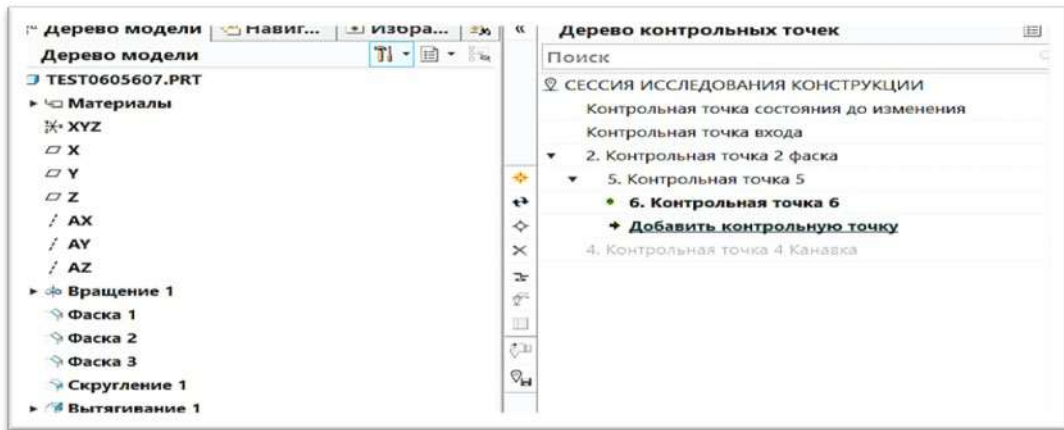


Рис. 1 - Дерево контрольных точек в Creo

Используя ветки контрольных точек, можно изучать различные варианты проработки конструкции/ дизайна. Ветвь может следовать определенному варианту проектирования. Затем в новой ветке вы можете попробовать другой вариант проектирования. И все это сохраняется в одном файле.

Новая ветвь создается в «Дереве контрольных точек», когда вы добавляете контрольную точку, а активная контрольная точка имеет одну или несколько последующих контрольных точек. Ветви видны в «Дереве контрольных точек». В процессе проработки, исследования дизайна «Сессии исследования модели» конструктор создает набор контрольных точек, которые представляют состояния в процессе проектирования.

Для проработки использовали 3D-модель вала. В контрольной точке 2- добавлялась фаска; в контрольной точке 6 – добавлялась канавка на большем диаметре (рис. 2, рис. 3)

Когда вы переключаетесь на выбранную контрольную точку, все модели заменяются в сеансе версией модели, сохраненной до выбранной контрольной точки. Каждая контрольная точка фиксирует все изменения конструкции, сделанные с момента предыдущей контрольной точки. Контрольная точка содержит все данные, необходимые для восстановления моделей до соответствующей контрольной точки.

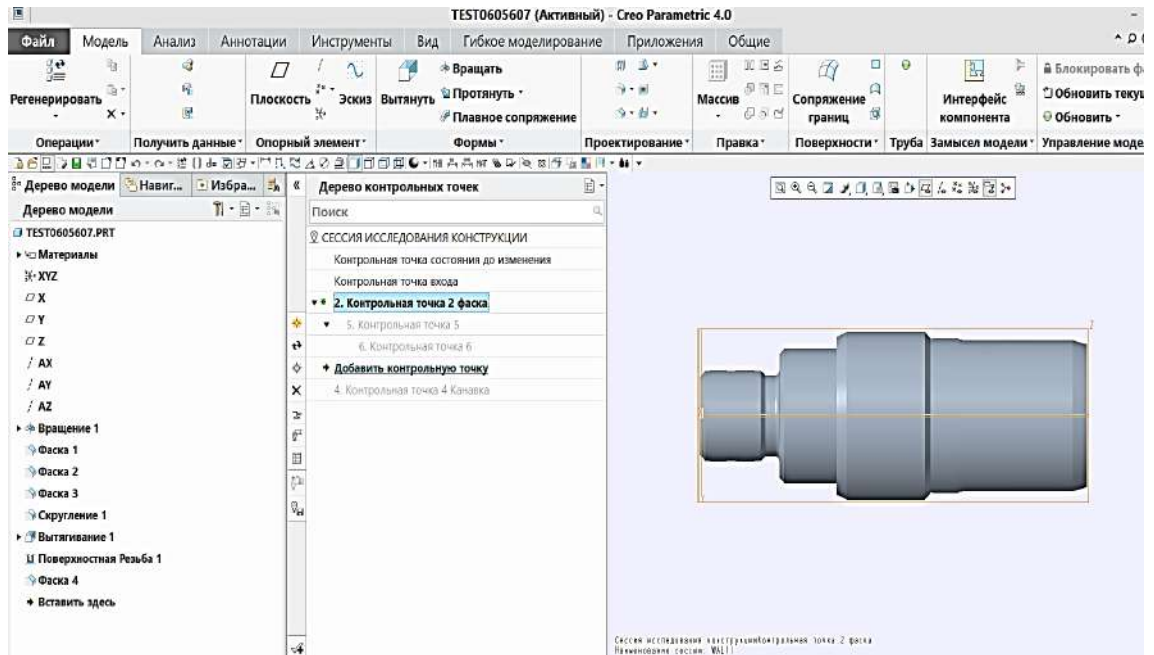


Рис. 2 - Пример создания контрольной точки 2

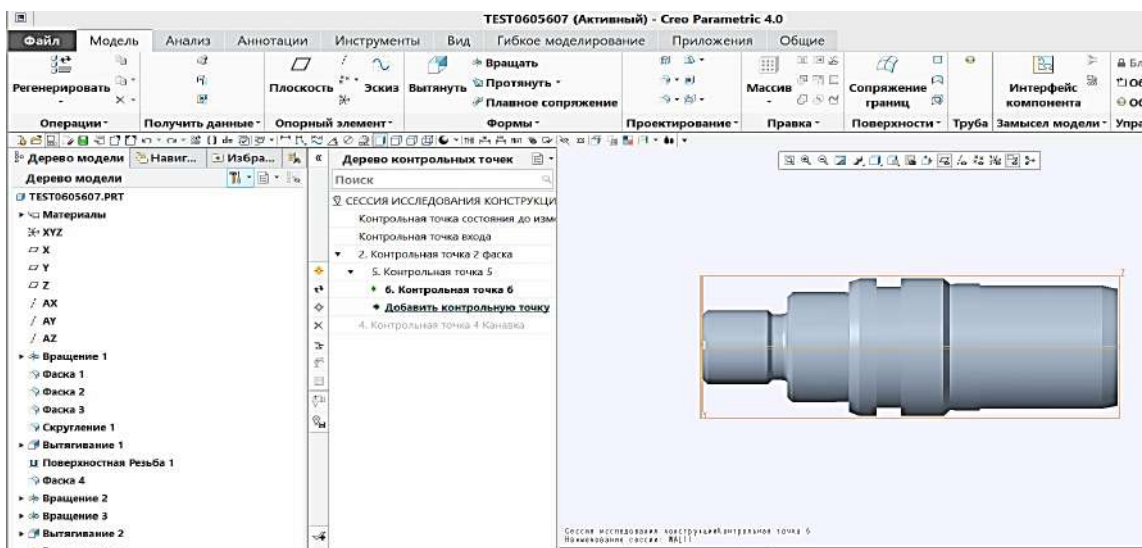


Рис.3 - Пример создания контрольной точки 6

При работе в сеансе исследования конструкции конструктор может загружать, открывать и извлекать объекты из Windchill. Выбранный вариант 3D-модели для дальнейшей работы сохраняется из сессии исследования в Windchill со своим обозначением в формате файла .asm или prt. (рис. 4).

С помощью PTC Creo DEX конструктор может сократить время проработки конструкции и проработать больше вариантов.

Результаты поиска		По умолчанию	(Объектов)
Действия			Искать в таблице
		Обозначение ↑	Наименование
<input type="checkbox"/>		КЗС-1104КМВ	Проработка КЗС-1104К
<input type="checkbox"/>		ПРОРАБОТКА КЗС-1104КМВ	Проработка КЗС-1104К
<input type="checkbox"/>		ТЕСТ-001_1МВ	Тест проработок
<input type="checkbox"/>		ТЕСТ-001_Т1МВ	Автокамера
<input type="checkbox"/>		ТЕСТ-ПОЗИЦИИ-ИССМВ	Исследования

Рис.4 - CAD-объекты сессии исследования модели в Windchill

Исследование дизайна помогает упростить процесс оценки новых вариантов конструкций и принятия решений об изменениях в конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Описания всех программных продуктов компании PTC. Сайт производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ptc.com/ru/products/all>. – Дата доступа: 10.08.2021.

2. Кольцова, И. А. 3D-модель, как основной источник данных при организации совместной работы при проектировании, технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации / И. А. Кольцова, В. И. Козлов, Н. В. Грудина [и др.] // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тез. докл. 4-ой междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 4 нояб. 2020 г. – Гомель : НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 2020. – С. 81–90.

УДК 631.35

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВЫХ НИТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-МОДЕЛЕЙ В ХОЛДИНГЕ «ГОМСЕЛЬМАШ»

И.А. Кольцова¹, А. В. Браим², Н.В. Грудина³

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

² ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь;

³УО «Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Одним из направлений развития стратегии «Индустрии 4.0» на предприятии является создание и использование, развитие технологии цифровых нитей в рамках холдинга «Гомсельмаш» для выпуска наукоемкой, конкурентоспособной продукции.

Цифровые нити – это новая технология, позволяющая интегрировать данные о 3D-моделях, унифицировать данные, управлять потоками данных об изделиях, применять данные о цифровых моделях в жизненном цикле изделия (далее - ЖЦИ) в подразделениях, на всех этапах от создания до реализации продукции.

Главная задача применения технологии цифровых нитей - предоставление, объединение, интеграция данных о 3D-моделях, связывание этих данных между собой, от конструкторов до производственных участков.

Уборочная сельскохозяйственная техника до 45 % состоит из деталей, изготовленных из листового материала (лист, полоса), например, рама, бункер, капоты, ограждения, кабина, решёта и др.

Поэтому в первую очередь в рамках холдинга «Гомсельмаш» требовалось развитие технологии цифровых нитей для работы с 3D-моделями из листового материала.

Раньше, в отсутствии цифровых нитей, технологи для подготовки производства тратили время на перечерчивание заново модели (чертежа), на уточнение размеров, видов, на повторное моделирование по чертежам для загрузки информации в станки с числовым программным управлением (далее - ЧПУ).

Использование цифровых нитей для производителей обычно начинается с конструкторского подразделения, а затем масштабируется на весь процесс производства «Гомсельмаш».

Начало цифровой нити – создание конструкторами Научно-технического центра (далее - НТЦК) 3D-модели листовых деталей с заполненными атрибутами.

В 2018 году для продвижения цифровых нитей, для взаимодействия конструктора и технологов подписано, согласовано и сегодня выполняется распоряжение «Об организации совместной работы с листовыми деталями в системе Windchill во взаимодействии с Creo».

Данное распоряжение регламентирует действия подразделений для ускорения технологической подготовки производства, улучшения качества и технологичности изделий на этапе проектирования и производства, совершенствования информационного обмена электронными моделями деталей и сборочных единиц между НТЦК и технологическими службами ОАО «Гомсельмаш» на базе средств, предоставляемых системой управления данными об изделии PDM Windchill с учётом имеющихся в наличии для проектирования и производства листовых деталей, современных программных средств и технологического оборудования с ЧПУ, дальнейшего эффективного использования PDM Windchill во взаимодействии с Creo, продвижения стратегии Индустрии 4.0, повышения качества через снижение количества несоответствий.

Сегодня при работе с 3D-моделями из листового материала функционирует технология цифровых нитей. 3D-модель создается (модифицируется) проектировщиками (конструкторами) НТЦК ОАО «Гомсельмаш» на этапе проектирования. Проектировщики определяют геометрию, размеры, профили, поперечные сечения, материалы 3D-модели, проводят бизнес-процессы электронного согласования 3D-моделей в системе управления жизненным циклом изделия PDM Windchill (далее – Windchill), переводят модели в состояние «Выпущено».

Конструктор выполняет проектирование 3D-моделей из листового металла в программе трехмерного проектирования Creo (с применением модуля Sheet Metal для расширения работы Creo по листовым деталям) в соответствии с таблицейгиба, согласованной с управлением главного технолога (далее-УГТ). Сохраняют 3D-модели в системе управления жизненным циклом изделия Windchill. Все спроектированные в НТЦК 3D-модели хранятся в едином хранилище Windchill.

3D-модель ее качество, актуальность данных остается на ответственности, компетенции конструктора, а для продвижения цифровых нитей, для производства, для станков с ЧПУ нужна именно актуальная 3D-модель.

3D-модель является единственным источником информации для ассоциативно связанных чертежей и конструкторской документации, конструкторских спецификаций.

При всем движении потоков данных цифровых нитей происходит распространение ассоциативных связей на все уровни жизненного цикла, включая детали, сборочные единицы, чертежи, расчетные модули системы, технологическую подготовку производства. Любые изменения родительских объектов приводят к изменению объектов потомков.

Принцип ассоциативности применим к технологии цифровых нитей. Модифицируется в Creo 3D-модель – изменяются виды, сечения – изменяется чертёж – изменяются данные по заготовке (развертке) – меняется программа на ЧПУ - изменяется техпроцесс и т.д.

Конструктор разрабатывает конструкторскую документацию и подготавливает 3D-модель для УГТ. Сегодня актуальная 3D-модель востребована всеми подразделениями, на всех этапах ЖЦИ и цифровой нити.

Сегодня при взаимодействии НТЦК и технологов модели используются для инженерного анализа, технологической подготовки (ТПП), для программ с ЧПУ, востребованы для разработки штампов, пресс форм.

Следующий этап цифровой нити реализованный на «Гомсельмаш» взаимодействие НТЦК с УГТ с отделом ОКПП (отдел кузнечно-прессовой обработки).

При этом возрастает возможность непосредственного использования геометрии 3D-моделей в задачах ТПП (для технологической подготовки производства). Работа конструктора и технолога связаны информационными потоками данных цифровых нитей. Функциональность Creo позволяет автоматически выполнять развертку трехмерных деталей на плоские заготовки перед передачей в обработку (вырубка-пробивка, гибка, лазерная резка и др.)

3D-модели разработанные конструктором, технологи отдела УГТ используют для построения разверток. Технологи самостоятельно реализуют имеющуюся в 3D-модели операцию развёртки модулем Sheet Metal и используют её при технологической проработке листовых деталей. Таким образом, технологи получили развертку, отражающую все идеи конструктора. Работа с 3D-моделями исключает возможность быть не понятыми конструкторским мышлям.

Согласно, технологии цифровых нитей, применение актуальных 3D-моделей, и взаимодействия конструктор-технолог сокращает время на технологическую подготовку производства. Предоставлена возможность технологам брать модели из Windchill и анализировать 3D- модели еще при стадии проектирования.

Технологи УГТ получают по докладной записке доступ на контекст в Windchill и выполняют технологическую подготовку производства для 3D-моделей переведенных в состояние «Выпущено». При использовании технологии цифровых нитей работа в смежных подразделениях сокращается за счет исключения двойного ввода информации (перечерчивания чертежей) и оперативного получения информации.

Следующий этап движения цифровой нити - происходит разработка программ для установок лазерной и плазменной резки, для станка с ЧПУ TruPunch отделом САПР УГТ.

Таким образом, эффект от внедрения технологии цифровых нитей прослеживаться не в отдельном подразделении, а заключается в сокраще-

нии всей цепочки конструкторско-технологической подготовки производства в единой информационной (цифровой) среде.

Следующий поток данных цифровых технологий направлен на работу с 3D-моделями. Данные из потока цифровой нити 3D-модели используют: техбюро экспериментального цеха, техбюро прессового цеха, техбюро прессово-заготовительного цеха ОАО «Гомсельмаш».

Следующий поток данных цифровых нитей, использование данных о 3D-моделях прямо на производственных участках, предоставление информации прямо на станки.

Для полного функционирования технологии цифровых нитей прямо до производственного оборудования на производственных участках необходимо оснащённость компьютерами (ПК) на производстве, современная компьютерная сеть, подготовленный персонал, коллективная работа. Визуализация 3D-моделей в условиях производства будет выполняться на ПК, на интерактивных сенсорных системах со встроенными компьютерами, взамен просмотра информации в альбомах на бумажных носителях.

Из опыта других предприятий: системы интерактивные сенсорные сегодня применяются для оптимизации работы в цехах, для просмотра 3D-моделей на ОАО МЗКТ, ОАО «МАЗ - управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» и др.

В перспективе рамках холдинга «Гомсельмаш» предполагается развитие технологии цифровых нитей с использованием 3D-моделей во всех подразделениях: ОАО «Гомсельмаш», Светлогорскормаш, ОАО «ГЗЛиН», ОАО "Лидагропромаш" для этого необходимы технические средства и закупленные лицензионные продукты. Windchill обеспечивает Интернет-ориентированную архитектуру, гарантирует работу с удалённым доступом (предоставляет веб-интерфейс, который отображается в веб-браузере Интернет).

С каждым годом необходимо планировать, развивать новые цифровые нити, охватывая все ключевые бизнес-процессы, все стадии ЖЦИ.

В подразделении «207-Экспериментальное производство» ОАО «Гомсельмаш», в условиях производства, технологи и мастера, начальники участков, могут находить по атрибуту «Обозначению» 3D-модели в браузере в Windchill и визуализировать 3D-модели на мониторе ПК. Компьютеры в корпоративной, внутривзаводской сети, расположены в «кабинах мастеров».

Цифровая инженерия, технология цифровых нитей подразумевают интеграцию данных, высокий уровень технической оснащённости, высокий уровень автоматизации, взаимодействие подразделений, выстроенные коммуникации, переход на безбумажные технологии - всё в «цифре», в «цифровом виде», требуется избежать потока дублирования информации и работы.

Несмотря на то, что конструктора проектируют свои изделия в виде 3D, в итоге на их основе выпускают конструкторскую документацию – традиционно бумажные чертежи, которые в дальнейшем и являются основным источником информации, в том числе и в производстве.

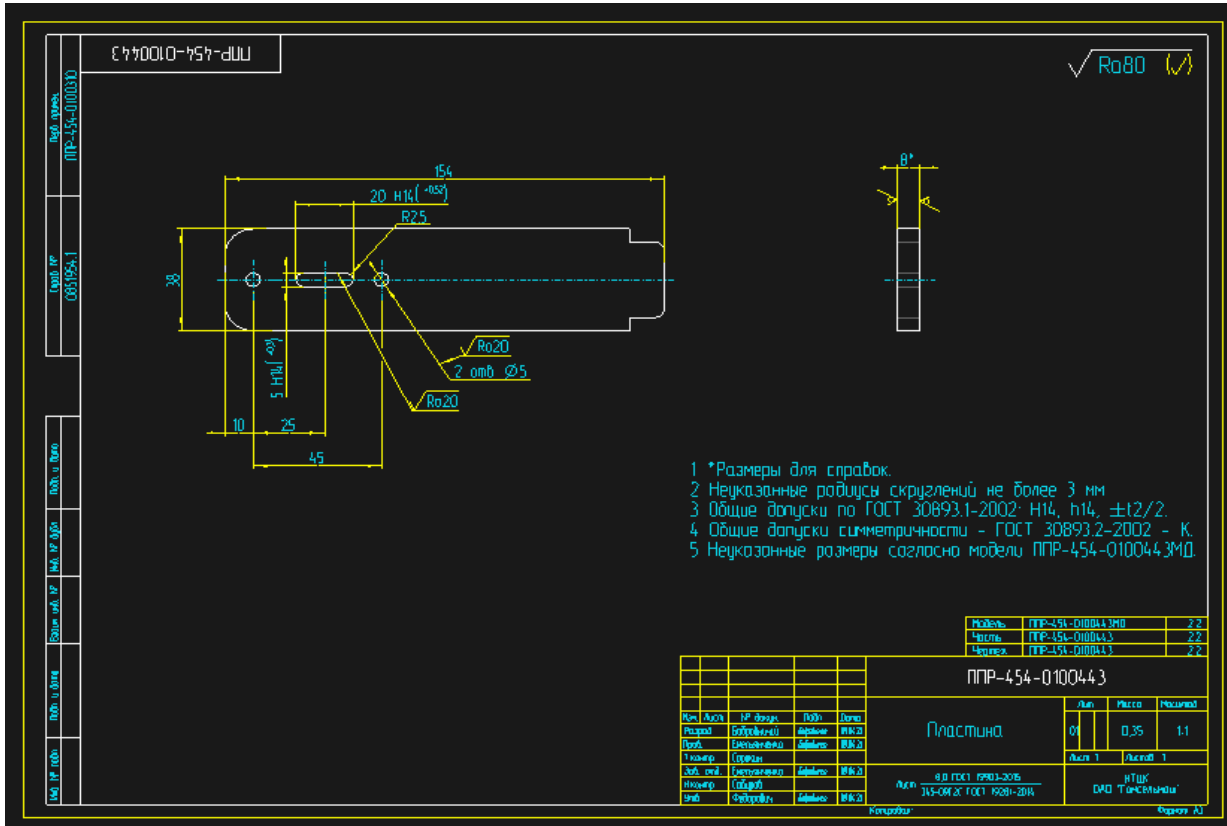


Рис.1 - Чертеж, выполненный в Стео с указанием ссылки на 3D-модель в технических требованиях чертежа

В настоящий момент нельзя отказаться от чертежей (бумажных носителей) в рамках холдинга «Гомсельмаш». Во всей мировой цифровой инженерии тенденция - переходить на работу с 3D-моделями, уходить от бумажных носителей. Чертеж использовать, как справочный.

В настоящее время 3D-модели рассматриваются как составная часть конструкторской документации на изделие. Все чаще в конструкторских чертежах встречается ссылка на 3D-модель. Современный ГОСТ 2.052-2015 «Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения» допускает в технических требованиях чертежа и (или) в атрибуте модели приводить запись по типу «... неуказанные размеры согласно 3D-модели АБВГ.XXXXXXX.XXX» [1], [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.052-2015 «Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия»
2. ГОСТ 2.056-2014 «Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали»
3. Распоряжение от 14.11.2018 года №295 «Об организации совместной работы с листовыми деталями в системе Windchill во взаимодействии с Creo Parametric» и регламент по организации совместной работы НТЦК и УГТ по листовым деталям
4. И.А. Кольцова, В.И. Козлов, Н.В. Грудина, Е.П. Поздняков «3D-модель, как основной источник данных при организации совместной работы при проектировании, технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации» // 4 международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе сегодня и завтра», Гомель, НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 4 ноября 2020г.- Гомель: НТЦК ОАО Гомсельмаш 2020. - С.81-90.
5. Коллаборативная работа «Конструктор – технолог - производство» с использованием 3D-моделей в концепции индустрия 4.0 / Н.В.Грудина, И.А.Кольцова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XXI Междунар. науч. – техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 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, 2021. – С. 95-98. Рук. А.С.Шантыко.

УДК 631.35

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИБЛИОТЕКАМИ WINDCHILL

Ю.В. Лыгин

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

Для обеспечения полноценной совместной работы специалистов крупного машиностроительного предприятия в Windhill и Creo, требуется создание полноценной библиотеки “Стандартных изделий”, “Прочих изделий” и “Материалов”, используемых на предприятии. Требуется поддержание библиотек – добавление новых компонентов и удаление или запрет на использование старых компонентов.

Первоначально задача наполнения библиотек встает на этапе внедрения, поскольку невозможно продуктивно работать, не имея библиотечных элементов. Эта задача возникает и при внедрении новых модулей (например, гидравлика, электрика).

В Windchill имеются возможности по импорту и экспорту библиотек, но они не полностью обеспечивают требования заказчика. А если требуются связанные данные между САД системой и Windchill – такие инструменты отсутствуют.

К тому же на каждом предприятии используется свой ограничительный перечень, поэтому заполняются не все объекты (например, целиком весь ГОСТ), а только те, которые нужны на предприятии. В связи с этим заполнение библиотек для каждого предприятия выполняется индивидуально.

На крупных предприятиях библиотеки очень объемные (по несколько тысяч объектов для каждого типа), для их создания требуется много ручного труда, если их заполнять вручную. Автоматизация этого процесса очень актуальна для всех предприятий.

Поскольку в Windchill отсутствуют полноценные инструменты, для автоматизации процесса наполнения библиотек, разрабатывается собственный программный код, специалистами компаний, выполняющих внедрение Windchill в организации.

В зависимости от типа, библиотеки могут содержать:

- 1) Только составные части, не имеющие связи с САД объектами. Например, материалы.
- 2) Объекты Creo, связанные с составной частью. Например, крепежные элементы, подшипники и др.
- 3) Информационные объекты Creo, связанные с составными частями. Это объекты, добавляемые в структуру сборки Creo, не имеющие

конкретной формы - например, масло моторное, краски и др. жидкие материалы, а также гидравлические рукава высокого и низкого давления, провода и др.

В связи с необходимостью добавления в библиотеку большого количества объектов, автором разработаны программные средства для управления библиотекой “Стандартных изделий”, “Прочих изделий” и “Материалов”. Используя настраиваемый конфигурационный файл, программные средства могут быть настроены для работы с различными данными и для выполнения различных операций с объектами библиотеки – создание, удаление, контроль обозначения, наименования и имени файла, контроль атрибутов, назначение новых атрибутов, изменение расположения, изменение состояния.

Первоначальная цель стояла в добавлении в Windchill 2936 рукавов высокого давления применяемых на предприятии.

При этом, каждый объект должен состоять из части и связанного с ним связью “Владелец” информационного объекта Сгео. Каждый объект имеет свои атрибуты. Часть атрибутов должны контролироваться на уникальность, например “Наименование”, “код САП”, “Номер”. Для каждого компонента должен быть назначен статус “Закупка” и указан поставщик. Все объекты по завершению должны быть переведены в состояние “Выпущено” и перемещены в определенную папку в библиотеке.

При этом по каждому объекту должно вестись подробное логирование, для оценки результата выполнения операций создания объектов и их связывания. Должны указываться причины ошибок, если они возникали при выполнении. Анализируя данную информацию можно откорректировать объекты, которые программа не смогла создать или исправить существующие объекты.

При работе с программой необходимо выполнить следующее:

1. **Подготовить данные из заводской базы САП.** Создается таблица с нужными полями – включающая Наименование покупного, код САП, список поставщиков, признак применяемости и если требуется дополнительные поля с атрибутами, которые нужно назначить.

2. **Выполнить начальные настройки программы, и выполнить программу в тестовом режиме 1.**

2.1. Назначаются все операции в режиме тестирования – отключаются режимы удаления, переименования, создания объектов.

2.2. Указываются используемые шаблоны составной части и САД объекта.

2.3. Указываются расположение создаваемых файлов.

2.4. Назначаются свойства атрибутов, назначаемых для всех объектов – например статус “Закупка”, “Раздел спецификации”, состояние объектов – “Выпущено”.

2.5. Указываются команды преобразование строк “Наименование” и “Поставщики”. Например, удаление символов кавычек в начале и конце строки, удаление пробелов в начале и конце строки, преобразование спец-символов.

2.6. Для автоматического создания наименования файла САД объекта, в котором определяются правила преобразования поля ”Наименование” в наименование файла. Это большой, настраиваемый блок конфигурации, определяющий последовательность строковых преобразований, позволяющих удалить часть строки по правилам, заменять часть строки по правилам, удалить все пробелы, добавить часть строки, преобразовать наименование в нижний регистр. В конце этого блока стоит контроль уникальности полученного наименования файла в текущем списке, контроль допустимых символов (нельзя вводить русские символы и спец. символы), контроль длины имени файла (не более 31 символа).

3. **Выполнить программу в тестовом режиме 2.** На этом этапе программа выполняется с получением данных из Windchill с последующим анализом полученных данных и корректировкой ошибок или последующей доработки настройки программы.

3.1. Выполняется поиск объектов по наименованию, обозначению и наименованию файлов.

3.2. На основании полученных данных анализируются существующие ошибки в базе Windchill. Например, с указанным кодом САП могут быть записаны совершенно другие объекты. Еще одним видом ошибки - когда с одним наименованием имеется несколько объектов. Также контролируется, присутствует ли в Windchill наименование файла, которое планируется использовать.

4. **Выполнить удаление ненужных объектов из Windchill.** На этом этапе можно указать программе удалить все объекты из списка или удалить только те объекты, для которых не стоит признак - используется. Программа удалит объекты не связанные с другими объектами в системе (удалит объекты, которые не применяются в сборках). Эту операцию можно выполнять для удаления или пересоздания библиотечных компонентов. Также эту операцию можно использовать для удаления любых других объектов, например для удаления деталей и сборок изделий, которые нигде не используются.

5. **Выполнить переименование объектов, в соответствии с правилами, назначенными в программе.** На этом этапе выполняется изменение Обозначения, Наименования и Наименования файлов САД объектов существующих в Windchill.

6. **Создать новые объекты.** Этап можно совместить с п. 4 и 5.

На этом этапе создаются новые составные части и новые САД объекты, назначаются требуемые атрибуты, создаются связи между объектами и размещаются в заданной папке.

7. По окончании, необходимо проверить результат выполнения программы.

Использование программных средств позволило быстро и без ошибок добавить новые данные в базу Windchill.

СЕКЦИЯ № 2

«МОБИЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ТРАКТОРЫ, ПРИЦЕПНЫЕ И НАВЕСНЫЕ АГРЕГАТЫ»

УДК 629.114.2 – 182

ОЦЕНКА УПРАВЛЯЕМОСТИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, АГРЕГАТИРУЕМОГО С НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ

В.П. Бойков¹, В.Б. Попов²

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

²УО «Гомельский государственный технический университет,
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Автоматизированное проектирование мобильных энергетических средств (МЭС) – тракторов, универсальных энергетических средств, самоходных шасси и различных погрузчиков осуществляется на основе, в том числе, функционального математического моделирования их узлов и агрегаов. Подъемно-навесные устройства (ПНУ), являющиеся неотъемлемой частью МЭС, обеспечивают агрегатирование МЭС с навесной с/х техникой, формируя в результате разнообразные машинно-тракторные (МТА) и мобильные сельскохозяйственные агрегаты (МСХА).

Использование в составе МТА навесных машин и орудий ведет к перераспределению нормальных реакций со стороны опорной поверхности на колеса с/х трактора [1]. Для обеспечения требуемого направления движения МТА во время работы (рис.1) или транспортного переезда часть его общего веса, приходящаяся на мост управляемых колес трактора должна составлять не менее 20% от эксплуатационного веса трактора [2].

Цель работы - формализованное определение управляемости МЭС, агрегируемых с навесным оборудованием для разных режимов функционирования МТА (МСХА).

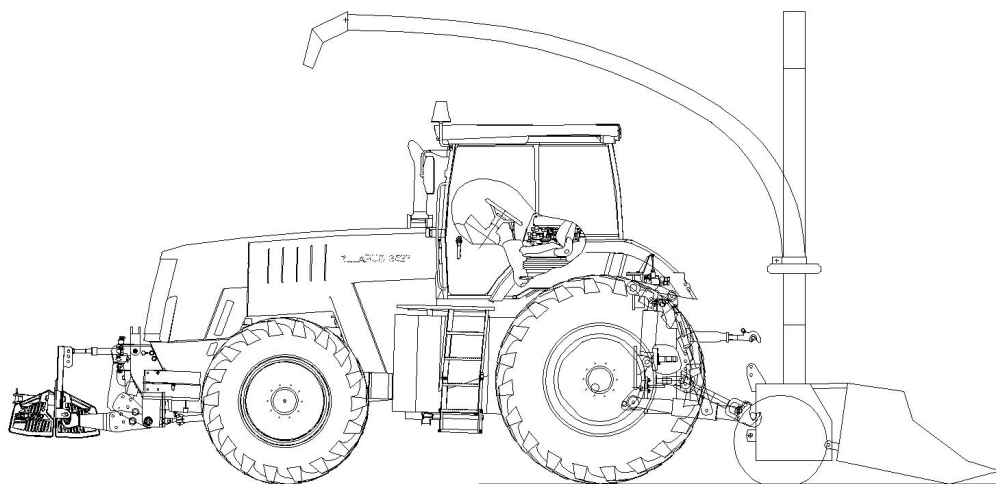


Рис. 1 - МТА с работающей (опущенной) навесной машиной

Использование в сельском хозяйстве Беларуси прогрессивных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур с использованием комплексов машин на базе МЭС позволяет заменить в машинно-тракторном парке (МТП) устаревшую технику. При высокой годовой загрузке МЭС (950 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-свеклоуборочных) комбайнов [3].

Использование МЭС 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.

Помимо обеспечения управляемости МЭС, навешивание машин и рабочих орудий на переднее (фронтальное) и заднее ПНУ не должно приводить к превышению:

- допустимого общего веса МТА (МСХА);
- допустимых осевых нагрузок;
- максимально допустимой нагрузки на шины МЭС.

В рабочем режиме МТА, состоящего трактора и задненавесной почвообрабатывающей машины или орудия, “нагрузка на крюке” колеблется, а рост тягового сопротивления регулярно вызывает догрузку его заднего и разгрузку переднего мостов. В результате возрастает буксование передних ведущих колес трактора и одновременно ухудшается его управляемость, что в целом снижает производительность МТА.

Наиболее распространенным способом решения этой проблемы является рациональное балластирование трактора со стороны переднего моста (рис.2), повышающее его тягово-сцепные свойства [4].

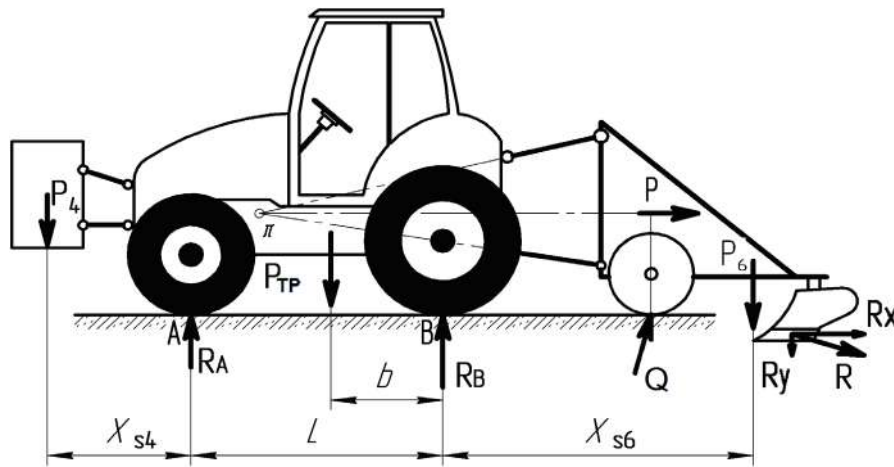


Рис. 2 - Расчетная схема нагрузок, действующих на МТА

В статике нагрузка на передней оси горизонтально расположенного трактора, с плугом в транспортном положении, при балластировании посредством переднего ПНУ определяется по выражению:

$$R_A = \frac{P_4 \cdot (X_{S4} + L) + P_{TP} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}$$

Горизонтальные координаты X_{S4} , X_{S6} - центров тяжести балласта и плуга в рабочем и транспортном положениях определяются по результатам геометрического анализа кинематических цепей, включающих плоские схемы соответствующих механизмов навески [1].

Во время пахоты (технологического процесса) для обеспечения управляемости и сцепления нагрузка на переднюю и заднюю оси трактора должны составлять соответственно минимум 20% и 40% от общего веса МЭС. В этом случае нагрузка на передние колёса трактора R_A определяется из уравнения моментов сил, действующих на МЭС, относительно точки В:

$$R_A = \frac{P_{TP} \cdot b + P_4 \cdot (X_{S4} + L) - P \cdot \rho}{L},$$

где ρ - плечо силы $P = f(R, P_6, Q)$ [5] относительно т. В.

Для определения силы R_B может быть использовано условие $\sum Y = 0$, согласно которому:

$$R_B = P_{TP} + P \sin \alpha - R_A$$

где, $P \sin \alpha$ - вертикальная компонента силы, представляющей геометрическую сумму веса навесного плуга (P_6), сопротивления на его рабочих органах (R) и реакции на колесе (Q).

В режиме перевода навесной машины из рабочего в положения в транспортное для расчёта параметра управляемости МЭС составляется уравнение равновесия моментов сил, действующих на МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{zp} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} - R_A \cdot L = 0$$

где: P_{zp} - вес балласта, $P_{МЭС}$ - вес МЭС, P_6 - вес навесной машины, L - база МЭС, a и b - расстояние от вертикальной проекции центра тяжести МЭС до вертикальных проекций центра тяжести балласта (противовеса) и оси моста ведущих колес соответственно.

Решив уравнение моментов сил, относительно реакции на управляемом колесе - R_A получим:

$$R_A = \frac{P_{zp} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}$$

Вместе с вышеупомянутым ограничением получим систему из уравнения и неравенства:

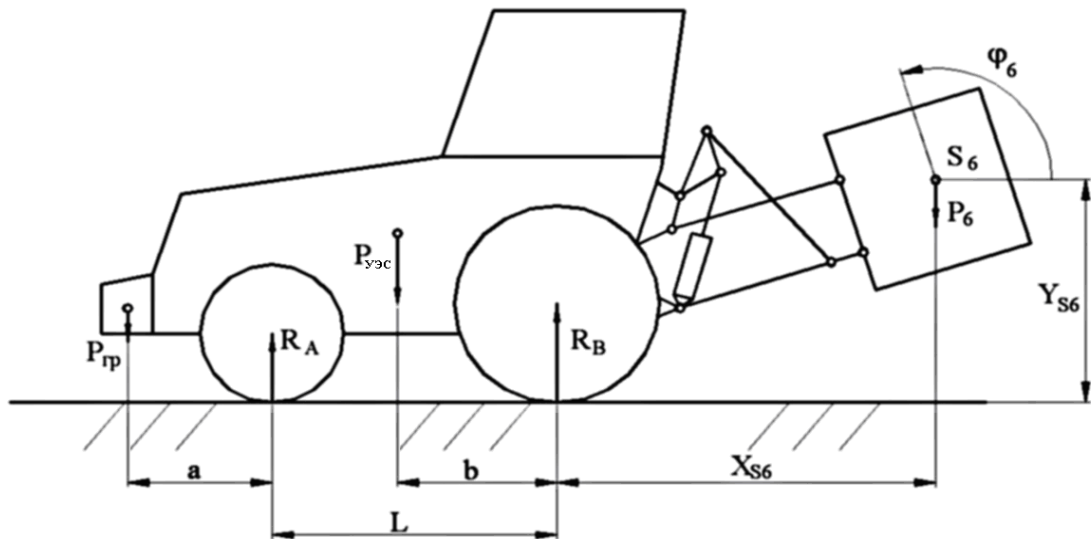


Рис. 3 - Схема сил, действующих на МТА при поднятой навесной машине

$$\begin{cases} R_A = \frac{P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} + P_{zp} \cdot (L + a)}{L} \\ R_A \geq 0,2 \cdot P_{МЭС} \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему (7) получим условие соблюдения управляемости МЭС, которое состоит в ограничении веса, агрегируемой с МЭС навесной машины или рабочего орудия:

$$P_6 \leq \frac{P_{МЭС} \cdot (b - 0,2 \cdot L) + P_{сп} \cdot (a + L)}{X_{S6}} \quad (8)$$

В режиме транспортного переезда требования по уровню нагрузки на передней и задней осях МЭС сохраняются. В процессе проектирования МЭС условия рационального агрегатирования с навесной техникой должны обеспечиваться, в том числе, выбором рациональных параметров подъемно-навесных устройств (ПНУ) трактора.

В режиме транспортного переезда МТА из-за кинематического возбуждения со стороны микрорельефа [6] центры тяжести МЭС и навесной машины совершают сложные колебания в продольной плоскости, получая ускорения, вызванные контактированием колес МЭС с соответствующим агрофоном, поэтому нагрузка на звенья механизма навески приобретает переменный (вероятностный колебательный) характер:

$$P_6^* = P_6 \pm m_6 \cdot \dot{Y}_{S6} \quad (9)$$

Это приводит к переменному характеру силового воздействия на раму МЭС и соответствующему перераспределению нормальных реакций между передним и задним мостами МЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. ГОСТ 12.2.111–85. Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности (Межгосударственный стандарт). – Минск, 2006. – 10 с.
3. 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.
4. Скотников, В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учебное пособие / В.А. Скотников [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. - 383с., ил.
5. Попов, В.Б. Влияние параметров механизма навески и плуга на тягово-энергетические показатели пахотного агрегата / В.Б. Попов, // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого, 2013. – № 4.– С. 58–64.
6. 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.

УДК 681.7.064

РАСЧЕТ АНТИБЛИКОВОГО ПОКРЫТИЯ ЭКРАНА БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

Н.И. Стаськов¹, Н. Н. Федосенко², А.С. Шантыко³, А.Б. Сотский¹,
Е.А. Чудаков¹, Д.В. Понкратов¹, Е.А. Кулеш²,

¹Учреждение образования «Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова», г. Могилев, Республика Беларусь;

²Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь;

³Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Минимизация солнечных бликов от экрана бортового компьютера сельскохозяйственной техники является одним из факторов, содействующих повышению экспортного потенциала предприятия. В работе оценена возможность минимизации отражения света в широких диапазонах длин волн $\lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$, где $\lambda_{\max} - \lambda_{\min} \sim 100$ нм и углов падения света $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$, где $\theta_{\max} \sim 50^\circ$ за счет нанесения на экран интерференционного покрытия, состоящего из чередующихся слоев различных оптических материалов, допускающих вакуумное напыление. Математическая модель предполагает минимизацию функции:

$$\langle R(d_k) \rangle = (mn)^{-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R(\lambda_i, \theta_j, d_k) \quad (1)$$

где d_k ($k=1, \dots, L$) – толщины слоев покрытия; значения λ_i и θ_j равномерно распределены по диапазонам $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ и $[0, \theta_{\max}]$; $R = 0.5(R_s + R_p)$; R_s и R_p – отражательные способности структуры для волн s и p поляризации.

В условиях частичного когерентного освещения зависимости $R_s(\lambda, \theta, d_k)$, $R_p(\lambda, \theta, d_k)$ рассчитывались по формулам, полученным в [1]. Минимизация $\langle R(d_k) \rangle$ осуществлялась градиентным методом. Исследована структура, состоящая из слоев SiO_2 и ZrO_2 , нанесенных на пластину из поликарбоната (РС) миллиметровой толщины. Дисперсионные зависимости для материалов задавались известными формулами Селлмейера.

В таблице представлены результаты минимизации функции (1) для различных интерференционных покрытий, полученные для спектрального диапазона наилучшего зрения ($\lambda_{\min} = 500$ нм, $\lambda_{\max} = 600$ нм), $\theta_{\max} = 50^\circ$, $m \geq 11$, $n \geq 6$. Данная функция резко уменьшается при увеличении L от 0 до 3. При дальнейшем росте L спад $\langle R \rangle_{\min}$ не значителен, что объясняется протяженными диапазонами λ и θ в (1).

Таблица 1 - Минимумы целевой функции $\langle R \rangle$ для покрытий толщины $D = \sum_{k=1}^L d_k$, содержащих L слоев на РС пластине толщиной 3мм.

Структура	L	$D, \text{ нм}$	$\langle R \rangle_{\min}$
воздух/PC/SiO ₂ / ZrO ₂ /SiO ₂ /.../воздух	0	0	0.105
	1	98.9	0.0777
	2	98.9	0.0775
	3	372.2	0.0604
	4	368.8	0.0604
	8	640.9	0.0583

Об антибликовом эффекте при $L=3$ позволяют судить графики рис.1.

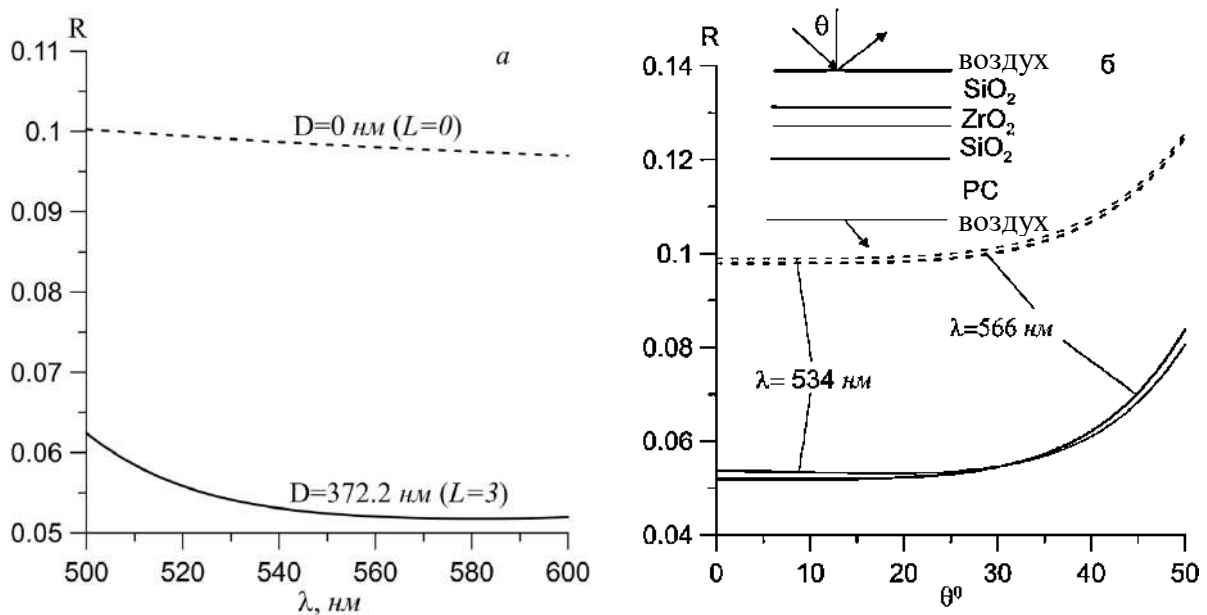


Рис.1 - Минимизация спектральной (а) и угловой (б) (на длинах волн максимальной чувствительности человеческого глаза) зависимостей отражательной способности трехслойного антибликового покрытия

Согласно рис.1, применение рассмотренных покрытий позволяет примерно вдвое снизить отражение света от экрана бортового компьютера. Работа выполнена при поддержке гранта МГУ им. А.А. Кулешова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотский А.Б. Спектроскопия слоев на плоскопараллельных подложках / А.Б. Сотский, С.С. Михеев, Н.И. Стаськов, Л.И. Сотская // Оптика и спектроскопия. 2020. Т.128, №8. С.1133 – 1143.

УДК 631.512.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В СОВРЕМЕННОМ ПЛУГОСТРОЕНИИ

И.И. Вегера¹, В.С. Голубев¹, В.Е. Ходюш¹,
А.П. Левшуков², В.И. Саковский², В.В. Апимашко²

¹Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Минский завод шестерен»,
г. Минск, Республика Беларусь

Детали рабочих органов большинства сельскохозяйственных машин, и особенно почворезущие детали (ПРД), непрерывно подвергаются ударным нагрузкам, абразивному износу и химическому воздействию обрабатываемой среды. Быстрый износ таких деталей, кроме затрат средств на изготовление запасных комплектов, приводит также к простоям сельскохозяйственной техники.

Работоспособное состояние ПРД определяется значениями всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствующие требованиям конструкторской документации. Основными такими параметрами, характеризующими функциональные качества ПРД, являются: способность к заглублению; тяговое сопротивление перемещению в почвенном слое; ресурс; прочность; ударная вязкость; сохраняемость остроты лезвия (так называемого стабилизированного почворезущего профиля).

Предпринятые усилия научно-технической общественности республики как на передовых промышленных предприятиях, так в академической среде и в высшей школе позволили выявить современное состояние проблемы работоспособности сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ) различного назначения, провести обобщения результатов научных исследований и технических решений последних лет, направленных на освоение отечественного производства конкурентоспособной продукции в этой сфере. Основу технических решений изготовления ДРОМ составляет системный анализ и комплексный подход, учитывающий показатели металлургического, материаловедческого, конструкторского, технологического, триботехнического, экологического, эксплуатационного и экономического факторов. Сделан вывод, что традиционно применяемые материалы и технологии изготовления ДРОМ достигли своего предела конструкционной прочности и износостойкости и требуют замены.

Обоснованы основные критерии работоспособности ДРОМ, к числу которых отнесены: конструкционная прочность, твердость, ударная вяз-

кость, пластичность и конструкционная износостойкость. Их обеспечение реализуется при получении композиционного строения поперечного сечения изделий и характеризуемого субмикро- и нанокристаллической структурой. Внешние поверхности трения таких деталей имеют фрагментированную дисперсную структуру, обладающего комплексом высоких механических свойств. К числу технологических решений для изготовления ДРОМ современного поколения могут быть отнесены: технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного или индукционного нагрева; технологии формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; технологии отпуска при индукционном нагреве; плазменные и лазерные (закалка, модифицирование, наплавка) технологии; технологии диффузионного намораживания износостойкими сплавами и др. Перечисленные технологии являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению. [1,2]

Вот уже более 25 лет открытое акционерное общество «Минск завод шестерен» остается крупнейшим производителем зубчатых валов и шестерен, поковок, редукторов агропромышленного комплекса ЕАЭС, занимает одну из лидирующих позиций в производстве почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники для Беларуси. При этом предприятие постоянно модернизируется и расширяет ассортимент продукции. Линейка плугов насчитывает 11 моделей, предназначенных для тракторов с тяговой мощностью до 150 лошадиных сил. Однако ввиду современного развития высокопроизводительной энергонасыщенной тракторной техники на рынке возникла потребность в плугах с большим количеством корпусов.

Благодаря четкой стратегии развития почвообрабатывающей продукции и современному подходу в проектировании и разработке предприятие презентует инновационный восьмикорпусный плуг. При этом образцы из новой линейки 8 - 11-корпусных оборотных плугов созданы специально под тяговый класс тракторной техники мощностью 250 - 450 лошадиных сил. Разработчики утверждают, что белорусская новинка не уступает по соотношению цена/качество аналогам ведущих мировых производителей - таких как немецкий LEMKEN, французский KUHN, австрийский POTTINGER и турецкий UNLU.

Уникальность же новой модели в том, что она укомплектована современными конструктивными элементами - предплужниками, перьевыми отвалами, пневмогидравлической защитой корпусов плуга, лемехами и долотами с применением износостойких покрытий. Модель нового восьмикорпусного плуга воплотила в себе самые передовые и инновационные разработки конструкторских решений, обладает повышенной надежностью, стойкостью.

Специально для новых разработок и усовершенствования существующей линейки в прошлом году на заводе открылся проектно-

конструкторский отдел. Его высокопрофессиональные и опытные специалисты разработали новый подход в производстве плугов. Он включает в себя ряд инноваций:

- оснащение унифицированной конструкции плугов различными типами защиты корпусов (механической рессорного типа, гидропневматической автономной, срезным болтом) для любых типов почв;
- упрочнение быстро изнашиваемых рабочих элементов корпусов плуга, что позволило увеличить износостойкость в 3 - 5 раз;
- применение высокоточного современного оборудования для формирования геометрии рабочих органов и качественных сварных соединений снизило трудоемкость изготовления изделия;
- применение износостойких борсодержащих сталей для изготовления рабочих органов корпуса плуга повышает срок службы на 40 - 60 процентов.

Разрабатывался образец плуга при участии Физико-технического института НАН Беларуси, важной заслугой которого стоит считать разработку и применение технологии упрочнения быстро изнашиваемых рабочих элементов корпусов плуга, что позволило увеличить износостойкость в 3 - 5 раз.

В настоящий момент ОАО «МЗШ» изготовил опытный образец плуга полунавесного оборотного восьмикорпусного ППОР-8 современной перспективной конструкции. На ноябрь 2021 года наработка плуга в рамках эксплуатационных испытаний ППОР-8 составляет 120 гектар.

По результатам испытаний определено:

- 1) подтверждены расчётные, заложенные конструктивные характеристики;
- 2) качество агротехнических параметров вспашки полностью соответствуют нормативным требованиям.

Также на данном плуге отрабатывается новая конструкция - отвал перьевого типа.

На пахоте с данным отвалом выявлено следующее:

- 1) качественно более высокие показатели крошения и гребнистости вспашки в сравнении с отвалом типа Kverneland №9 - сплошной отвал;
- 2) сравнительно с отвалом типа Kverneland №9 более низкое сопротивление трения почвы, соответственно понижена нагрузка на тракторную технику и как следствие снижение расхода топлива, повышение скорости пашки, повышение производительности из расчёта гектар в час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин/ Бетень Г.Ф., Анискович Г.И., В.С. Голубев и др. — Минск: БГАТУ, 2009. — 48-60с.

2. Голубев В.С., Михлюк А.И., Романчук И.А., Процкевич Л.И. Использование лазерных технологий упрочнения в сельскохозяйственном машиностроении. В сб. трудов межд. н.-т. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», Минск, ФТИ НАН Беларуси, 2018, Кн.2, с.58-65.

УДК 621.878

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СОВМЕЩЕННЫЙ СПОСОБ РАЗГРУЗКИ КОВША ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова, А.В. Ловникович
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Одноковшовые фронтальные погрузчики получили применение в различных отраслях для выполнения широкого спектра работ. По статистике, каждый третий погрузчик используется в АПК.

В настоящее время в связи с дефицитом энергоносителей актуальными являются вопросы энергосбережения.

Рассмотрим разгрузку фронтальным погрузчиком сыпучего материала в транспортное средство или штабель,

Обычно процесс разгрузки ковша осуществляется следующим образом.

При подъезде погрузчика к транспортному средству под действием стреловых гидроцилиндров стрела поднимается в крайнее верхнее положение. Включается ковшовый гидроцилиндр, рабочая жидкость под давлением подается в его штоковую полость, происходит разгрузка ковша и в конце хода гидроцилиндра гидросистема выходит на давление предохранительного клапана, на что затрачивается энергия. На принудительную разгрузку ковша затрачивается определенная работа.

Идея рекуперации энергии при разгрузке ковша состоит в следующем.

На рукоятку управления стреловыми гидроцилиндрами вводится кнопка, при нажатии оператором на которую поршневая полость ковшового гидроцилиндра сообщается со сливом, что позволяет совмещать операцию разгрузки ковша с подъемом стрелы.

Принудительная разгрузка ковша не требуется, так как он будет разгружаться под действием собственного веса. При этом, если в момент разгрузки стрела была включена на подъем, то давление в стреловых гидроцилиндрах резко падает ввиду понижения центра масс погрузочного оборудования. В итоге, при совмещенной под действием собственного веса разгрузке, ковш и груз совершают полезную работу.

Для исследования была разработана в КОМПАС 3D имитационная модель погрузочного оборудования погрузчика Амкодор 333В, грузоподъемностью 3,4 т. Она дает наглядность и возможность сравнения обычного способа разгрузки ковша с энергосберегающим. Пользуясь имитационной моделью, определялась работа, совершаемая при обычной и совмещенной с подъемом стрелы разгрузке ковша.

Исходя из того, в силовом потенциальном поле изменение потенциальной энергии механической системы сил тяжести равно работе движущих сил, определялась полезная работа, которую совершает ковш с грузом при совмещенной с подъемом стрелы разгрузке.

В результате исследований установлено, что на обычную (принудительную) разгрузку ковша затрачивается дополнительная работа $A_{\Pi} = 322$ Дж.

При совмещенной (непринудительной) с подъемом стрелы полезная работа, совершаемая ковшом с грузом $A_C = 18260$ Дж.

Следовательно, рекуперация энергии E составляет

$$E = A_{\Pi} + A_C = 322 + 18260 = 18582 \text{ Дж} \approx 18,6 \text{ кДж.}$$

Таким образом, предлагаемое решение позволяет оператору осуществлять разгрузку ковша в зависимости от ситуации обычным или энергосберегающим совмещенным способом, что при работе погрузчика в цикле экономит топливо и дает значительный экономический эффект.

УДК 629.456

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

А.В. Путято¹, Е.Н. Коновалов², В.Б. Попов¹

¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

²УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Республика Беларусь

В процессе эксплуатации сельскохозяйственных машин при оценке параметров надежности наибольшее внимание уделяется различным узлам трения и силовым агрегатам (двигатель и др.). Однако такие узлы являются сменными и могут быть заменены в процессе ремонта при условии экономической целесообразности. Ресурсоопределяющим конструктивным узлом является несущая конструкция, в частности рама мобильной машины, замена которой не представляется возможной, а ремонт может быть экономически невыгоден. Зачастую списание сельскохозяйственной техники производится при утрате производственного назначения из-за физического износа отдельных узлов или моральном износе, при этом базовые (несущие) элементы находятся в удовлетворительном состоянии. Для эффективного использования конструктивного потенциала сельскохозяйственной машины возможно выполнение капитального ремонта с модернизацией устаревших узлов и систем, при выполнении важного условия: наличия остаточного ресурса несущих конструкций.

Таким образом, целью работы является разработка алгоритма определения остаточного ресурса несущей конструкции сельскохозяйственной уборочной машины.

Для определения остаточного ресурса несущих конструкций после длительной эксплуатации предлагается алгоритм, включающий в общем виде пять этапов.

На первом этапе производится изучение особенности конструкции машины, устанавливаются материалы, из которых изготовлены несущие элементы, выполняется анализ информации по проведению ТО и ремонтов, изучаются условия эксплуатации (интенсивность, загруженность).

В рамках второго этапа выполняется разработка методики контроля технического состояния несущих элементов с помощью методов неразрушающего контроля, а также на основе результатов выполнения первого этапа устанавливается объем диагностических мероприятий. Определяются зоны, наиболее подверженные деградации материала (интенсивный коррозионный износ, зоны приложения внешних нагрузок и т.п.). При контроле технического состояния применяются следующие методы неразру-

шающего контроля: визуально-оптический; ультразвуковая толщинометрия; капиллярная дефектоскопия; измерение твердости. По результатам контроля технического состояния партии машин отбирается типовой представитель с наихудшими характеристиками для проведения теоретических и экспериментальных контрольных испытаний на заданные режимы нагружения.

На следующем этапе с учетом фактического технического состояния разрабатывается компьютерная трехмерная модель металлоконструкции машины, реализующая, как правило, метод конечных элементов, учитывающая фактическое техническое состояние металлоконструкции. Положительные результаты виртуальных прочностных испытаний являются критерием перехода к 4 этапу алгоритма.

По результатам реализации второго и третьего этапов разрабатываются схемы расклейки тензометрических датчиков для проведения натуральных испытаний типового представителя (отобранного образца).

В процессе длительной эксплуатации несущие конструкции сельскохозяйственных машин подвергаются воздействию циклически изменяющейся нагрузки, что может привести к зарождению и аккумуляции в данной области дефектов, снижающих механические характеристики материала. Поэтому необходимо знать фактические физико-механические характеристики материалов, из которых изготовлены несущие элементы конструкции машин.

Таким образом, на пятом этапе проводится изучение материала на образцах, вырезанных из наиболее нагруженных зон металлоконструкции машины. К контролируемым параметрам, наряду с химическим составом, следует отнести: предел текучести σ_Y , предел прочности σ_t , предел выносливости σ_{-1} , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , твердость металла HB , ударная вязкость KCU [1, 2].

На заключительном этапе выполняется оценка ресурса несущей конструкции из условия циклической прочности. Коэффициент запаса сопротивления усталости определяется по формуле:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n],$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$, который, определяется с учетом фактического предела выносливости материала после длительной эксплуатации и коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне, МПа.

$\sigma_{a,\varepsilon}$ – величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенная к базовому числу циклов N_0 , эквивалентная повреждающему воздействию реальному режиму эксплуатационных напряжений за расчетный срок службы, МПа;

$[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости за выбранный срок службы.

Остаточный срок службы несущей конструкции определяется по формуле:

$$T_p = N_0 \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right]},$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости;

K^k – коэффициент, связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения;

σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -ом интервале k -го режима нагружения, МПа;

p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,\varepsilon}$ в i -ом интервале k -го режима нагружения.

Важно отметить, что принятие решения о возможности дальнейшей эксплуатации несущей конструкции на основе предложенного алгоритма применимо относительно машин одного назначения (типовой группы), эксплуатируемых со схожими условиями (нагрузки, климат, техническое обслуживание, система ремонтов и др.).

Предлагаемая методика апробирована при проведении работ по продлению срока службы железнодорожного подвижного состава.

Методика позволяет установить закономерности и определить зависимости остаточного ресурса конструктивных элементов от их геометрических характеристик, что может быть использовано как на этапе модернизации, так и при поиске рациональных конструктивных решений на этапе проектирования мобильной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пулято, А. В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А.

В. Путято, Е. Н. Коновалов, П. М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1 (34). – С. 26–35.

2. Путято, А. В. Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов специального подвижного состава с различным техническим состоянием / А. В. Путято, Е. Н. Коновалов // Актуальные вопросы машиноведения. – 2017. – Т. 6. – С. 194–197.

УДК 621.43

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДИЗЕЛЯ В СРЕДЕ LMS IMAGINE.LAB AMESIM

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

Неравномерность крутящего момента при крутильных колебаниях объясняется тем, что на каждое колено вала действуют непостоянные крутящие моменты, возникающие в результате действия сил давления газов и сил инерции. Она зависит от числа цилиндров и их расположения, тактности, масс возвратно-поступательно движущихся деталей кривошипного механизма, частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель.

Выполнить гармонический анализ крутящего момента можно с помощью программного модуля LMS Imagine.Lab AMESim.

Используя стандартные подмодели из библиотеки AMESim, построен эскиз модели [1] 4-х цилиндрового двигателя (рис. 1). Внесены данные индизирования двигателя в координатах давление – угол поворота коленчатого вала и получены индикаторные диаграммы для всех цилиндров (рис. 2).

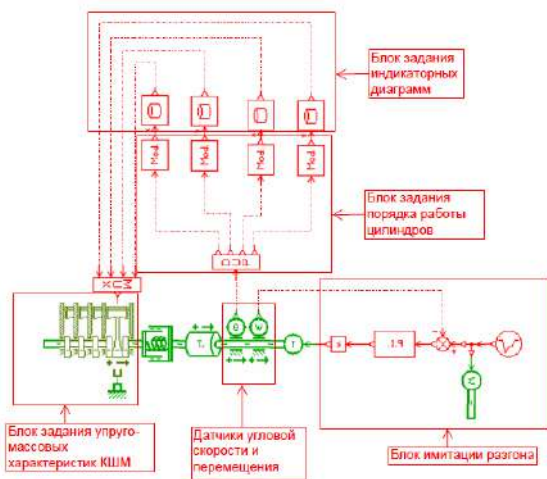


Рис. 1 – Эскиз модели 4-х цилиндрового дизеля в AMESim

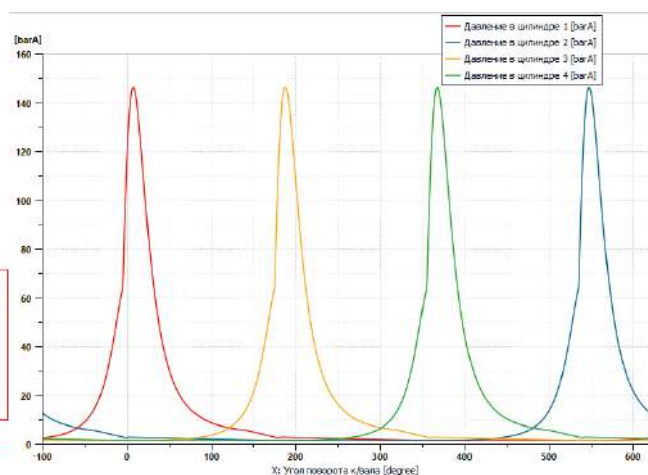


Рис. 2 – Индикаторные диаграммы для 4-х цилиндров

Задавшись массовыми и геометрическими характеристиками деталей кривошипно-шатунного механизма и установив параметры запуска (время начала и конца счета, шаг счета) произведено моделирование динамической системы.

В результате моделирования получены графики плотности крутящего момента в трехмерном (рис. 3) и двумерном видах (рис. 4), определены амплитуды гармоник крутящего момента для всего диапазона частоты вращения дизеля.

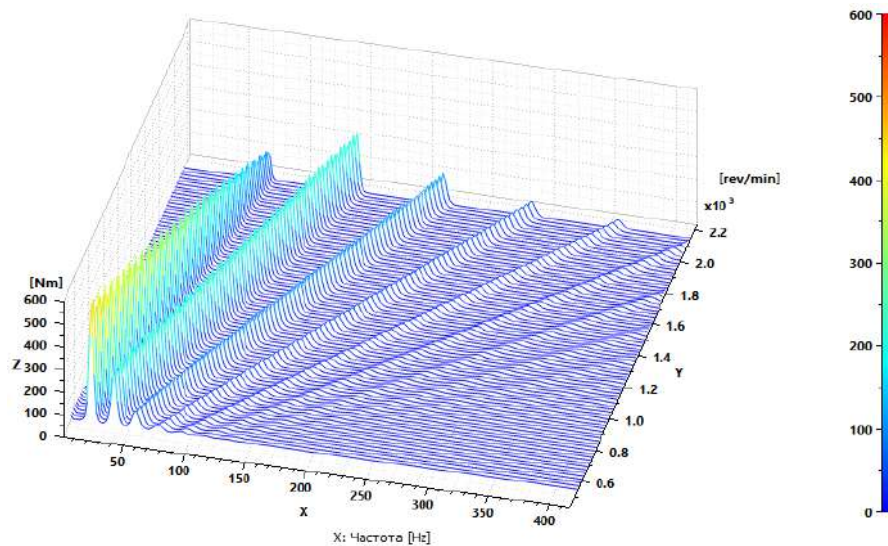


Рис. 3 – Плотность крутящего момента в трёхмерном виде

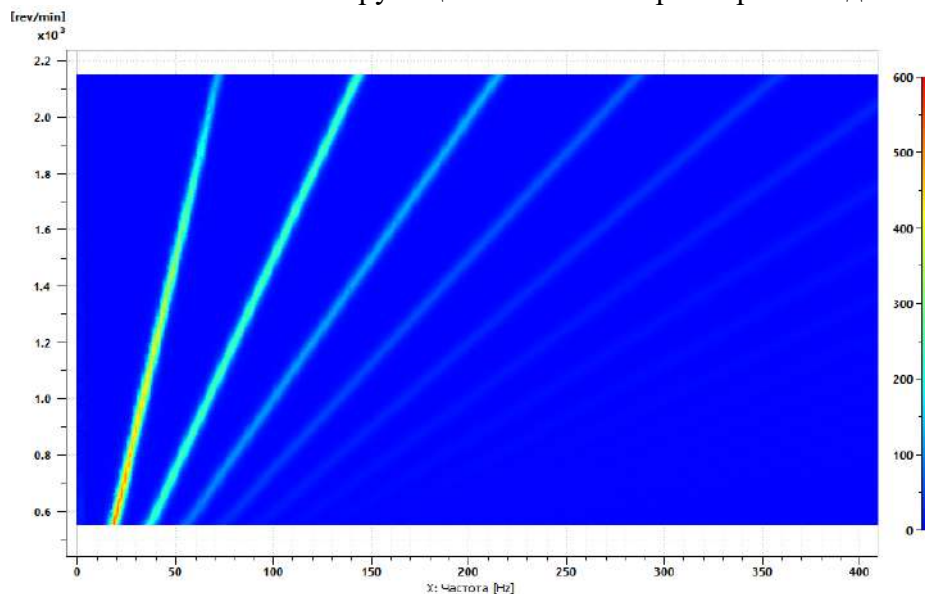


Рис. 4 – Плотность крутящего момента в двумерном виде

Из полученных результатов следует, что значимые величины амплитуд гармонических составляющих крутящего момента двигателя находятся в диапазоне от 0 до 400 Гц. Полученные значения частот и амплитуд гармонических составляющих суммарного момента газовых и инерционных сил являются исходными данными (возмущениями) для дальнейшего

определения динамической нагруженности элементов крутильной системы всей трансмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадиев, А. Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; - Электрон. текстовые и граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.

УДК 629.114.42

ТРЕБОВАНИЯ К ТОРМОЗНЫМ СИСТЕМАМ ТРАКТОРНОГО ПРИЦЕПА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Д.А. Дубовик¹, А.И. Жуковский¹, Н.В. Калинин¹, Н.В. Сечкар¹,
О.Н. Обыскалов², Д.Л. Дубовик²

¹ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

²ОДО «ДОРМАШЭКСПО», г. Минск, Республика Беларусь

Механизация работ при строительстве и реконструкции линий электропередач (ЛЭП) требует применения соответствующей специальной техники. В настоящее время для этих целей используется мобильная техника, как правило, сельскохозяйственного назначения, которая в ряде случаев переоборудуется под перевозку опор ЛЭП. Однако, конструкция этих прицепов рассчитана на перевозку других грузов по массе, размерам, плотности и т.д., что не позволяет эффективно использовать их при строительстве и реконструкции ЛЭП. Поэтому для повышения производительности работ актуальной задачей является разработка и освоение производства специальной техники, предназначенной для механизации работ по строительству и реконструкции ЛЭП.

Целью настоящей работы является формирование требований к тормозным системам (рабочей и стояночной) тракторного прицепа для перевозки опор ЛЭП.

Проектируемый прицеп агрегируется с подъёмником на базе колёсного трактора Беларус 1221.3 [1]. Для сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним существует регламент [2], предписывающий при проектировании тормозной системы руководствоваться Правилами ЕЭК ООН №13 [3], ГОСТ 12.2.019-2005 [4] и некоторыми другими нормативными документами.

Правила ЕЭК ООН №13 не распространяются на транспортные средства, максимальная скорость движения которых не превышает 25 км/ч [3]. Существуют тракторные прицепы (например, [5]), для которых максимальная скорость движения составляет 25 км/ч, поэтому они могут быть спроектированы без учёта требований Правил ЕЭК ООН №13 [3]. Однако для разрабатываемого прицепа максимальная скорость движения составляет 30 км/ч согласно [1], поэтому правила ЕЭК ООН №13 на него будут действовать.

Прицеп тракторный специальный относится к категории транспортных средств О₄ [1]. Согласно пункту 5.2.2.3 Правил ЕЭК ООН №13, прицепы категорий О₃ и О₄ должны быть оборудованы рабочей тормозной системой непрерывного или полунепрерывного типа. Положения пункта

5.2.2.4 Правил ЕЭК ООН №13 предъявляют требования к рабочей тормозной системе — в частности, она должна воздействовать на все колёса транспортного средства, надлежащим образом распределять своё воздействие между осями и содержать, по меньшей мере, в одном из воздушных резервуаров дренажное и очистительное устройство, установленное в надлежащем и легкодоступном месте.

Значение максимальной допустимой скорости определяет, можно ли применять пневматический однопроводный тормозной привод или нет. В ГОСТ 12.2.019-2005 [4] есть ссылка на ГОСТ 4364-81. Согласно ГОСТ 4364-81 [6], автотранспортные средства, максимальная скорость которых менее 40 км/ч, допускается изготавливать с однопроводным тормозным приводом. Трактор Беларус 1221.3 выполнен по схеме с однопроводным приводом, а его максимальная скорость составляет менее 40 км/ч [7]. На тракторные прицепы, максимальная скорость которых выше 40 км/ч, необходимо устанавливать двухпроводный или комбинированный тормозной привод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические требования на разработку машины многофункциональной для перевозки, установки и монтажа опор линий электропередач / Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси ; науч. рук. Д.А. Дубовик. – Минск, 2021. – 40 с. – Инв. № 3408.

2. О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним : ТР ТС 031/2012 : принят 20.07.2012 : вступил в силу 19.09.2012 / Евраз. экон. комис. – Режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/P_6_0.pdf.

3. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категории М, N и O в отношении торможения : Правила ЕЭК ООН №13(10)/Пересмотр 6 : приняты 14.12.2006 : вступ. в силу 01.03.2017 / ООН – Минск, Госстандарт, 2010. – 276 с.

4. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.2.019-2005. – Взамен ГОСТ 12.2.019-86; введ. РБ 01.07.2010. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 22 с.

5. Прицеп тракторный ППР-11 [Электронный ресурс]: [https://www.satpricep.by/priczepyi/selhoz-pricep/priczep-traktornyij-ppr-11-\(oprovoz\).html](https://www.satpricep.by/priczepyi/selhoz-pricep/priczep-traktornyij-ppr-11-(oprovoz).html) Дата доступа 19.04.2021.

6. Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Общие технические требования : ГОСТ 4364-81. – Взамен ГОСТ 4364-67; введ. 01.01.1982. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 8 с.

7. БЕЛАРУС 1221.2/1221В.2/1221.3 : руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/service/operation-manual/> – Дата доступа: 02.08.2021.

УДК 629.114.42

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДЪЁМНИКА МОНТАЖНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОВОРОТЕ

Д.А. Дубовик¹, А.И. Жуковский¹, Н.В. Калинин¹,
Д.А. Пришивалко², Н.П. Амельченко³

¹ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

²ОДО «ДОРМАШЭКСПО», г. Минск, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Разрабатываемый в рамках задания ГНТП «Инновационное машиностроение и машиностроительные технологии» подъёмник монтажный универсальный ПМУ-15 представляет собой мобильную машину на базе колёсного трактора Беларус 1221.3, на который вместе с другим необходимым оборудованием установлен кран-манипулятор FASSI F95B.024 [1].

Целью настоящей работы является оценка устойчивости подъёмника ПМУ-15 при движении на повороте.

Расчёт устойчивости подъёмника ПМУ-15 осуществляется аналогично расчёту устойчивости колёсного трактора с той лишь разницей, что после установки на трактор оборудования изменится его масса и координата центра масс [2]. Кроме того, скорость движения машины ограничивается 30 км/ч [1], в то время как для трактора Беларус 1221.3 допустимая скорость движения будет выше [3].

Опрокидывание — это такой поворот трактора вокруг оси опрокидывания, при котором достигается соотношение

$$M_{\text{опр}} \geq M_{\text{стаб}},$$

где $M_{\text{опр}}$ — опрокидывающий момент; $M_{\text{стаб}}$ — момент от сил, стремящихся возратить трактор в исходное положение [4, с. 299].

Для гарантированного обеспечения устойчивости $M_{\text{стаб}}/M_{\text{опр}} \geq 1,5$.

Опрокидывающий момент создаёт центробежная сила $F_{\text{ц}}$ (рис. 1):

$$M_{\text{опр}} = F_{\text{ц}} \cdot h_{\text{цмм}},$$

где $h_{\text{цмм}}$ — центр масс подъёмника.

Устойчивость на повороте обеспечивается моментом от веса подъёмника $G_{\text{м}}$ (B — колея подъёмника):

$$M_{\text{стаб}} = G_{\text{м}} \cdot 0,5B,$$

Центробежная сила $F_{\text{ц}}$:

$$F_{\text{ц}} = m_{\text{м}} v^2 / R_{\text{п}},$$

где $m_{\text{м}}$ — масса подъёмника, кг; $R_{\text{п}}$ — радиус поворота подъёмника, м; v — скорость движения машины, м/с.

Вертикальную координату центра масс подъемника $h_{цм}$ можно определить как средневзвешенную величину между вертикальными координатами центров масс трактора $h_{цт}$ и навешенного оборудования $h_{цмо}$ по выражению

$$h_{цм} = \frac{h_{цт} \cdot m_t + h_{цмо} \cdot m_o}{m_m},$$

где m_t – масса трактора;

$m_o = m_m - m_t$ – масса навешенного на трактор оборудования.

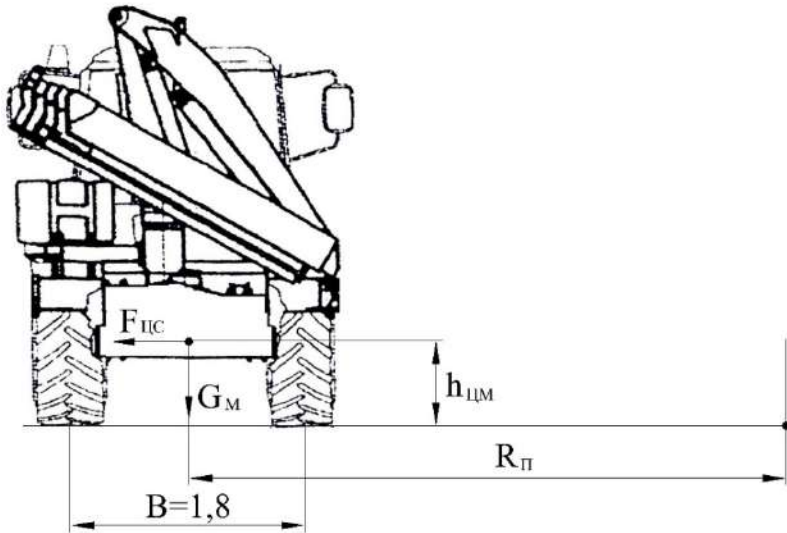


Рис. 1 - Силы, действующих на подъемник на повороте

формулам, для максимальной скорости движения машины 30 км/ч [1], массы подъемника 8500 кг [1], массы трактора 5730 кг [2] минимальный радиус поворота должен быть 12,98 м, чтобы соблюдалось условие $M_{стаб}/M_{опр} \geq 1,5$. Поворот при минимально заданном радиусе 5,4 м [1,2] с соблюдением этого же условия возможен при скорости движения трактора не выше 19,3 км/ч. Моменты $M_{стаб}$ и $M_{опр}$ будут равными при $R_п = 5,4$ м и $v = 24,73$ км/ч либо при $v = 30$ км/ч и $R_п = 7,94$ м.

Вертикальную координату центра масс навешенного оборудования $h_{цмо}$ можно определить ориентировочно по чертежу общего вида [1], ориентируясь на концентрацию навешенного оборудования в транспортном положении. Нами определено, что $h_{цмо} = 1,35$ м.

Согласно расчётам по приведённым

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические требования на разработку машины многофункциональной для перевозки, установки и монтажа опор линий электропередач / Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси ; науч. рук. Д.А. Дубовик. – Минск, 2021. – 40 с. – Инв. № 3408.
2. Тракторы XXI века: состояние и перспективы / С.Н. Поддубко [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 207с.
3. БЕЛАРУС 1221.2/1221В.2/1221.3 : руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belarus-tractor.com/service/operation-manual/>. – Дата доступа: 02.08.2021.
4. Тракторы: Теория / В.В. Гуськов [и др.]; под ред. В.В. Гуськова. – Москва: Машиностроение, 1988. – 376 с.

УДК629.114.42

ПОДДЕРЖАНИЕ ПОСТОЯННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Ч.И. Жданович¹, Н.В. Калинин²,

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

²ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

В [1] графики силы тяги на крюке и других параметров показывают тяговые возможности трактора. Они построены при максимально допустимом скольжении тягового асинхронного электродвигателя (ТАД), рассчитываемом исходя из ограничений по допустимому буксованию трактора, предельной мощности применяемого двигателя внутреннего сгорания и допустимому режиму работы ТАД.

Может возникнуть необходимость поддерживать определённую скорость движения трактора при изменяющейся нагрузке. Определим, каким образом можно обеспечить постоянную теоретическую скорость v_T трактора.

Скорость v_T (км/ч) определяется по формуле (1) (немного изменённая формула [1] с учётом зависимости [2] между частотой напряжения f_1 , подаваемого на ТАД, и коэффициентом k_f):

$$v_{T,i} = \frac{7,2\pi \cdot f_1 \cdot r_d}{u_{\text{МЧТ}} p_1} (1-s), \quad (1)$$

где p_1 — число пар полюсов ТАД; r_d — динамический радиус колеса, м; $u_{\text{МЧТ}}$ — передаточное отношение механической части трансмиссии; s — скольжение ТАД.

Если не изменять частоту f_1 , то с изменением момента на валу ТАД будет изменяться скольжение ([1, (4), (5)]).

По формуле ([1, (4)]) рассчитаем зависимость между скольжением и моментом ТАД и приведём на рис. 1. Если не превышать номинальный режим работы, когда скольжение ТАД ограничено своим номинальным значением s_n [1], то v_T практически не будет изменяться, поскольку номинальное скольжение применяемого ТАД составляет примерно 0,01, а при снижении момента оно будет уменьшаться (рис. 1): выражение $(1-s)$ в (1) будет изменяться от примерно 0,99 до почти 1.

Если работать на предельном режиме, когда скольжение может превышать номинальное, то на всех передачах трактора, кроме последней, скольжение ТАД может достигать несколько более высоких значений только при малых скоростях трактора [1, рис. 8,10]: до 0,03...0,05 в зависи-

мости от $u_{\text{мчт}}$. То есть при работе на предельном режиме при $f_1 = \text{const}$ теоретическая скорость трактора будет изменяться максимум в пределах 3–5%. При работе на высшей передаче может быть выше момент ТАД при $v_T < 15$ км/ч [3]; следовательно, может быть выше скольжение ТАД (теоретически возможное скольжение ТАД показано на [1, рис. 8]); однако на таком режиме не рекомендуется работать продолжительное время, поскольку будут слишком большие потери.

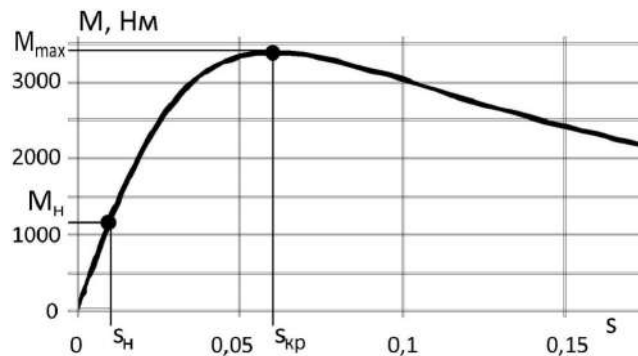


Рис. 1 - Зависимость между моментом на валу ТАД M и скольжением ТАД s при номинальной частоте напряжения ТАД: s_n и $s_{кр}$ — номинальное и критическое скольжение, M_n и M_{max} — номинальный и максимальный моменты ТАД

Таким образом, если не оказывать управляющее воздействие на электродвигатель, изменяя частоту, напряжение, то при изменении нагрузки колебания теоретической скорости трактора может составить до 1% при номинальном и до 3–5% при предельном режиме; больше колебания v_T могут быть при работе на высшей передаче для $v_T < 15$ км/ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-1-54-5-14>.
2. 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.
3. Жданович, Ч.И. Анализ эффективности использования накопителей энергии на тракторе с электромеханической трансмиссией / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // *Наука и техника*. — 2017. — Т. 16, № 1. — С. 73–82. DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-1-73-82>.

УДК (636.085.51:631.589.2):621.492

МЕХАНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ТРАНСПОРТЕРНОГО ТИПА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОПОННОГО ЗЕЛЕННОГО КОРМА

О.Н. Соколенко, А.Н. Белобаба

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени
И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация

Механическая установка транспортерного типа предназначена для механизированного высева и сбора гидропонного зеленого корма (ГЗК) в животноводческих помещениях.

ГЗК – зеленый «ковёр» из молодых ростков с корневым матом, пророщенных в течение 6 – 12 дней из слоя семян зернофуражных или бобовых культур без почвы на питательном растворе в искусственных условиях [1, 2]. Для производства ГЗК в основном используется зерно ячменя. ГЗК, является высококачественной экологической продукцией, содержащей полный спектр требуемых питательных веществ и витаминов [3].

Модель установки представлена на рисунке 1, где система взаимосвязанных цепной передачей транспортеров 1 соединена с высевальными устройствами 2. Загрузка высевальных устройств 2 осуществляется передвижной лебедкой 3, оборудованной сосудом 4 специальной конструкции. Распыление воды и питательных по всей площади установки происходит при помощи системы орошения 5, для освещения посевной площади применяются лампы ДРЛ 250 (поз. 6).

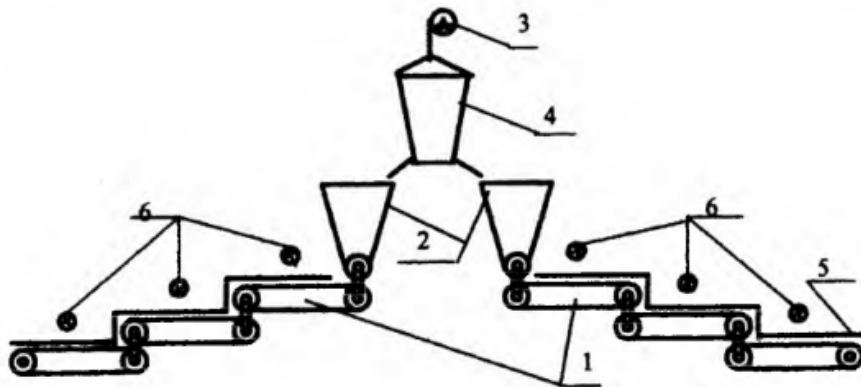


Рис. 1 - Схема гидропонной установки транспортерного типа: 1 – система транспортеров; 2 – высевальный аппарат; 3 – подъемное устройство; 4 – сосуд для подъема зерна; 5 – система орошения; 6 – лампа ДРЛ 250

Сосуд для подъема зерна имеет форму клина с перегородкой внутри, разделяющей бункер на две равные половины и двумя затворами, шарнирно крепящимися у основания. В процессе подъема сосуда с зерном за-

творы препятствуют высыпанию зерна. При загрузке высевающего устройства затворы откидываются на угол больше 60 градусов и представляют собой наклонные желоба для перемещения зерна в бункер высевающего устройства.

Высевающий аппарат представляет собой дозатор с коническими бункером и вращающимися лопастями. При вращении лопастей зерновая масса непрерывно подается на транспортер. Высевающий аппарат имеет длину равную ширине транспортера (0,7 м), что позволяет высевать зерно по всей ширине транспортера одновременно. Транспортеры имеют длину 2 метра, что позволяет проращивать на одном транспортере 7,7 кг зерновой массы, согласно нормам посева [4].

Принцип действия гидропонной установки (рис. 1). При помощи электродвигателя через редуктор и цепную передачу одновременно приводятся в действие высевающий аппарат и система транспортеров. Лопasti высевающего аппарата при прохождении прорези высевают постоянное количество зерна, в свою очередь резиновтросовый транспортер двигаясь с постоянной скоростью заполняется зерном равномерно по всей площади. Первый транспортер переносит зерновую массу на второй и т.д. В состав установки входит система орошения, позволяющая равномерно распылять воду и питательные растворы по всей засеянной площади транспортера.

По истечении девяти суток при помощи электродвигателя описанная система приводится в движение, готовый урожай ГЗК сгружается с транспортеров, а новый материал высевается и к концу сбора готового урожая система транспортеров заполняется зерном. Таким образом получен непрерывный цикл выращивания ГЗК.

Использование механической установки транспортерного типа, установленной в животноводческом помещении позволит использовать тепло, выделяемое животными для выращивания ГЗК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколенко, О. Н. Обоснование параметров работы и конструкции установки для выращивания зеленых кормов гидропонным способом [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.20.01 / О.Н. Соколенко; Кубанский ГАУ. – Краснодар, 2015. – 154 с.
2. Кругляков, Ю.А. Оборудование для непрерывного выращивания зеленого корма гидропонным способом [Текст] / Ю.А. Кругляков. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 79 с.
3. Соколенко, О. Н. Исследование динамики движения одноуровневой гидропонной установки с упругими несущими элементами [Текст] // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – №1 (21). С. 91-99.
4. Соколенко, О. Н. Совершенствование процесса производства кормовой и витаминизированной зеленой продукции [Текст] // Таврический вестник аграрной науки. – 2015. – №2 (4). С. 82-87.

УДК 621.43

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВПУСКНЫХ КАНАЛОВ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ MMZ-262CNG И ДИЗЕЛЯ Д-262

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

С 2019 года совместно с фирмой «РариТЕК» (г. Набережные Челны) на Минском моторном заводе ведутся опытно-конструкторские работы по созданию газопоршневого двигателя MMZ-262CNG на базе дизеля Д-262. По требованию заказчика для газового двигателя разработана головка цилиндров с двухфункциональными впускными каналами с боковым подводом. С целью унификации отливок головок газопоршневых и дизельных двигателей проводится сравнение свойств впускных каналов двигателей.

Определение аэродинамических свойств каналов проводилось путем моделирования потоков воздуха в системе «впускной канал-клапан-цилиндр» при высотах подъема клапана $h_{кл}=2...13$ мм, граничных условиях - давление и температура на входе $p_{вх}=101325$ Па, $T_{вх}=293,2$ К; на выходе $p_{вых}=100304$ Па, $T_{вых}=293,2$ К. Условия на стенках – адиабатные стенки с шероховатостью $R_z=50$ мкм.

В результате моделирования определялся массовый расход воздуха $M_{сек}$, окружная скорость воздушного потока на выходе w_t относительно оси цилиндра, средний радиус цилиндрической системы координат r_{cp} , анализировалось распределение скорости и линии тока в канале, клапанной щели и цилиндре.

Для обработки полученных данных использовались следующие зависимости:

- эффективное проходное сечения

$$\mu f = \frac{M_{сек}}{W_m \cdot \rho_k},$$

где M_m – теоретический расход воздуха; $f_{кл}$ – проходная площадь клапанной щели; W_m – теоретическая скорость истечения; ρ_k – плотность воздуха на выходе из канала;

- момент количества движения воздушного заряда (момент на спрямляющей решетке)

$$M_p = \frac{w_t}{r_{cp}} \cdot M_{сек} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2,$$

где D – диаметр цилиндра, $D=110$ мм;

- условная угловая скорость воздушного заряда цилиндра в конце впуска:

$$\Omega = \frac{\pi}{2} \cdot \omega_{\text{дв}} \cdot \int_0^1 \frac{2 \cdot M_p \cdot \rho_k \cdot S}{M_{\text{сек}}^2} \cdot f(\alpha) \frac{dS}{S},$$

где $\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя; S – ход поршня, $S=140$ мм; α – угол поворота коленчатого вала; $f(\alpha)$ – функция скорости поршня, равная отношению его мгновенной скорости к скорости кривошипа.

Результаты расчетов приведены на рис. 1

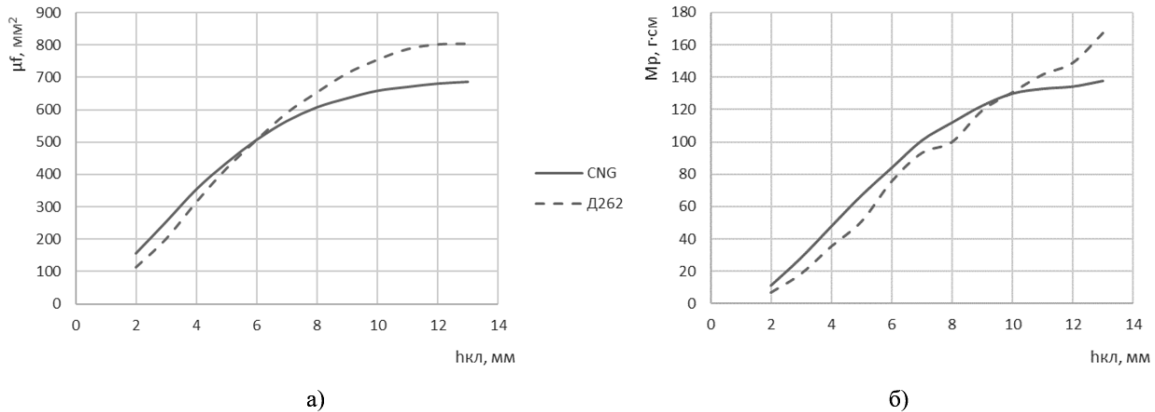


Рис. 1 – Результаты сравнительных продувок впускных каналов газопоршневого и дизельного двигателя: а) изменение эффективного проходного сечения клапанной щели μf ; б) изменение момента на решетке M_p от высоты подъема клапана $h_{\text{кл}}$

Из результатов продувки можно сделать следующие выводы:

- пропускная способность впускных каналов двигателя MMZ-262CNG при высотах подъема клапана $h_{\text{кл}}=8...13$ мм существенно ниже чем у дизеля Д-262, что должно отрицательно сказываться на наполнении цилиндров. При $h_{\text{кл}}=13$ мм потери в эффективном проходном сечении μf составляют 17%;

- способность генерировать воздушный вихрь каналов MMZ-262CNG выше чем у каналов Д-262. Суммарное вихревое отношение Ω у каналов MMZ-262CNG составляет 5,11, что на 18% превышает интенсивность вихря, создаваемого каналами головки дизеля Д-262. Для нормальной организации процесса смесеобразования для дизелей с системой впрыска непосредственного действия (простой ТНВД) отношение Ω должно находиться в пределах 3,5 – 4,5, для дизелей, оснащенных системой аккумуляторной системой топливоподачи (типа Common Rail) данное отношение составляет 3 – 4.

По результатам сравнительных испытаний можно сделать заключение, что для использования впускных каналов с боковым подводом требуется доработка профиля проточной части, направленная на увеличение пропускной способности и снижение интенсивности воздушного вихря.

УДК 621.43

СИНТЕЗ КУЛАЧКА ПРИВОДА ВПУСКНОГО КЛАПАНА ГАЗОПРОШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ MMZ-262CNG

Р.И. Чура, А.В. Предко
ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»
г. Минск, Республика Беларусь

На ММЗ проводятся работы по созданию газопоршневого двигателя MMZ-262CNG на базе дизеля Д-262. При переводе дизеля на газовое топливо претерпели конструктивные изменения впускной тракт, камера сгорания, головка блока цилиндров, изменены фазы газообмена и законы движения клапанов, продолжительность фазы впуска уменьшена на 16 градусов поворота коленчатого вала, а максимальный ход толкателя изменен с 8 до 7 мм. В данной работе рассматривается вопрос построения (синтеза) профиля кулачка впускного клапана по заданному закону перемещения плоского толкателя.

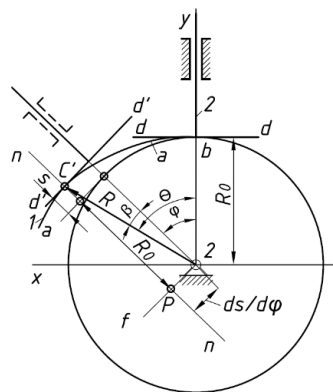


Рис.1 – Схема определения координат профиля кулачка

Согласно [1] и схемы рис.1 полярный угол Θ определяется как

$$\Theta = \varphi + \beta = \varphi + \operatorname{arctg} \frac{ds/d\varphi}{R_0 + s},$$

где φ – угол поворота кулачка; R_0 – начальный радиус кулачка, в нашем случае $R_0=19,72$ мм; s – текущее значения подъема толкателя.

Радиус-вектор R кулачка в точке C'

$$R = \sqrt{(R_0 + s)^2 + \left(\frac{ds}{d\varphi}\right)^2}.$$

Координаты профиля «a-a» кулачка в выбранной системе координат выражаются формулами

$$y = R \cos \Theta = (R_0 + s) \cos \varphi - \frac{ds}{d\varphi} \sin \varphi;$$

$$x = R \sin \theta = (R_0 + s) \sin \varphi + \frac{ds}{d\varphi} \cos \varphi.$$

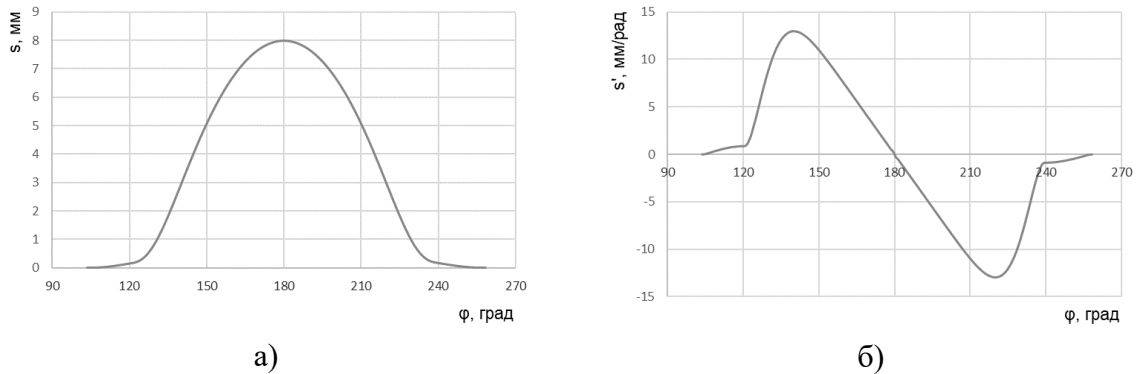


Рис. 2 – Закон движения толкателя:
а) перемещение толкателя s ; б) аналог скорости толкателя $\frac{ds}{d\varphi}$.

Закон движения толкателя был представлен табличной зависимостью $s = f(\varphi)$ (рис. 2а). Аналог скорости толкателя $\frac{ds}{d\varphi}$ определялся путем численного дифференцирования по формуле

$$\frac{ds}{d\varphi} \approx \frac{s_{i+1} - s_{i-1}}{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}.$$

График определенного аналога скорости $\frac{ds}{d\varphi}$ показан на рис. 2б.

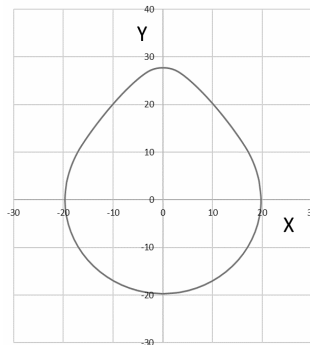


Рис. 3 – Профиль кулачка привода впускного клапана

По описанным выше зависимостям получены декартовы координаты профиля кулачка привода впускного клапана газопоршневого двигателя MMZ-262CNG (рис. 3) необходимые для изготовления мастер-кулачка на обрабатывающем центре с цифровым управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб., для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 640 с.

УДК 621.891

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТОРМОЗА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

М.Ю. Целуев, Д.А. Кисляк,
УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Повышение требований к ресурсу и энергоемкости тормозных систем привело к созданию и применению в сельскохозяйственных тракторах многодисковых тормозов, фрикционные диски которых работают в среде масла [1]. Несмотря на совершенствование конструкций, материалов и технологий изготовления важной проблемой при эксплуатации остается влияние фрикционного нагрева дисков на параметры работы многодисковых тормозов. Высокие температуры трения являются причиной износа и коробления дисков, снижения ресурса и отказа многодисковых тормозов.

Цель работы – теоретическое исследование влияния эксплуатационных параметров на величину нагрева фрикционных дисков многодискового тормоза в условиях работы, имитирующих служебные торможения сельскохозяйственного трактора.

Методы исследования. Исследование теплового режима пар трения осуществляли на примере экспериментальной конструкции остановочного тормоза колесного трактора 3-го тягового класса, имеющего восемь дисков с накладками из фрикционного материала, взаимодействующих в среде моторного масла с неподвижными дисками из стали.

Разработана безразмерная тепловая задача, описывающая осесимметричное температурное поле во фрикционной паре многодискового тормоза при нестационарном трении с учетом теплофизических характеристик материалов, конструкционных и эксплуатационных параметров дисков. Теоретические исследования теплового режима пар трения многодискового тормоза при нагрузочно-скоростных режимах трения дисков, имитирующих служебные торможения трактора, осуществляли в процессе многовариантных численных решений тепловой задачи методом конечных элементов с использованием многофакторного планирования эксперимента четвертого порядка. В качестве варьируемых количественных факторов в ходе исследования были выбраны: момент трения и начальная угловая скорость скольжения дисков, приведенный к валу тормоза момент инерции движущихся масс транспортного средства и продолжительность трения дисков. Качественным фактором при проведении исследования являлся вид фрикционного материала композиционного диска: фрикционный ма-

териал на основе целлюлозных волокон (ФЦМ) и фрикционный металло-керамический материал (ФМК).

Результаты исследования. Для фрикционных пар многодискового тормоза в исследованных режимах трения установлено, что скорость роста и уровень развиваемых температур на фрикционном контакте пары трения увеличиваются с повышением мощности и продолжительности трения дисков, снижением интенсивности теплообмена с окружающей средой и тепловой проводимости материала фрикционной накладки. Максимальная температура фрикционного контакта дисков имеет нелинейную с максимумом зависимость от времени. Для рассмотренных условий трения дисков максимум температуры фрикционного контакта для пар трения с накладками из ФЦМ наблюдается в момент времени t_m , находящийся в интервале 0,6...0,7 от времени торможения t_b , а для дисков с накладками из ФМК – 0,65...1,0 и 0,7...0,9 соответственно. Относительная величина t_m/t_b снижается с ростом продолжительности трения и интенсивности теплообмена дисков с маслом, уменьшением тепловой проводимости материала фрикционной накладки. На этапе снижения температуры фрикционного контакта дисков положение температурного максимума в паре трения перемещается от поверхности трения в тело стального диска.

Получены многофакторные функциональные зависимости максимальной температуры фрикционного контакта пар трения многодискового тормоза с накладками из различных фрикционных материалов от величины основных эксплуатационных параметров, показавшие для приращения температуры фрикционного контакта дисков прямую пропорциональную зависимость от наибольшей мощности трения, прямую нелинейную зависимость от продолжительности трения и обратную нелинейную зависимость от величины коэффициентов теплообмена дисков с окружающей средой. Установлено, что замена материала накладки композиционного диска с фрикционного материала на целлюлозной основе на фрикционный металлокерамический материал ведет к снижению максимального приращения температуры на фрикционном контакте пар трения в 1,53...1,94 раза.

Полученные результаты были использованы для инженерных оценок величины развиваемой температуры на фрикционном контакте пар трения проектируемых многодисковых тормозов для заданных нагрузочно-скоростных режимов трения дисков, а также выбора эксплуатационных параметров и материала дисков, обеспечивающих работу тормоза с допустимой температурой нагрева пар трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий, К.И. Принудительное жидкостное охлаждение дисковых фрикционных сцеплений и тормозов / К.И. Городецкий, О.В. Евтушик, В.М. Шарипов // Тракторы и сельхозмашины. - 2000. - № 12. - С. 21-24.

УДК 631.3

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВТУЛОЧНО-ПАЛЬЦЕВЫХ МУФТ В КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УБОРОЧНЫХ МАШИН

О.В. Рехлицкий, А.А. Дакука, А.Н. Тумаров
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

Работа самоходной сельскохозяйственной уборочной техники, например зерноуборочного или кормоуборочного комбайна, характеризуется постоянным изменением нагрузки на двигатель вследствие неравномерности распределения растительной массы в технологическом тракте машины, влияния макро- и микрорельефа поля, механических свойств почвы на усилие сопротивления перекачиванию движителей. В результате данных условий работы возникают удары, толчки, колебания, для амортизации и демпфирования которых в конструкции выпускаемой ОАО «Гомсельмаш» техники применены втулочно-пальцевые муфты оригинальной конструкции, учитывающей условия применения муфт совместно с двигателями различных производителей. Конструкция втулочно-пальцевых муфт общемашиностроительного назначения установлена ГОСТ 21424-93 «Муфты упругие втулочно-пальцевые. Параметры и размеры». Геометрические параметры и конструктивные характеристики стандартизированных муфт [1, 2] и унифицированных муфт, применяемых в конструкции уборочных машин ОАО «Гомсельмаш», сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Параметры втулочно-пальцевых муфт общемашиностроительного применения и унифицированных муфт, конструкции НТЦК ОАО «Гомсельмаш»

Применяемость муфты	Номинальный крутящий момент, Тр, Н*м	Наружный диаметр муфты, D, мм	Диаметр расположения пальцев, D ₁ , мм	Диаметр пальца, d ₂ , мм	Длина втулки, l ₃ , мм	Наружный диаметр втулки, D _в , мм	Количество втулок, z, шт.	Напряжения изгиба пальца, σ _{из} , Н/мм ²	Напряжения смятия втулки, σ _{см} , Н/мм ²
Гост 214254	2000	250	180	28	45	50	10	37,9	1,75
К С - 1 0 0	380	352,2	250	17	28	43	8	10,8	0,798
УЭС-2-280А	1025	475	295				16	12,4	0,912
КЗС-1212А-1	1130	475	13,6				1,0		
КВК-800-8	1735	466,7	20,95				1,544		

Проверочный расчет по условиям прочности изгиба пальца и прочности втулок по напряжениям смятия, результаты которого сведены в таблицу 1, показывает, что значения напряжений значительно ниже допусти-

мых $[\sigma_{и}]=(0,2...0,5) \sigma_{т}$ термообработанной стали 45Х для пальца и $[\sigma_{см}]=1,8...2$ МПа для втулки [2], а также значительно ниже напряжений, действующих в аналогичных деталях втулочно-пальцевой муфты общемашиностроительного назначения.

Исходя из расчетных напряжений, ГОСТ 21424-93 устанавливает требования к упругим втулкам, которые должны изготавливаться из резин, с физико-механическими свойствами согласно таблице 2.

Таблица 2 - Физико-механические свойства упругих втулок втулочно-пальцевых муфт общемашиностроительного применения и унифицированных муфт, конструкции НТЦК ОАО «Гомсельмаш»

Документ, обозначение Параметр	ГОСТ 21424-93	Втулка МУВП ГОСТ 21424 Резина 7В14 Производитель: ЦЕНТР РТИ СПБ, Санкт-Петербург, РФ	Пластина 2Н-1-МБС-С-50 ГОСТ 7338-90 54024.93.977 (45x24x44) ООО «СК-Полимеры», Красноярск, РФ	7-ИРП-1352 ТУ ВУ 700069297.024-2010 31.01-2199	7-ЯН-19 ТУ ВУ 700069297.024-2010 31.01-2199А
Предел прочности при разрыве, МПа, не менее	8	9.8	7	5,9	13,7
Относительное удлинение при разрыве, определяемое по ГОСТ 270, %, не менее	300	160	200	300	400
Относительное остаточное удлинение, определяемое по ГОСТ 270, %, не более	24	н/д	н/д	н/д	н/д
Твердость, определяемая по ГОСТ 263, условных единиц, в пределах	60-75	70-80	55-70	50-60	45-60
Истирание (по Грассели), $\text{м}^3/(\text{Вт} \cdot \text{с})$, не более	$2,8 \times 10^{-10}$	н/д	н/д	н/д	н/д

В тоже время на вторичный рынок поставляются упругие втулки для муфт МУВП по ГОСТ 21424 из материалов с отличными от оговоренных стандартом физико-механическими свойствами [3, 4]-см. таблицу 2.

Сравнивая данные из таблиц 1 и 2, можно сделать вывод, что физико-механические свойства упругих втулок, применяемых в конструкции унифицированных муфт ОАО «Гомсельмаш», по основным параметрам наиболее близки к требованиям ГОСТ 21424, а действующие напряжения сжатия значительно меньше допускаемых значений.

Тем не менее, периодически, даже после внедрения резины из смеси 7-ЯН-19 ТУ ВУ 700069297.024-2010, отмечаются разрушения втулок, в том числе, на косилке самоходной КС-100, имеющей наименее нагруженный режим работы упругой втулки (амортизатора) 31.01-2199А.

Учитывая данные обстоятельства НТЦК ОАО «Гомсельмаш» проводятся исследования долговечности упругих втулок (амортизаторов) 31.01-2199А различных производителей, для чего разработана конструкция и изготовлен стенд для испытаний втулочно-пальцевой муфты главного привода кормоуборочного комплекса КВК-800-8, как наиболее нагруженного из всех моделей машин, применяющих данный унифицированный узел.

Проведенные статические испытания с приложением крутящего момента 3900 Н*м опровергли предположение о возможности деформации упругих втулок до размеров, при которых происходит касание металлических элементов (пальцев и диска ведомого) с образованием очага термического воздействия на амортизаторы, приводящего к деструкции резиновой смеси и выходу деталей из строя.

Также проведены динамические испытания амортизаторов под нагрузкой $T_{и}=(1400...2500)$ Н*м в объеме 5100 циклов. Разрушения или изменения геометрических размеров амортизаторов не зафиксировано.

Для продолжения испытаний и приведения стенда к максимально приближенным условиям эксплуатации муфты в составе машины, проведена запись пусковых моментов при включении главного привода на различных частотах вращения коленчатого вала двигателя TAD 1353VE Volvo Penta кормоуборочного комплекса КВК-800-8 (см. рис. 1), а также изменения моментов кручения на коленвале двигателя при выполнении технологического процесса заготовки кукурузы на силос (рис.2).

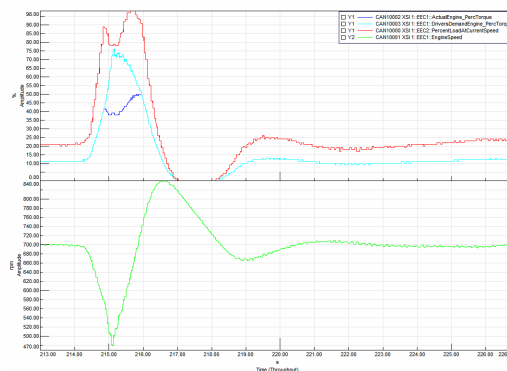


Рис. 1 - Загрузка двигателя при включении главного привода на 700 об/мин коленчатого вала

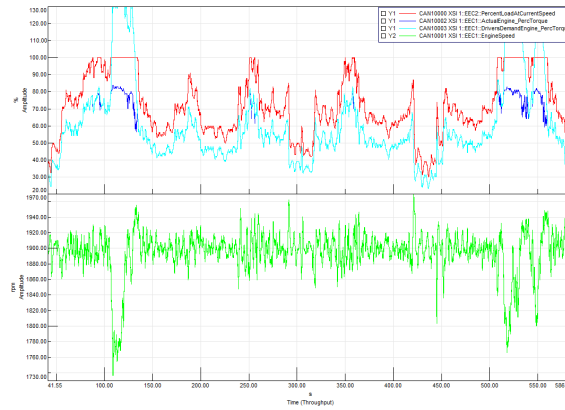


Рис. 2 - Изменение крутящего момента на коленвале двигателя при выполнении технологического процесса заготовки силоса из кукурузы

Полученные в результате измерений в полевых условиях данные, будут использованы для проведения ресурсных испытаний упругих втулок (амортизаторов) различных производителей, изготовленных из различных резиновых смесей на режимах, соответствующих условиям работы самой нагруженной уборочной самоходной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21424-93 Муфты упругие втулочно-пальцевые. Параметры и размеры. ИПК Издательство стандартов, Москва.-2002
2. Скойбеда, А.Т., Детали машин. Курсовое проектирование и атлас конструкций: учебно-методическое пособие/ А.Т.Скойбеда.-Минск: ИВЦ Минфина, 2020.-384 с.
3. <https://sibkraspolimer.ru/formovie-izdeliya/rti/rezinovaya-uprugaya-vtylka-muvp.html>, точка входа 13:20, 08.11.2021.
4. <https://center-rti.ru/prajs/vtylka-muvp-rezinovoe/vtulka-muvp-24x38x65-gost-21424-755-tu-2500-37600152106-94>, точка входа 13:55, 08.11.2021.

УДК 372.881

ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ МАШИН ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ В АГРЕГАТЕ С МИНИ-ТРАКТОРОМ

А.Г. Вабищевич, Н.Д. Янцов, П.В. Авраменко, И.В. Зенько
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

В общей структуре производства сельскохозяйственной продукции заметна роль личных подсобных хозяйств. Однако они не в полной мере обеспечены энергетическими мощностями, прицепными и навесными орудиями, что ограничивает возможность их развития.

Ниже предлагаются возможные варианты компоновки (спереди, сбоку, сзади) экспериментальных агрегатов для заготовки кормов на базе мини-трактора, который выполнен (изготовлен) на базе мотоблока МТЗ-0,5.

На рис. 1 приведена косилка навесная расположенная справа сбоку мини-трактора, предназначенная для скашивания трав с укладкой в прокос. Привод косилки осуществляется через клиноременную передачу от ВОМ. Режущий аппарат безпальцевый, двухножевой, что обеспечивает качественный и чистый срез.



Рис. 1 - Мини-трактор с косилкой

Безпальцевый режущий аппарат срезает стебли режущими кромками сегментов верхнего и нижнего ножей, движущихся навстречу друг другу возвратно-поступательно, укладывая массу в прокос.

На рис. 2 приведен мини-трактор с колесно-пальцевыми граблями, расположенными сзади и немного смещенными вправо сбоку мини-трактора и предназначенными для ворошения и сгребания скошенных трав. Грабли состоят из рамы, переднего управляемого и задних опорных пневматических колес. Рабочие органы граблей - пальцевые колеса имеют пружинную подвеску, обеспечивающую копирование микрорельефа поля.



Рис. 2 - Мини-трактор с колесно-пальцевыми граблями

При движении граблей пальцевые колеса соприкасаются с почвой, обеспечивая их вращение. Пружинные зубья захватывают травяную массу и транспортируют ее по ходу движения агрегата.

Для выполнения операции сгребания сена в валки секцию пальцевых колес устанавливаются под углом 45° к направлению движения агрегата, для ворошения пальцевые колеса поворачиваются вокруг оси шарниров на 90° .

На рис. 3 приведен мини-трактор с волокушей, расположенной спереди мини-трактора. Волокуша предназначена для уборки сена, соломы из валков, подбора и перевозки копен сена, соломы и рулонов весом до 50 кг.



Рис. 3 - Мини-трактор с волокушей

Волокуша состоит из задних и боковых стенок, выполненных из труб сварной конструкции, механизма уравнивания и навесного устройства.

При движении агрегата пальцы волокуши забирают травяную массу из валка, копну сена или рулон. По мере накопления масса упирается в

заднюю стенку, а боковые стенки препятствуют разбрасыванию массы в стороны. Разгрузка осуществляется при опускании волокуши на почву, при движении задним ходом за счет сцепления травяной массы с почвой.

Таким образом предложены возможные варианты компоновки экспериментальных агрегатов для заготовки кормов на базе мини-трактора с расположением машин спереди, сзади и сбоку. Агрегаты просты в устройстве, надежны в работе, облегчают работу сельского жителя на личных подсобных хозяйствах, приусадебных участках, что делает выгодным и рентабельным ведение не только подсобного, но и малого фермерского хозяйства

УДК 631.37

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПОТОЧНОЙ ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

А.Я. Машук, Ю.В. Чупрынин, А.А. Калиновский
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

Многие рабочие органы сельскохозяйственных машин требуют бесступенчатого регулирования скоростных и силовых характеристик в заданном диапазоне значений для обеспечения необходимых эксплуатационных и технологических показателей сельскохозяйственных работ.

В настоящее время известны бесступенчатые трансмиссии следующих типов:

- вариатор - механическая передача, основанная на передаче вращения (момента) трением через промежуточное тело (ремень, ролик, шарик), которое можно переводить в любую точку переменного радиуса ведущего и/или ведомого колёс, получая изменение передаточного отношения;

- гидрообъемная передача – привод осуществляется посредством гидростатической трансмиссии, состоящей из регулируемого гидронасоса и нерегулируемого или регулируемого гидромотора;

- гидродинамическая передача – гидротрансформатор;

- электрическая передача – привод от источника энергии осуществляется посредством системы генератор-электродвигатель;

- комбинированная трансмиссия – основная часть мощности передается через постоянные механические передачи, а меньшая часть мощности бесступенчато, что позволяет до некоторой степени совместить достоинства разных типов передач;

- двухпоточная трансмиссия – трансмиссия, в которой с помощью дифференциалов последовательно выполняется разделение силового потока на две части, и затем их сложение.

В сельскохозяйственных машинах для привода вращающихся рабочих органов (барабаны, роторы, вентиляторы) используется «клиноременная вариатор», который представляет собой клиноременную передачу с двумя шкивами и клиновым ремнем специального исполнения. Вариация (изменение передаточного отношения) достигается путем принудительного изменения расстояния между полушкивами одного из шкивов, в результате чего изменяются радиусы расположения ремня на ведущем и ведомом шкивах.

Для привода ходовой части самоходных сельскохозяйственных машин широкое распространение также получила гидрообъемная передача (гидростатическая трансмиссия), которая позволяет плавно начинать движение и изменять скорость машины при постоянной номинальной частоте вращения двигателя, необходимой для привода рабочих органов.

Современные тенденции развития сельского хозяйства требуют создание специализированных (зерноуборочные и кормоуборочные комбайны) и универсальных (мобильные энергетические средства с комплексом навешиваемых рабочих органов) высокопроизводительных энергонасыщенных сельскохозяйственных машин с высокими технико-экономическими показателями и эксплуатационными характеристиками.

В этих условиях традиционные для сельскохозяйственных машин бесступенчатые трансмиссии уже не отвечают заявленным требованиям по передаче высоких значений мощности в силу нерационального увеличения габаритов клиноременных вариаторов и значительному увеличению потерь передаваемой мощности в гидрообъемных передачах.

Поэтому в современных образцах сельскохозяйственных машин все большее применение получают двухпоточные трансмиссии с использованием гидрообъемной передачи (ГСТ), принципиальная схема которой показана на рис.1.

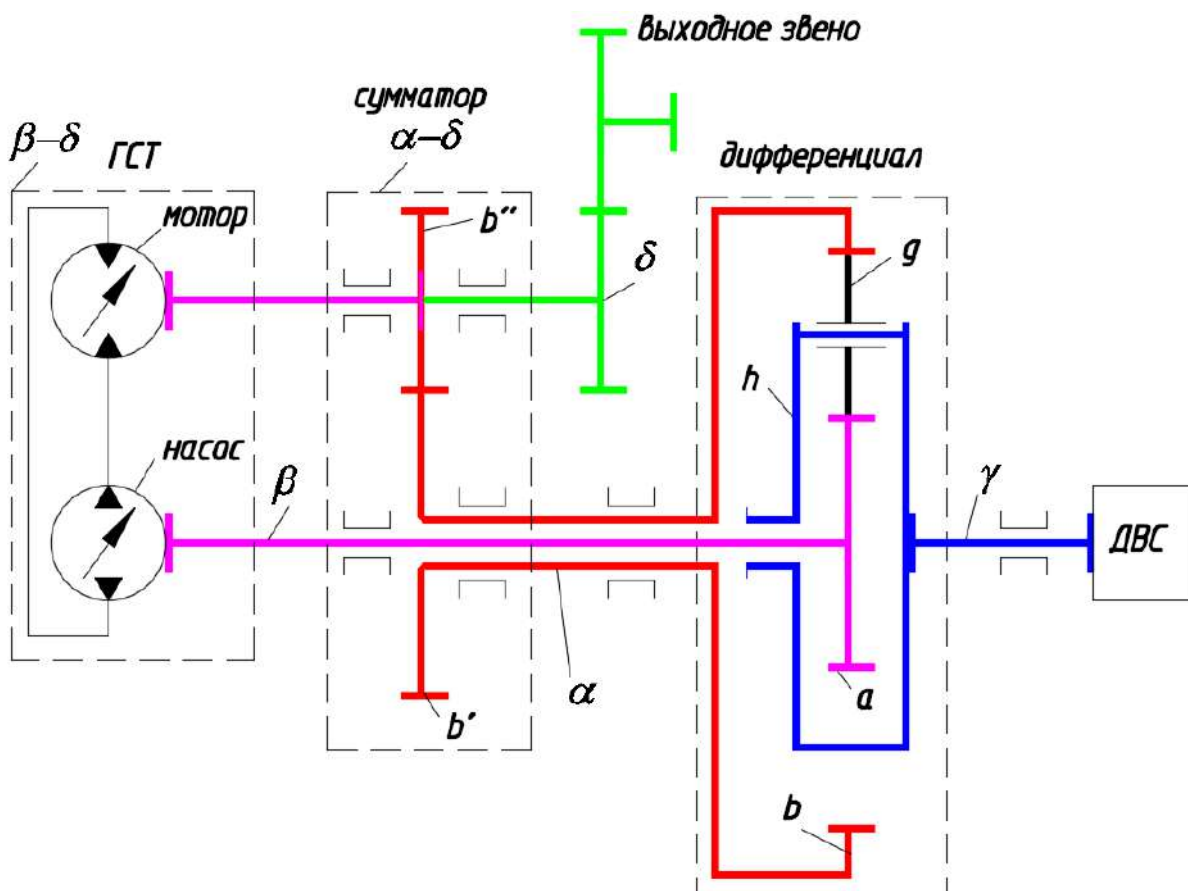


Рис. 1 – Принципиальная схема двухпоточной трансмиссии

Принцип двухпоточной трансмиссии, применяемой в сельскохозяйственных машинах (рис. 1), состоит в делении мощности от двигателя, который имеет постоянную частоту вращения, на два силовых потока: «механическую» и «гидравлическую» ветвь.

Через «механическую» ветвь передается большая часть мощности на выходное звено, посредством постоянных механических передач.

Через «гидравлическую» ветвь передается меньшая часть мощности и осуществляется вариация частоты вращения выходного звена.

Простейшие схемы двухпоточных трансмиссий делятся на два типа:

- с дифференциалом на входе – мощность двигателя делится с помощью дифференциала и затем суммируется посредством обычных передач;

- с дифференциалом на выходе – мощность двигателя делится с помощью обычных передач и суммируется на дифференциале.

Применение подобных схем двухпоточных трансмиссий в энергонасыщенных высокопроизводительных сельскохозяйственных машинах позволяет эффективно, с малыми потерями, передавать значительные значения мощности через «механическую» ветвь, обеспечивая высокие тяговые характеристики рабочих органов, а малонагруженная «гидравлическая» ветвь обеспечивает требуемый диапазон вариации частоты вращения выходного звена с приемлемыми потерями мощности в гидравлике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планетарные передачи. Справочник. Под ред. Докторов техн. Наук В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяцева. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. – 536 с

2. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справочное пособие / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – изд. 2-е, переработ. и доп. – М., «Машиностроение», 1976. – 456 с.

УДК 658.512.011.56

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Д. И. Бурлаков

УО «Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

В современном мире всё большее количество руководителей предприятий склоняется к тому, что основным инструментом в борьбе за успешность компании является внедрение инновационных технологий. Инновации снижают расходы на организацию управления и увеличивают его эффективность. Наиболее передовые компании, работающие в сфере сельскохозяйственного машиностроения, используют инновационные подходы не только на всех стадиях производства, но и на всех стадиях жизненного цикла их изделий.

Основным источником существования предприятия сельскохозяйственного машиностроения являются доходы от выпускаемой им продукции. Однако в условиях рыночной конкуренции гарантировать запланированный объём сбыта предприятие может только при условии разработки, производства и реализации качественной продукции, причём в кратчайшие сроки и с минимальной ценой. Эти требования являются необходимыми (хотя недостаточными) для достижения успеха на рынке сельскохозяйственной техники. Именно по этой причине несоблюдение любого из них неминуемо приведёт промышленное предприятие к заведомо известному результату: проигрышу в рыночной борьбе, иногда отсроченному и почти всегда отягощённому огромными расходами.

Как избежать поражения, каким процессам стоит уделить наибольшее внимание – по этим вопросам бизнес-теории могут значительно различаться. В конце 80-х годов прошлого столетия ключевой позицией сельскохозяйственного машиностроения было качество. Основные вложения предприятий производились в то, что может обеспечить высокое качество выпускаемых машин. основополагающей концепцией была концепция «всеобщего управления качеством» (TQM – Total Quality Management). Фокусируясь на процессе, TQM опирается на философию управления, которая поддерживает непрерывное совершенствование и производственный подход «правильно с первого раза». Цель TQM – свести к минимуму потери и переработку за счет отсутствия брака в процессе производства сельскохозяйственных машин. В этот период среди информационных систем в сельскохозяйственном машиностроении становятся популярными системы по контролю и управлению качеством.

Вначале XXI века приходит осознание того, что для завоевания рынка уже недостаточно *выпускать* качественную продукцию, *необходимо создать систему*, обеспечивающую длительную, качественную работу сельскохозяйственной техники в полевых условиях. При этом ряд предприятий, включая ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике, начинает продавать выпускаемую продукцию с предложением послепродажного обслуживания. Усиление этой тенденции в мировом масштабе приводит к появлению CALS-технологии, представляющей собой информационную технологию описания сельскохозяйственной техники, производственной среды и процессов, протекающих в этой среде. Данные, порождаемые и преобразуемые этой информационной технологией, служат для обмена или совместного использования различными участниками жизненного цикла продукции сельскохозяйственного машиностроения.

CALS рассматривается как комплексная системная стратегия повышения эффективности всех процессов жизненного цикла продукции сельскохозяйственного машиностроения, непосредственно влияющая на ее конкурентоспособность. Применение стратегии CALS в условиях растущей конкуренции и позволяет:

1. Расширить области деятельности предприятий (рынки сбыта) за счет кооперации с другими предприятиями.
2. За счет информационной интеграции и сокращения затрат на бумажный документооборот, обеспечить преемственность результатов работы в комплексных проектах и возможность изменения состава участников без потери уже достигнутых результатов.
3. Повысить привлекательность и конкурентоспособность изделий, спроектированных и произведенных в интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий и имеющих средства информационной поддержки на этапе эксплуатации.
4. Обеспечить заданное качество продукции в интегрированной системе поддержки ЖЦ путем электронного документирования всех процессов и процедур.
5. Сократить издержки производства и снизить стоимость продукции.
6. Сократить время создания изделия, его модернизации и увеличить его реальное время «жизни».

Указанные направления совершенствования производства сельскохозяйственных машин путем применения CALS-технологий позволяют решить задачу обеспечения экономии времени и средств при одновременном повышении качества выпускаемой сельскохозяйственной техники. Этому может способствовать привлечение к их реализации выпускников Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого.

УДК 658.512.011.56

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ СМЕННЫХ ЛИСТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

А.В. Громыко, С.Н. Муха, В.В. Лаптев
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»
г. Гомель, Республика Беларусь

Износ - изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия или инструмента вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении.

Износ приводит к снижению функциональных качеств изделий и к потере их потребительской ценности. Увеличению износостойкости изделий способствуют как применение материалов с высокой износостойкостью, так и конструктивные решения, обеспечивающие компенсацию износа.

Износ деталей машин зависит от условий трения, свойств материалов и конструкции, его можно рассматривать как механический процесс, осложнённый действием физических и химических факторов, вызывающих снижение прочности микрообъёмов поверхностного слоя.

Поскольку твердость является одним из основных и легко определяемых показателей механических свойств поверхностных слоев, то вполне естественно, что абразивная износоустойчивость сопоставляется в первую очередь именно с этой характеристикой. Линейные зависимости износостойкости от твердости для сталей с одинаковым химическим составом получены в ряде работ, причем эта зависимость тем четче, чем большая часть металла удаляется за счет микрорезания вязкого характера. Вместе с тем, ряд исследователей свидетельствует, что во многих случаях нагружения твердость не является единственной характеристикой, определяющей износостойкость.

Следует отметить, что одинаковая и достаточно высокая твердость может быть достигнута различными вариантами упрочняющих технологий, которые обеспечивают различные значения износостойкости.

Согласно данным компаний, специализирующихся на производстве высококачественных сталей высокой прочности, сравнительный срок службы износостойких листов в зависимости от материала и твердости может изменяться в 3 раза (сталь 09Г2С с твердостью 143НВ и сталь 09Г2С с твердостью 500НВ).

Получение высокого качества и надежности сельскохозяйственных машин возможно лишь при условии применения новых материалов с по-

вышенными свойствами, новых технологий изготовления и современных методов нанесения покрытий.

Одновременно работоспособность и ресурс сельскохозяйственных машин определяется в основном состоянием, свойствами и формой поверхности детали.

Для проверки одного из таких условий были проведены испытания сменных листов измельчающего аппарата, установленного на кормоуборочных комплексах КВК-800, изготовленных по технологии гибки сегментами (см. рис.1) и методом вальцовки (см. рис.2).

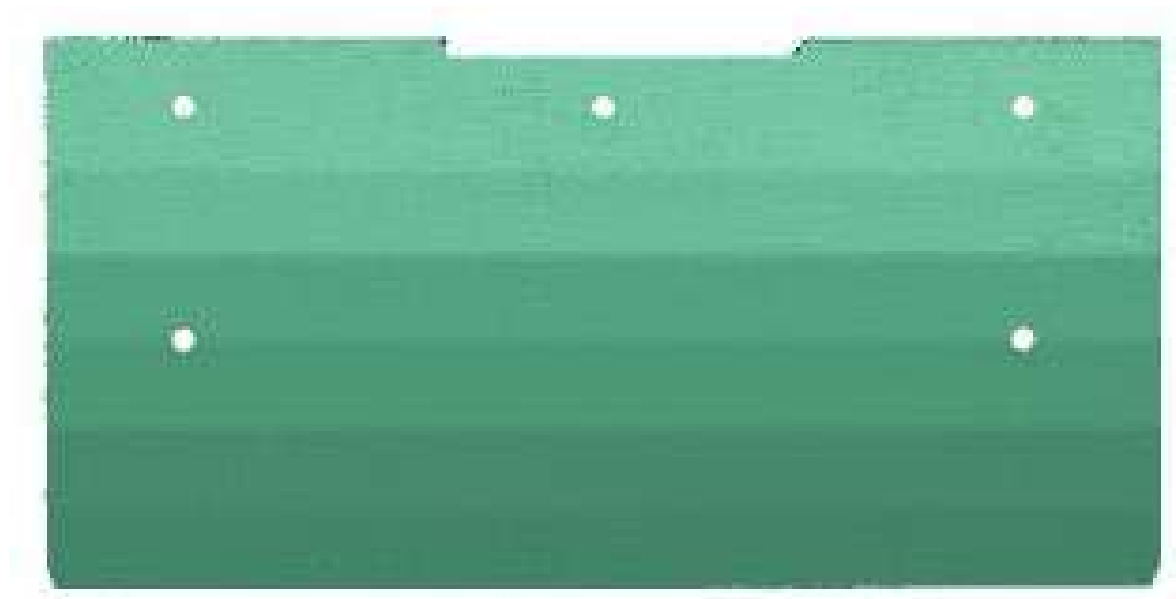


Рис.1 - лист изготовленный гибкой сегментами

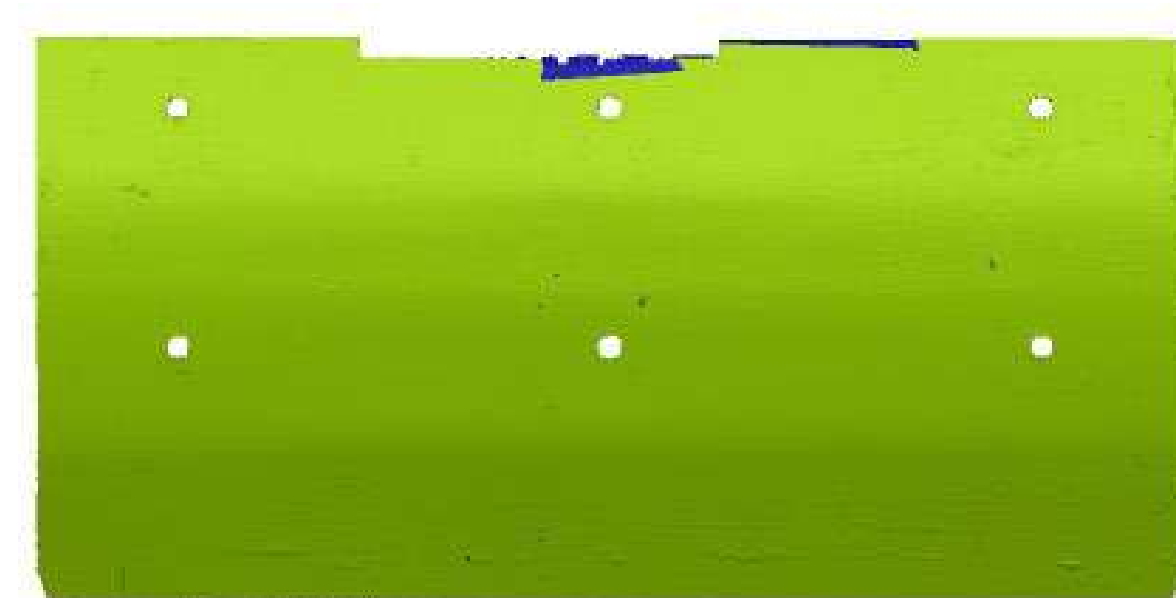


Рис.2 - лист изготовленный методом вальцовки

По результатам испытаний данных сменных листов измельчающего аппарата, изготовленных с помощью разных технологий (геометрий) были проведены контрольные измерения.

По результатам проведения контрольных измерений были определены места подверженные более интенсивному износу (см. рис.3 и рис.4).

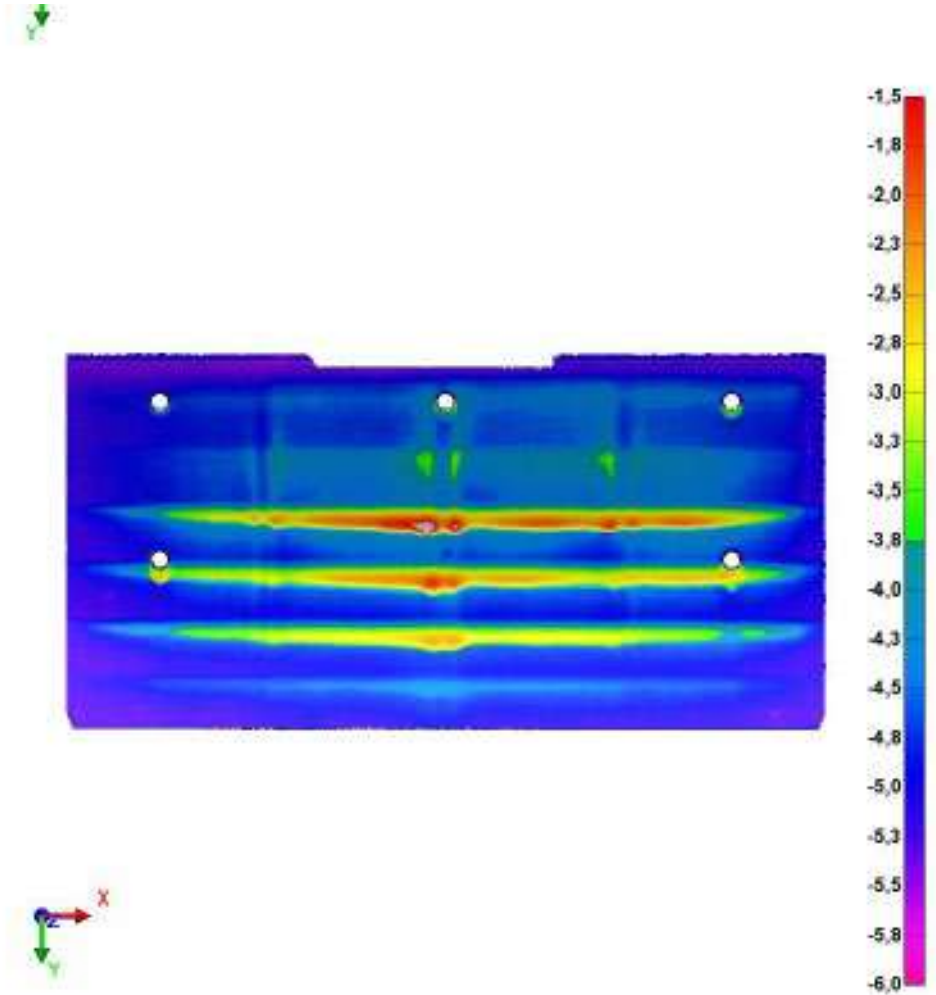


Рис.3 - Места интенсивного износа листа

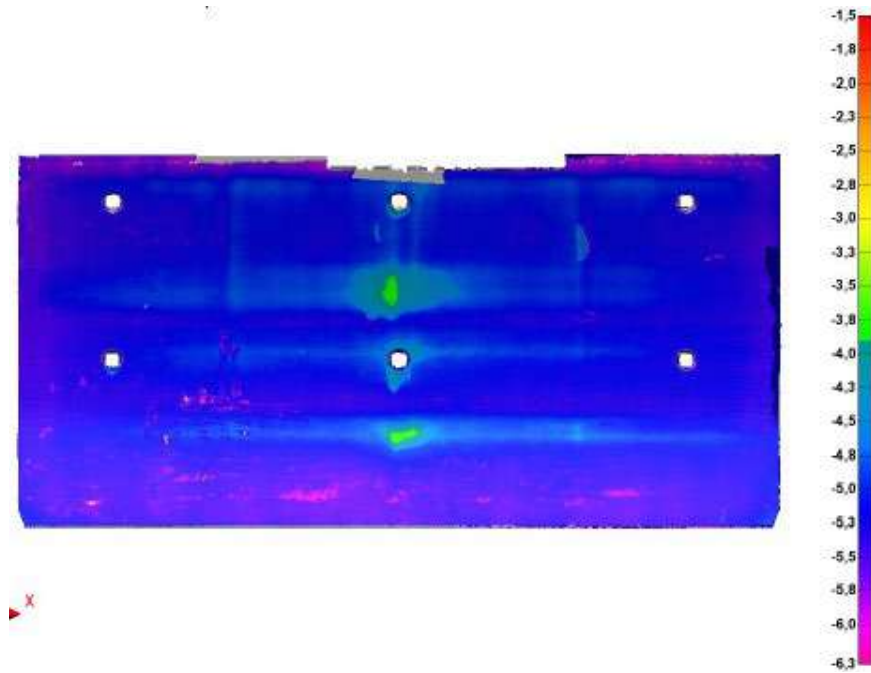


Рис.4 - Места интенсивного износа листа

Из рис. 3 видно, что толщина листа, изготовленного гибкой сегментами, резко уменьшается в зонах интенсивного износа, присутствует неравномерный износ.

Рассмотрев рис. 4 можно говорить, что толщина листа, изготовленного методом вальцовки, имеет менее интенсивный и более равномерный износ.

Данные слова также подтверждаются, если рассмотреть сечения листов в зонах наиболее интенсивного износа (см. рис. 5 и рис. 6).

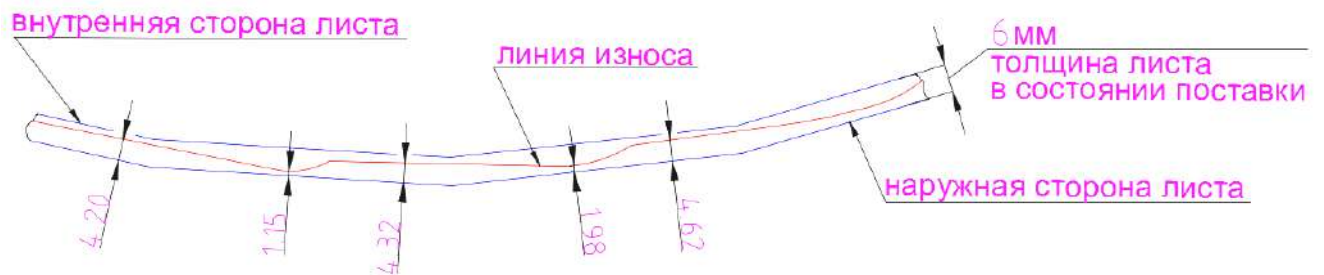


Рис.5 - Сечение листа изготовленного гибкой сегментами

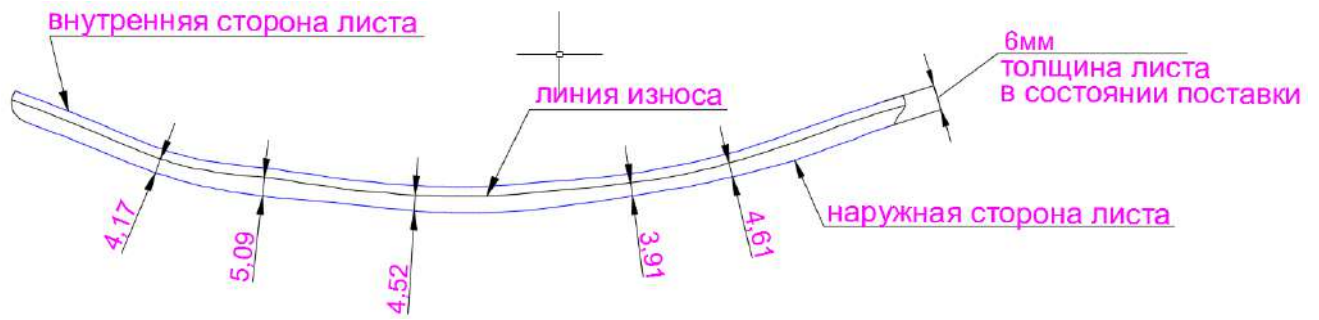


Рис.6 - Сечение листа изготовленного методом вальцовки

Анализ сечения листов, изготовленных с помощью разных технологий показывает, что при изготовлении деталей методом вальцовки (гибкой по радиусу) неравномерность износа, на рассматриваемом участке, подвергаемом механическому износу составляет от 0,91мм до 2,09мм, а при изготовлении деталей гибкой сегментами неравномерность износа составляет от 1,38мм до 4,85мм.

Увеличенный местный износ (более чем в 2 раза) приводит к увеличению скорости изнашивания и преждевременному выходу из строя деталей технологического тракта.

Следовательно при изготовлении деталей, подвергаемых износу, необходимо обеспечить равномерность гибки и исключения явно выраженных изменений траектории движения массы.

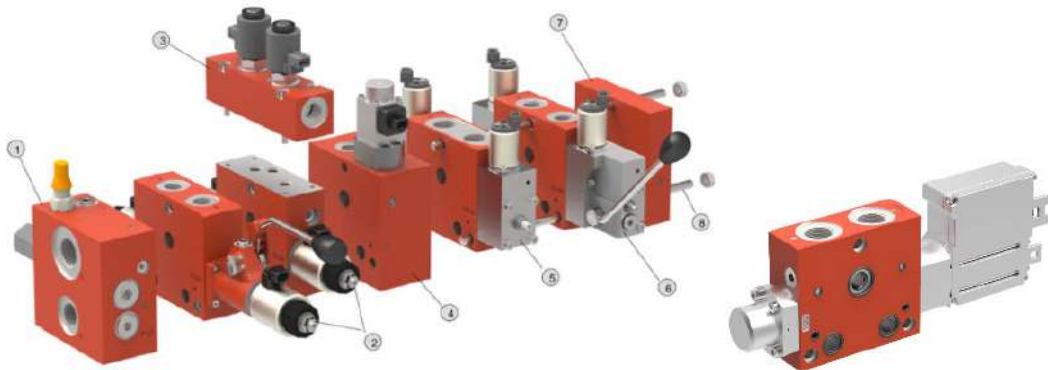
УДК 631.354.2

ШАГОВЫЙ ПРИВОД В УПРАВЛЕНИИ СЕКЦИОННЫМИ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯМИ BUCHER HYDRAULICS

К.Б. Гаврюшенко
Бухер Хайдролкис ГмбН, Клеттгау, Германия

1. LVS08 / LVS12

Оптимизированная по потерям давления конструкция с концепцией - компенсаторы давления встроены в управляющий золотник, система нисходящего потока для гибкого параллельного управления, а также отличная модульность, делают этот пропорциональный распределитель пригодным для гибкого использования в мобильных машинах. Дополнительные функции, которые могут быть интегрированы, высокая удельная мощность при одновременном высоком объёмном расходе потребителя до 180 л / мин, в сочетании с возможностью использования двух различных типоразмеров LVS08 и LVS12 в одном блоке управления, превращают ходовой пропорциональный распределитель LVS08 / LVS12 в гибкий и компактный модуль. Гидрораспределитель может быть сконфигурирован как для систем с постоянным насосом, так и для чувствительных к нагрузке LS-систем с регулируемыми насосами.



1.1. Технические данные LVS08 / LVS12

Название	LVS08	LVS12
Номинальный расход потребителя, макс. [л / мин]	50	200
Расход на входе, макс. [л / мин]	260 *	260 *
Давление на входе, макс. [бар]	250	350 *
Давление на портах потребителя, макс. А и В [бар]	280	380 *
Управление ходовым распределителем		
- Двухпозиционный магнит прямого действия	X	-
- Пропорциональный магнит прямого действия	X	-
- Электро-гидравлическим предварительный привод	-	X
- Бортовая электроника электро-гидравлическая	-	X
- Бортовая электроника шагового двигателя		X (up to 150 L/min consumer flow)
Дополнительные функции		
- Возможность отдельного пропорционального регулирования потока на портах А и В	-	X
- Клапан сброса давления / подпитки (встроенный)	X	X
- Седельный клапан с электрическим переключением (встроенный)	X	-
- Аварийное отключение нажатием «штифтом»	X	X
- Ручное управление (дополнительное / одиночное)	X	X
- Ограничение хода золотника	-	X
- Пристраиваемая сверху плата для седельных клапанов	X	X
- Пристраиваемая сверху плата для тормозных клапанов	X	X

1.2. LVS12 с шаговым двигателем

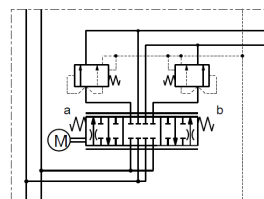
- Ходовой распределитель модельного ряда LVS08/12 основан на модульной системе с несколькими уже доступными приводами и функциями.
- Постоянное улучшение характеристик и расширение модульной системы приводит к созданию хорошо зарекомендовавшей себя, устойчиво развивающейся серии распределителей с опытом эксплуатации более 15 лет.
- Новейшая инновация:

- Привод от шагового двигателя ЕМА46 с LVS12.
- Новый золотник и компенсатор давлений

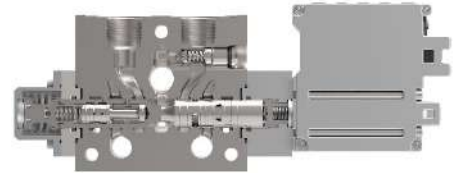
Функциональные возможности

До 150 л/мин

- Протокол CAN J1939
- Контроль потери шага
- Диагностика неисправностей
- Высокое разрешение (0,07 мм/шаг)



- 12 В / 24 В
- Не требует подачи масла
- Высокая жесткость монтажной группы
- Нулевой гистерезис



Некоторые факты

- Основа для определения более высокого уровня безопасности для машин

- Контроль положения

- Запатентованная система «step-loss-detection» обнаружения потери шага. При обнаружении потери шага отключается питание, и золотник перемещается в нейтральное положение (если это возможно механически)

- Сообщение о сбое поступает на главный контроллер, и система может реагировать на него

- Шаговый механизм остается без питания до тех пор, пока не будет передана новая команда нейтрального положения.

- Измерение пружинного пакета (death band) при каждом пуске

- Высокие усилия и жесткость, механических соединений клапана, золотника и шагового двигателя, приводят к высокой повторяемости результатов управления и отсутствию гистерезиса.

- Этот принцип устраняет недостатки клапанов с гидравлическим и электромагнитным приводом.

Функциональные возможности

- $p_{\text{макс. насос}} = 350$ бар
- $p_{\text{макс. потребитель}} = 400$ бар
- p_T (бак) статич. = 30 бар
- p_T (бак) динам. = 50 бар (макс. 3.000 бар /с)

• протокол CAN в соответствии с J1939 с UDS Bootloader

- без гистерезиса
- обнаружение потери шага
- диагностика CAN
- не требует подачи масла
- управление положением с высоким разрешением (0,07 мм)
- не требуется дополнительная фильтрация масла
- невосприимчивость к пульсациям

- высокая жесткость
- быстрое время переключения из среднего положения в крайнее
- доступны напряжения 12 В и 24 В
- рабочий ток макс. 2,5 А
- скорость передачи данных CAN 250 кбод
- штекерное соединение Delphi Me-tri Pack 150.2
- время переключения основной ступени прикл. 100 мс
- точка открытия со свободной конфигурацией
- индивидуальные характеристики золотника
- защита в соответствии с IP6K9K

УДК 658.512.011.56

**СОЗДАНИЕ КОНСТРУКЦИИ 6-РЯДНОЙ ЖАТКИ ДЛЯ УБОРКИ
КОРНАЖА К КОРМОУБОРОЧНЫМ КОМБАЙНАМ.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВО
ДАННОГО ВИДА КОРМА**

Д.Ю. Барсуков

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

Кукуруза является высокоурожайной культурой, занимая одно из первых мест по выходу кормовых единиц с гектара. Традиционно кукурузу заготавливают на силос, убирая ее кормоуборочными комбайнами, а также получают корм из плющеного зерна кукурузы. Однако в настоящее время, учитывая мировой опыт, в частности западных стран, номенклатура кормов из кукурузы расширилась.

В случае благоприятных погодных условий и формирования достаточно объемного початка в одном килограмме натурального корма может содержаться до 0,25 кормовых единиц. В случае дождливого лета и недостатка солнечного тепла, кукуруза так же может сформировать высокую урожайность массы, однако початки будут меньше, следовательно, энергетическая ценность такого корма будет ниже: 0,17–0,18 кормовых единиц в одном килограмме массы.

Хозяйства, нацеленные на высокий удой молока, заинтересованы в обеспечении животных кормом с высокой энергетической ценностью. Для удовлетворения этой потребности был создан новый вид корма, который имеет название корнаж или зерно-стержневая смесь. Для увеличения содержания энергии в корме прибегают к уборке только одного початка, листостебельная же часть измельчается и разбрасывается по полю. Початок попадает в питающий аппарат кормоуборочного комбайна, затем на измельчающий барабан, далее на Корн-Крекер и после в транспортное средство. Таким образом получается корм, в котором содержится обёртка, стержень и зерно. Его энергетическая ценность, по отношению к силосу, возрастает в три раза. Такой корм выступает не основным источником питания, а является добавкой к рациону, которая увеличивает его энергетическую ценность до необходимых показателей в соответствии с планируемым удоем.

Также преимущество данного вида корма перед зерновым, заключается в том, что при уборке кукурузы на зерно в Республике Беларусь возникают определённые трудности. Как известно, для уборки кукурузы на зерно прибегают к использованию зерноуборочного комбайна, оборудо-

ванного специальной жаткой. Для вымолота зерна из стержня в початке необходимо уменьшить зазор между бичами барабана и подбарабаньем. Однако из-за климатических условий, а именно недостатка тепла, влажность в початках кукурузы не может понизиться ниже 35%, следовательно, уменьшение зазора может привести к повреждению зерна. В попытке сохранить зерно целым зазор увеличивают, но в таком случае происходит неполный вымолот зерна, и часть его вместе с початком выбрасывается на поле. В этом отношении уборка зерноуборочным комбайном кукурузы повышенной влажности связана с потерями, которые могут достигать 17-18%. Однако проблема связана не только с потерями, но и с высокой нагруженностью комбайна, в котором к концу уборки кукурузы высокому износу подвергается решетный стан, деки, клавиши соломотряса.

Для сохранения зерна и использования его в дальнейшем как компонент комбикорма его необходимо сушить, по стандартам хранения его влажность не должна превышать 12%. Расход топлива на сушку зерна, собранного с одного гектара, составляет 100-120 литров. Следовательно, сушка зерна крайне нерентабельна, к такому способу заготовки корма прибегают лишь отдельные хозяйства, имеющие острую необходимость.

Рассмотрим экономический эффект от вскармливания различными видами кормов с выходом на молоко. Рентабельность силоса из целого растения составляет – 48%, силосованного зерна – 54%, сухого зерна – 34% в расчёте на гектар. Самая высокая рентабельность по выходу молока получается при использовании корнажа (зерно-стержневой смеси) – 57%.

Для получения такого корма необходимо создание соответствующей техники.

Согласно программе разработки новой и модернизации серийной техники холдинга «Гомсельмаш» с целью выполнения основных показателей социально-экономического развития холдинга, наращивания объемов экспортных поставок, совершенствования номенклатуры выпускаемой техники, расширения рынков сбыта и повышения конкурентоспособности продукции разработана конструкция 6-рядной жатки для уборки корнажа к комплексу КВК-800. (рис. 1).

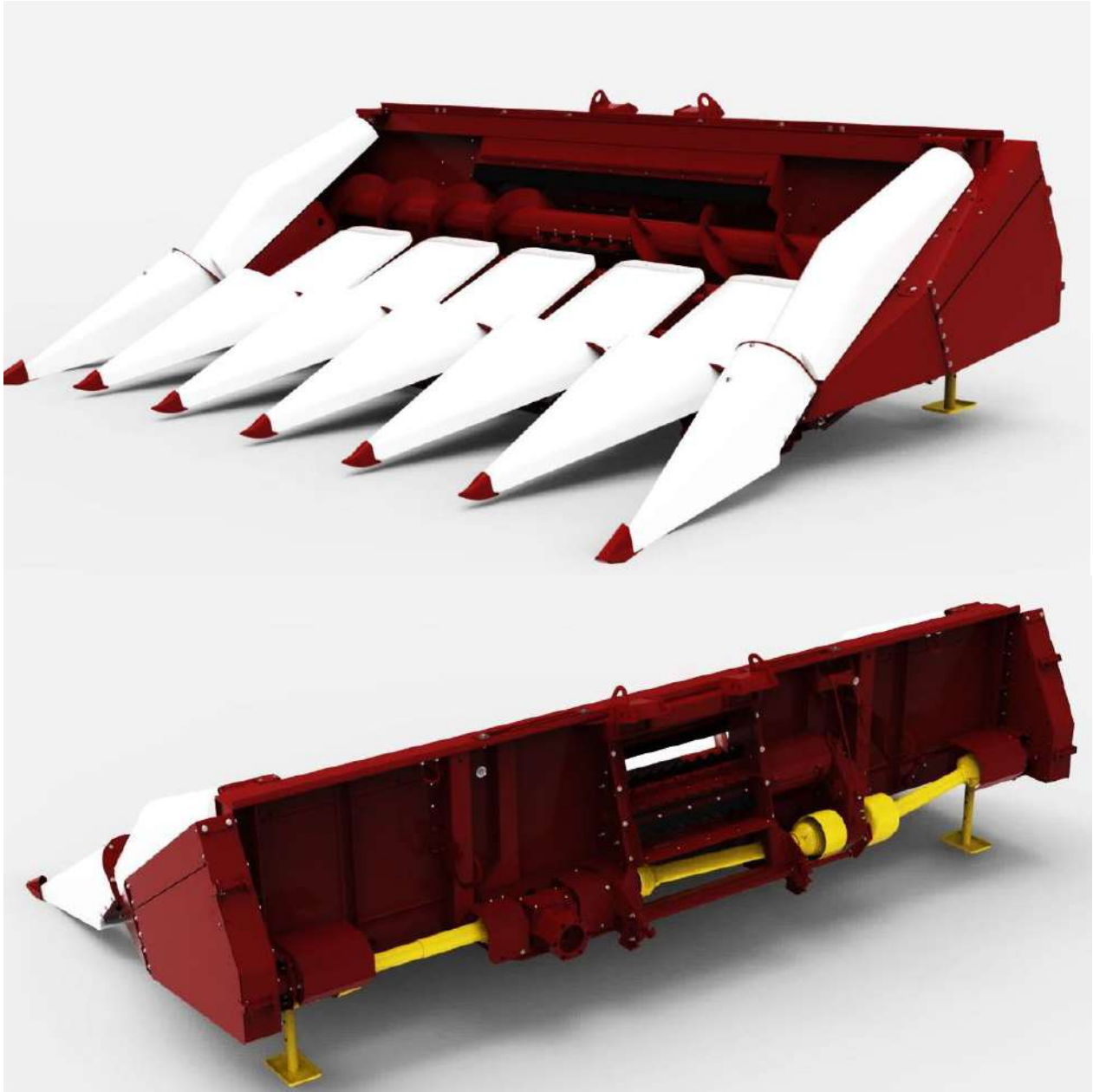


Рис. 1 - Общий вид 6-рядной жатки для уборки корняжа.

В рабочем положении угол наклона передней стенки питающего аппарата кормоуборочного комбайна КВК-800 значительно отличается от угла наклона передней стенки наклонной камеры зерноуборочного комбайна. С целью сохранения угла атаки жатки неизменным, был разработан адаптер, являющийся связующим звеном между жаткой для уборки кукурузы на зерно и самоходным измельчителем. На адаптере имеются элементы подсоединения к жатке и механизм навески на самоходный измельчитель.

Для устранения мертвой зоны между шнеком жатки и вальцами питающего аппарата, в адаптере установлен дополнительный валец.

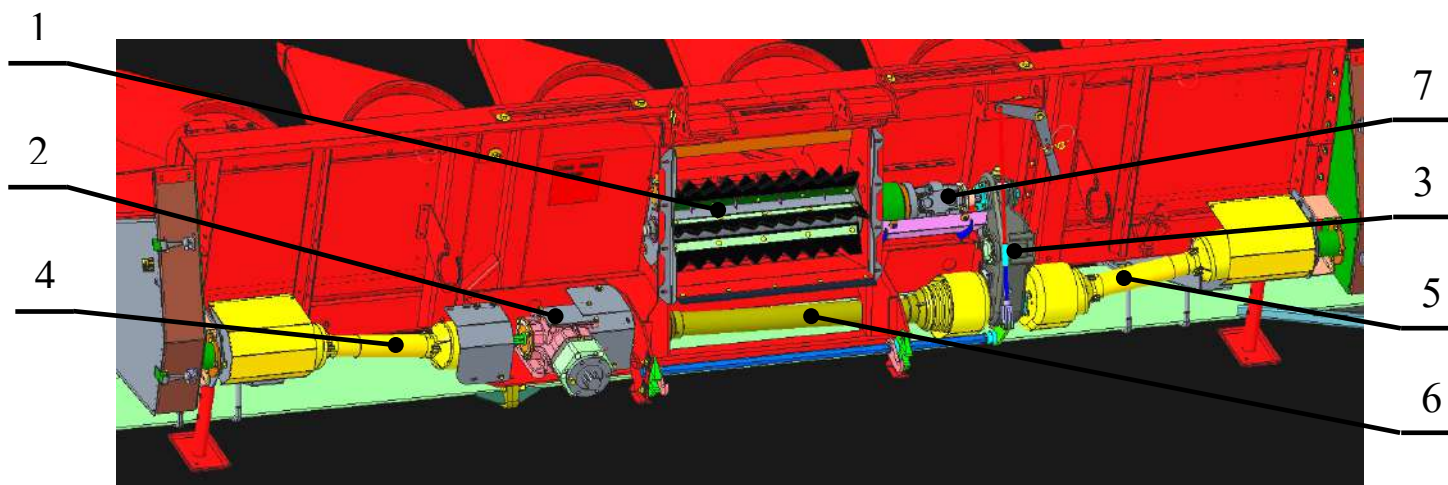


Рис. 2 - Привод вальца адаптера:

1 – валец, 2 – редуктор конический, 3 – редуктор цилиндрический, 4, 5, 6 – валы карданные, 7 – шарнир карданный.

Привод жатки осуществляется от ВОМ самоходного измельчителя на конический редуктор адаптера, далее карданными валами на приводы рабочих органов, установленные на боковинах жатки. (Рисунок 2). Привод вальца производится через цилиндрический редуктор и карданный и шарнир.

Жатка имеет высокую степень унификации с жатками для уборки кукурузы на зерно серийно выпускаемыми холдингом ОАО «Гомсельмаш».

УДК 631.8:631.5

РАЗРАБОТКА МНОГОТОНАЖНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ФЕРМ-КОМПЛЕКСОВ

В.Н. Перевозников, Д.А. Жвырблевский, И.В. Канашков
ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»,
г. Бобруйск, Республика Беларусь

В основе мясомолочного животноводства Республики Беларусь реализовано направление на круглогодичное содержание поголовья в условиях укрупнения ферм-комплексов, которое сопряжено с увеличением объемов накопления побочного продукта - навоза, как органического удобрения. Значение последнего возрастает с увеличением стоимости минеральных удобрений. Поэтому недостатки в сфере организации оборота получаемого навоза на практике приводят к созданию сбитых технологических процессов, преследующих порой элементарную утилизацию, а в конечном результате, усугубляют агрономические, ветеринарные и экологические задачи в противовес экономической выгоде. В связи с этим постоянно ведется поиск новых технологических схем, а так же конструкций машин и механизмов, рационально осуществляющих производственный цикл накопления и внесения навоза с ферм-комплексов.

ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» с учетом результатов многолетних опытно-конструкторских работ реализовало проект по разработке машин для внесения органических удобрений с грузоподъемностью от 16 до 24 т [1]. Созданный модельный ряд полуприцепных транспортно-технологических машин характеризуется наличием унифицированных ходовых систем [2] и съемных адаптеров с рабочей шириной внесения от 8 до 12 м (табл. 1), расширяющих спектр хозяйственного использования навоза, имеющего различные физико-механические свойства.

По основным параметрам разработанные многотоннажные машины не уступают лучшим зарубежным аналогам ведущих фирм, например, «Bergmann» (Германия) и «Joskin» (Бельгия).

Объем реализации машин с 2018г. составил 598 шт. на сумму 14 451,4 тыс. долл.США.

Затраты труда на внесение органических удобрений новыми машинами в сравнении с базовыми сократились примерно до 67 %, а степень снижения стоимости механизированных работ составила примерно 22 %. Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений – не более 4 лет.

Таблица 1 - Комплекс многотоннажных машин для внесения твердых и жидких органических удобрений

Марка машины	Особенности конструкции
1	2
МГУ-18	двухосная с вертикальным разбрасывающим устройством
МГУ-18-1	двухосная с горизонтальным разбрасывающим устройством
МГУ-20	двухосная с вертикальным разбрасывающим устройством
МГУ-20-1	двухосная с горизонтальным разбрасывающим устройством
МГУ-24	двухосная с вертикальным разбрасывающим устройством
МГУ-24-1	трехосная с горизонтальным разбрасывающим устройством
МГУ-24А	трехосная с вертикальным разбрасывающим устройством
МГУ-24А-1	трехосная с горизонтальным разбрасывающим устройством
МЖУ-16	двухосная для поверхностного внесения с разливом
МЖУ-20	двухосная для поверхностного внесения с разливом
МЖУ-20-1	двухосная для внутрпочвенного внесения
МЖУ-20-2	двухосная для поверхностного ленточного внесения
МЖУ-20А	трехосная для поверхностного внесения с разливом

Таким образом, в результате реализации проекта созданы транспортно-технологические машины, повышающие эффективность внесения твердых органических удобрений различных форм и видов, что позволяет рационально организовать производство продукции в животноводстве и в растениеводстве. Опытно-конструкторские работы выполнены в центре научно-технических разработок ОАО "Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш». Испытания комплекса машин проведены в ГУ "Белорусская МИС" и получены положительные результаты. Освоено серийное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание и внедрение в земледелии и животноводстве Республики Беларусь комплекса многотоннажных машин для транспортировки и внесения органических удобрений. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://bobruiskagromach.com/about/innovation-and-development/kompleks_dlja_organicheskikh_udobrenij/. - Дата доступа: 18.02.2019.
2. Модернизация ходовых систем транспортно-технологических машин и прицепов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://bobruiskagromach.com/about/innovation-and-development/modernizacija_hodovyh_sistem. - Дата доступа: 17.12.2020.

УДК 631.35

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ ДЛЯ ОБОГАЩЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

А.В. Черношей, Д.В. Рыков, С.Н. Астапович
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Одним из традиционных направлений растениеводства в Республике Беларусь является производство картофеля. К числу наиболее актуальных задач в картофелеводстве относится освоение адаптивных, ресурсосберегающих технологий выращивания и уборки высококачественного картофеля для конкретных целей его использования. В связи с этим крупные и средние предприятия по возделыванию картофеля для уменьшения сроков уборки и снижения энергозатрат, в условиях постоянного повышения цен на топливо, используют комплекс машин при интенсивной технологии уборки. Интенсивная технология уборки картофеля предполагает использование при работе высокопроизводительных картофелеуборочных комбайнов совместно с более простыми картофелекопателями. Сдваивание рядков по схеме: 2+2, а при небольшой урожайности - 2+4 позволяет значительно экономить топливо и увеличить производительность уборки на 30-40% [1].

Целью работы являлось создание оптимальной конструкции картофелекопателя, на основе анализа существующих конструкций. Создание картофелекопателя позволит расширить линейку выпускаемой ОАО «Гомсельмаш» картофелеуборочной техники и использовать высокопроизводительные комбайны КПБ-2, КПБ-260-2 при интенсивной технологии уборки для уменьшения энергозатрат, не неся при этом потерь по производительности в момент уборки урожая.

Проведенный анализ конструкций существующих картофелекопателей от мировых производителей [2,3] выявил ряд недостатков конструкции, таких как невысокое качество сепарации картофельного вороха, необходимость небольшой подачи вороха для распределения массы, использование картофелекопателей только при конкретных условиях уборки.

Научно-техническим центром комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», на основании анализа, с учетом опыта мировых производителей картофелеуборочной техники и опыта собственных разработок, была создана конструкция первого в линейке выпускаемой холдингом ОАО «Гомсельмаш» техники, картофелекопатель КВП-2 (рис.1), агрегируемый с тракторами класса 1,4.

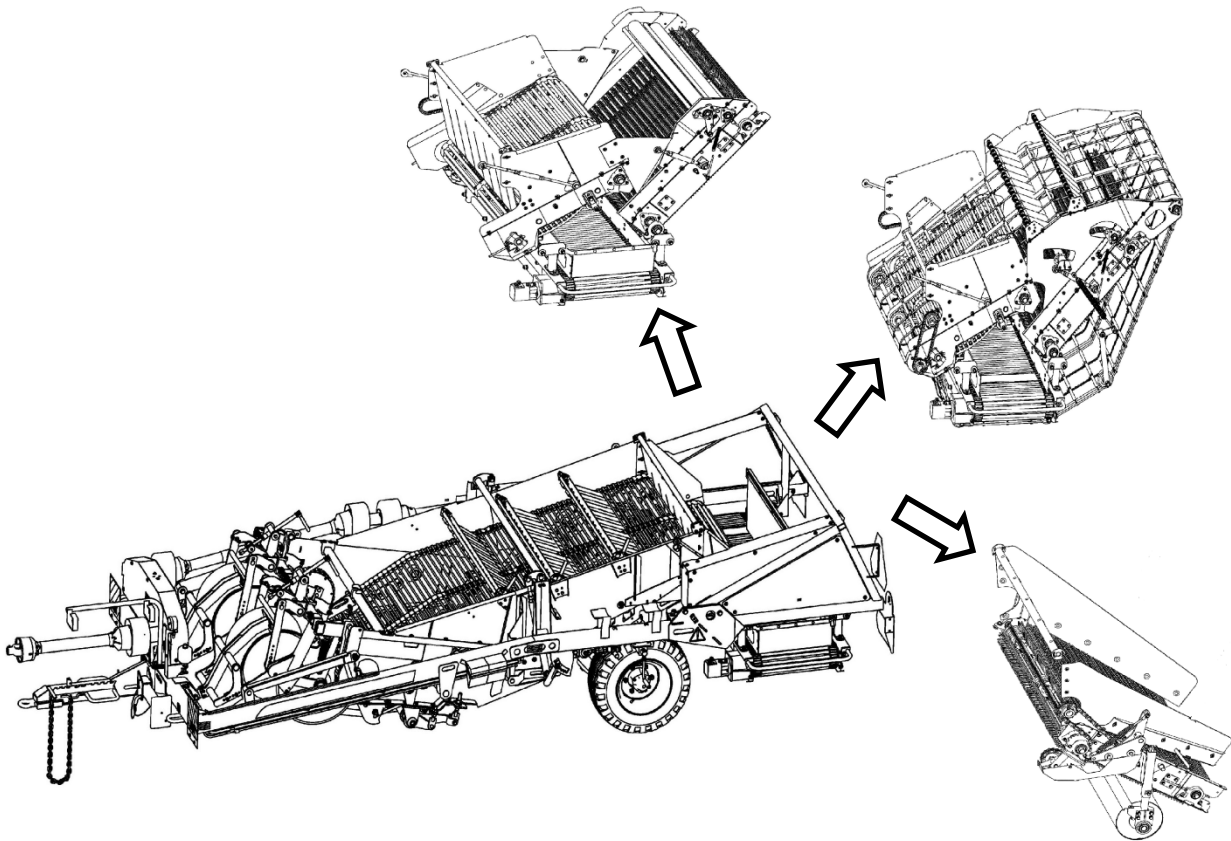


Рис.1 - Картофелекопатель КВП-2

Картофелекопатель выполнен по блочно-модульному принципу и состоит из переменных модулей, позволяющий собирать различные модели картофелекопателя, в зависимости от агрофона и необходимых условий уборки картофеля. Конструкция картофелекопателя, включает в себя основные необходимые узлы, входящие в базовый блок и набор переменных модулей для составления необходимого исполнения последнего.

При выполнении технологического процесса, картофелекопателем копирующие катки движутся по гребням, пассивные диски, подрезая края борозды, направляют пласт почвы с картофельным ворохом на подкапывающий лемех и далее для сепарации на первый просеивающий транспортер. С первого просеивающего транспортера очищенный от земли ворох поступает на соответствующий модуль: без очистки картофеля от сорняка, с очисткой картофеля от остатков мелкого сорняка, с очисткой картофеля от сорняка и ботвы, с укладкой картофеля в соседнее междурядье или за картофелекопателем на предварительно прикатанную катком почву.

Разработанная конструкция картофелекопателя с комбинированным приводом от гидросистемы и ВОМ трактора блочно-модульного принципа позволило снизить затраты на производство и формировать состав копателя по желанию заказчика, в зависимости от агротехники уборки. По предварительной оценке стоимость картофелекопателя КВП-2 значительно ниже по сравнению с ближайшим аналогом WR 200 фирмы «GRIMME».

ЛИТЕРАТУРА

1. Белорусское сельское хозяйство: Ежемесячный научно-практический аграрный журнал/ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. - Минск, 2002-2019г. № 12 (212)
2. Многорядный картофелекопатель: RU 2039422 С1, МПК⁶ А 01D 21/00/ Б. Нивенор [DE]; заявитель Maschinenfabrik Nivöner GmbH унд Ко, К. Г. [DE], №4831538/15; заявл. 30.10.1990; опубл. 20.07.1995.
3. Навесная универсальная картофелеуборочная машина-сепаратор: RU 2004109 С1, МПК⁶ А 01D 33/08 / Д.А. Сорокин, Г.Д. Петров, И.А. Ермаков; заявитель Всероссийский НИИ сельхозмашиностроения им. В.П. Горячкина № 5008134/15; заявл. 11.11.1991; опубл. 15.12.1993 (прототип).

УДК 621.74; 621.792; 621.88

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ШЛАКОВ ПРИ СОЗДАНИИ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ

М.Л. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Известно, что стоимость готового изделия напрямую зависит от стоимости оснастки требуемой на его изготовление и времени затраченного на данный процесс. Как следствие, в случае создания мелкосерийных партий изделий типа втулка, получаемые методом литья в землю или кокильным литьем, стоимость оснастки сопоставима со стоимостью материала, из которого она изготовлена (как правило, это древесина или МДФ). При производстве крупногабаритных изделий, типа корпус редуктора, требуется более сложная, например скелетная [1] оснастка.

Для удешевления процесса создания моделей и промоделей была предложена технология склейки пористых или пено-пористых материалов на основе шлака алюминия. Данная технология позволяет использовать рециркуляцию отходов алюминия в результате литейного производства для создания модельных комплектов совмещенных с пластичными массами. Как известно, масса, свойства комплекта и его стойкость взаимосвязаны в технологическом процессе. При разработке скелетных модельных комплектов были учтены особенности использования вторичных металлических материалов и технологии создания из них основы модели. Однако при креплении пористого тела со сплошным материалом, либо пористого тела к пористому телу, узлы контакта минимизируются, что ведет в дальнейшем к низким механическим свойствам получаемых изделий.

В результате проведенных исследований было выявлено, что применение шлакоподобных масс может занять свою нишу при производстве модельных комплектов для мелко-серийного производства. Была исследована возможность улучшения прочностных свойств соединения за счет изменения способа нанесения клеевого состава с помощью изменения морфологии поверхностного слоя. В результате, поверхностный слой подвергли механической обработке на токарном станке. При этом происходило выравнивание поверхности с образованием сглаженного поверхностного слоя за счет шаржирования продуктов износа обрабатываемой среды в поры. Обработывалась группа пористых образцов с размером пор от 0,40 до 0,63 мм (рис. 1).

После вышеуказанной обработки все группы образцов адгезивных соединений подвергали испытаниям на разрыв. Было выявлено, что наблюдается тенденция, показывающая, что наименьшую разрывную

прочность показывают образцы с наименьшим размером пор. Данный результат может быть объяснен капиллярными эффектами, которые наподобие губки впитывают клей в середину образца оставляя сухой его поверхность.

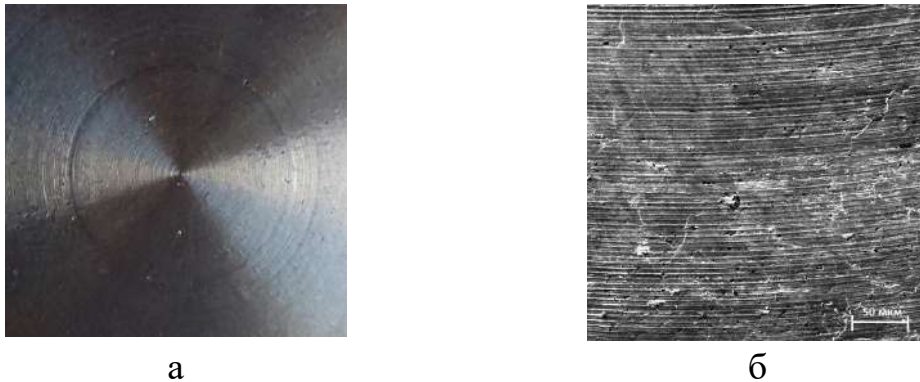


Рис. 1 - Поверхность образца пористого титана с размером фракций порошка 0,4–0,63 мм, подвергнутая механической обработке: а – общий вид поверхности образца; б – образец при увеличении $\times 65$

Таким образом, механическая подготовка поверхности пористых тел перед скреплением, позволяет повысить прочность соединения с 6,5 МПа для не обработанной поверхности и до 13,5 МПа после токарного шаржирования [2]. В заключение, необходимо отметить, что традиционными методами обезжиривания и механического шлифования (зашкуривания), нанесение на поверхность специального слоя не решаются всех проблемы, связанные с креплением пористых тел. Токарное шаржирование, в свою очередь, обеспечивает:

- увеличение когезионных свойств поверхности подложки, т. к. покрытие позволяет закрыть поры и трещины, присутствующие на поверхности скрепляемых тел;
- увеличение адгезионной прочности покрытий за счет механического сцепления и физико-химического взаимодействия с поверхностью;
- стабилизацию характеристик металлических поверхностей, например, чувствительности к коррозии и иным воздействиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальтер, А.М. Основы литейного производства: учебник / А.И. Вальтер, А.А. Протопопов. – Москва; Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. – 332 с.
2. Калиниченко, В.А. Новые методы крепления пористых и компактных материалов на основе титана / В.А. Калиниченко, М.Л. Калиниченко, А.Н. Григорчик // Веснік Гродз. дзярж. унів. імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка; редкол.: А.Д. Король (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: Веснік Гродз. дзярж. унів. імя Янкі Купалы, 2015. – № 1(198). – С. 24–30.

УДК 631.3-1/-9

ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

К. А. Грабок, К.Ю. Козусев

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

В настоящее время все больше производителей сельскохозяйственной техники оснащает свои машины гусеничными и полугусеничными движителями с резиноармированными гусеницами. Использование техники на гусеничном ходу позволяет повысить ее проходимость, а также снизить уплотняющее воздействие на почву, что позволяет повысить сохранность почвы после прохода техники.

Для бесперебойного выполнения технологического процесса сельскохозяйственной техникой, оснащенной гусеничным движителем, он должен обеспечивать высокую проходимость по грунтам с низкой несущей способностью, иметь высокий КПД, малый вес и габариты при достаточной прочности, долговечности и надежности, иметь простую и технологичную конструкцию, позволяющую обслуживать и ремонтировать машину в полевых условиях, иметь минимум регулировок и эксплуатационного обслуживания, а также обеспечивать минимальное негативное воздействие на почву. Для выполнения указанных требований при проектировании гусеничного движителя необходимо учитывать его конструктивные особенности и их влияние на указанные выше требования.

Так, обеспечение проходимости на грунтах с низкой несущей способностью зависит, прежде всего, от величины среднего удельного давления на грунт [1]:

$$q_{cp} = \frac{G}{2 \cdot L \cdot b}, \quad (1)$$

где G – вес машины;

L – длина опорной поверхности движителя;

b – ширина гусеницы.

Большинство сельскохозяйственных машин имеют $q_{cp} \approx 0,04 \dots 0,06$ МПа. При больших значениях q_{cp} наступает резкое снижение несущей способности грунта и проходимости машины. Как видно из соотношения (1) снижение среднего удельного давления достигается за счет изменения длины опорной поверхности гусеничного движителя и ширины гусеницы, что необходимо учитывать при выборе типоразмера гусеничной ленты и компоновке элементов гусеничной тележки.

Эпюра оптимального распределения усредненных удельных давлений на грунт должна иметь вид прямоугольника (рис. 1). При этом проходимость машины зависит от распределения истинных давлений на грунт по длине гусеницы и от степени его неравномерности.

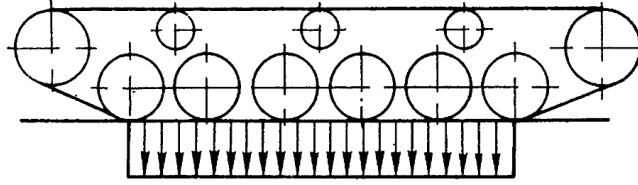


Рис. 1 – Эпюра оптимального распределения усредненных удельных давлений

На величину давлений, а так же на их степень равномерности распределения влияет как диаметр опорных катков и их число, так и в целом компоновка элементов гусеничной тележки, тип подвески, а также тип используемой гусеницы, так как при движении по мягкому грунту часть нагрузки воспринимается гусеничной лентой между катками. Так гусеничный движитель с металлической гусеницей будет иметь более равномерную эпюру распределения давлений по длине опорной поверхности, в отличие от движителя с резиноармированной гусеницей в силу ее изгибной податливости. В тоже время согласно исследованию колеи гусеничного движителя с резиноармированными гусеницами сплошная лента гусеницы выдавливает переувлажненную почву только по бокам гусеницы, чем создает гидростатическое давление в почве, которое и удерживает гусеничную машину от заглобления в почву [2].

Оценить влияние компоновки машины и гусеничного движителя с резиноармированной гусеницей на эпюру распределения напряжений в почве (рис. 2) можно по экспериментальным данным, полученным в ходе комплексной оценки зерноуборочных комбайнов GS-812C и Vector 450 Track на уборке сои в амурской области в 2011 году [3]. Данные зерноуборочные комбайны используют резиноармированные гусеницы одной ширины, при этом в конструкции гусеничной тележки GS-812C использована двухбалансирная система подвески, а в Vector 450 Track многобалансирная. Также согласно результатам развесовки комбайн GS-812C имеет большее, в сравнении с Vector 450 Track, смещение центра тяжести от оптимального значения.

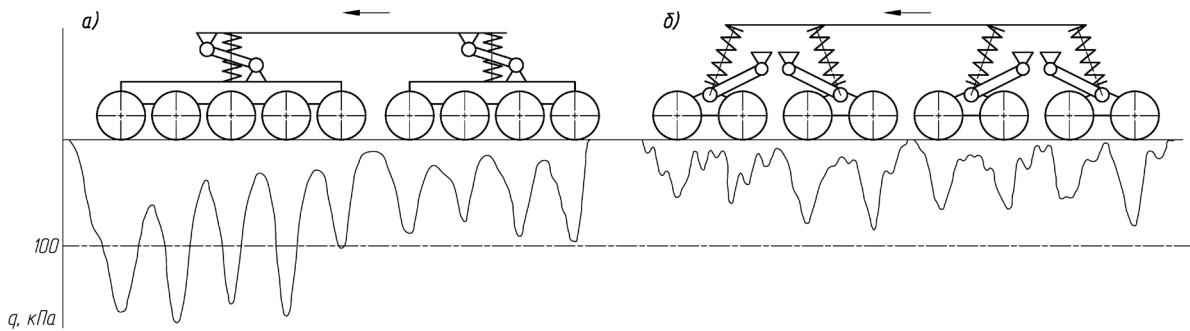


Рис. 2 – Эпюры распределения напряжений в почве на глубине 50...60 мм под воздействием комбайнов на резиноармированных гусеницах:
a – GS-812C; **б** – Vector 450 Track

Согласно проведенной оценке комбайны GS-812C и Vector 450 Track соответствуют требованиям ГОСТ 26955-86 и не оказывают значительного уплотняющего воздействия на почву, но, как видно из рис. 2, применение упругой многобалансирной подвески и компоновка машины с оптимальным расположением центра тяжести позволяет снизить давление и негативное воздействие на почву, а также повысить проходимость машины.

Дальнейшее развитие конструкции гусеничного движителя должно быть направлено на снижение уплотняющего воздействия на почву, повышение тяговых качеств и улучшение условий труда механизатора. Наиболее перспективным в этом направлении на начальном этапе видится использование на гусеничной технике резиноармированных гусениц взамен металлических. Использование резиноармированных гусениц позволяет повысить проходимость машины, исключить повреждение дорог и почвы, уменьшить вибронегруженность и шум, снизить трудоемкость технического обслуживания ходовой системы [4]. Также в качестве перспективного направления можно выделить работы по автоматизации процесса изменения свойств гусеничного движителя в зависимости от текущих условий эксплуатации машины, например, автоматизации создания, поддержания и изменения усилия натяжения гусениц амортизационно-натяжным устройством [5]. Амортизационно-натяжное устройство в значительной степени влияет на устойчивость работы гусеничного обвода и надежность гусеничного движителя в целом, так как обеспечивает удержание гусеницы от выхода из зацепления с опорными и направляющими колесами и ведущими звездочками, минимизирует значения амплитуд колебания ветвей гусеницы и предотвращает многократные перегрузки гусениц при перематывании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и конструирование гусеничных машин. Носов Н.А., Галышев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П. Л., «Машиностроение», 1972 г.
2. Механико-технологические основы взаимодействия гусеничных движителей кормоуборочных машин с переувлажненной пойменной почвой. Лпаик В.П. Автореферат, Брянск – 2015.
3. Экспериментальная оценка воздействия на почву зерноуборочных комбайнов на резиновых гусеницах на уборке сои в Амурской области. Липкань А.В., Самсонов Р.Е., ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии.
4. Переуплотнение почв – один из важнейших факторов ее деградации. Канделя М.В., Канделя Н.М., Земляк В.Л., Бумбар И.В., Дальневосточный аграрный вестник. 2019. №3(51).
5. Гидрофицированное амортизационно-натяжное устройство с автоматизированной системой управления для гусеничных ходовых систем тракторов. Федоткин Р.С., Крючков В.А., Овчаренко А.С., Богданов К.А., Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2018. Т.18, №4. С. 17-28.

УДК 621.389

ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН И ОБЗОР НОВИНОК КОМПАНИИ BOSCH REXROTH В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ

Е.С. Филончик

ООО «Линтера ТехСервис», г. Минск, Республика Беларусь

Современные тенденции в области сельского хозяйства вынуждают производителей сельхозмашин на внедрение всё более технологичных решений в свою продукцию, что в свою очередь, стимулирует производителей электронных компонентов и решений на создание инновационных продуктов. Компания Bosch Rexroth является мировым лидером в области производства мобильной гидравлики и электроники.

Одна из инноваций компании Bosch Rexroth – модуль приёма/передачи данных RCU (Рис. 1). Данный модуль позволяет, как собирать статистику сельскохозяйственной машины и передавать её на удалённый сервер, так и являться «командным» модулем в её системе управления, что является основным шагом, в создании беспилотной машины.

Коммуникация

		RCU3-1	RCU4-3	Технические характеристики
Мобильная сеть	2G	●	●	GSM (2G) / GPRS (2.5G) / EDGE
	3G	●	●	WCDMA up to DC HSPA+ / TD-SCDMA
	4G	●	●	LTE FDD/TDD Cat1
GNSS		●	●	GPS, Glonass, Galileo, Beidou, GZSS, SBAS
WIFI			●	
Bluetooth 4.2			●	Bluetooth/ BLE
CAN		1x	3x	
Ethernet			●	Ethernet 10/100
RS232		3x	3x	
RS485			●	
K-LINE			2x	
USB			●	USB 2.0 с классом защиты IP67
Внешняя антенна		●	●	Отсутствует внутренняя антенна
Вход «зажигание»		●	●	
Цифровой ввод/вывод		8 / 8	8 / 8	
Аналоговые входы		4	4	
Сертификация		●	●	EUR, NAM, AUS, EU28, CN, NO (другие по запросу)



Рис. 1 Модуль RCU

Обработка

Защита	IP67
Корпус	150 x 135 x 58 мм; 400г; пластик, армированный стекловолокном
Штекер	35-контактный автомобильный разъем TE; антенна: FAKRA
Температура	От -40°C до +85°C окруж.среды

Механика

Процессор	Cortex A8, 800 MHz; 512 MB DDR3, 1GB NAND Flash Остаточная память для дополнительных приложений 800 МБ Flash, 450 МБ RAM
Операционная система	Linux Kernel 4.4.19; система файлов Debian
Акселерометр	Трехосевой акселерометр с настраиваемыми диапазонами ± 2 г / ± 4 г / ± 8 г / ± 16 г и чувствительностью 1 мг / 2 мг / 4 мг / 12 мг соответственно
Слот для карт памяти MicroSD	В наличии
Электропитание	Линейное напряжение 9В – 48В

Устройства типа RCU поставляются с базовым программным обеспечением и обеспечивают безопасное управление благодаря решениям по управлению устройствами от Bosch Connected Industries. Базовое программное обеспечение функционирует на базе операционной системы Linux, а также используется специальный механизм управления устройствами Rexroth. Он поддерживает простую, безопасную и транзакционную установку программного обеспечения (ПО), также обновление ПО от компании Bosch Rexroth или же индивидуального ПО заказчика. Комплект для разработки программного обеспечения позволяет клиентам разрабатывать собственное функциональное программное обеспечение на устройстве RCU. Касательно управления устройствами от Bosch Connected Industries, то оно поддерживает прошивку и параметризацию системы, а также считывание рабочих значений и сообщений об ошибках в модулях шины CAN.

Основные преимущества модуля RCU:

- Обработка информации из шины CAN и возможность передачи её по различным каналам, а также на удалённый сервер через мобильную сеть 2G/3G/4G.
- Базовое программное обеспечение на базе Linux, что обеспечивает гибкость в написании дополнительного ПО в модуль.
- Управление базовым программным обеспечением происходит через собственное облачное хранилище компании Bosch Rexroth - Bosch Connected Industries, что обеспечивает высокую «взломоустойчивость».
- Возможность пересылки данных с модуля RCU на сторонние сервисы заказчика.
- Наличие встроенной памяти, позволяющие использовать RCU в качестве «черного ящика».

Радиолокационные системы идеально подходят для мониторинга ближнего и дальнего диапазона на мобильных машинах. Они прочные и функционально надежные в суровых условиях окружающей среды, таких как туман, сильный дождь и снег. Радиолокационные системы Bosch Rexroth оптимизированы для обнаружения объектов в условиях бездорожья и предоставляют операторам информацию о расстоянии, положении или относительной скорости обнаруженных целей или объектов. Две антенны, антенна ближнего и дальнего действия в датчиках, обеспечивают изменчивость поля зрения датчика. В целом, радарные системы Bosch Rexroth идеальны в качестве вспомогательных систем для предотвращения столкновений и контроля полосы движения на мобильных машинах.

Вторым инновационным продуктом компании Bosch Rexroth, являются датчики радарного типа **Bosch OHW**. Для получения более подробной информации об окружающей среде в поле зрения датчик OHW группирует отражения цели от объектов, а также использует алгоритмы интеллектуального фильтра, предотвращающие помехи из-за отражений от земли.

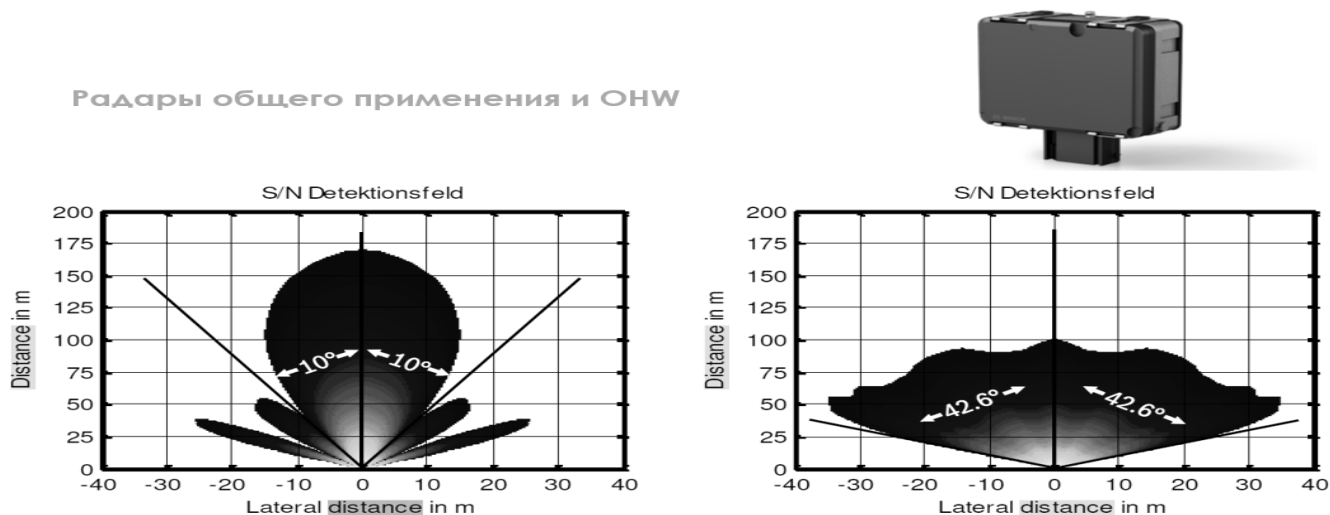


Рис. 2 - Области видимости датчика Bosch OHW

Основные преимущества датчиков OHW:

- Обработка информации до 40 объектов в поле зрения, включая информацию об их расстоянии, угле и относительной скорости для дальнейшей интерпретации.
- Слежение за объектами на расстоянии до 160 метров.
- Обнаружение слепоты датчика для обеспечения надежной работы.
- Конфигурация датчика позволяет выбирать: осуществлять мониторинг зон или выдавать точное положение объектов.

Радарные датчик Bosch OHW

Сравнение:

	Датчик общего назначения	Датчик OHW
Горизонтальное поле обзора и измерение расстояния	Антенна дальнего радиуса действия: $\pm 6.0^\circ$ [160м] - $\pm 10.0^\circ$ [60м] Антенна ближнего радиуса действия: $\pm 42.6^\circ$ [29м] - $\pm 21.0^\circ$ [78м]	Антенна дальнего радиуса действия: -7.5 to 5.5° [160 m] Антенна ближнего радиуса действия: -4.0 to 11.0° [50 m]
Вертикальное поле обзора и измерение расстояния		
Класс защиты	IP 6K6K, IP 6k7, IP 6K9K	IP 6K6K, IP 6k7, IP 6K9K
Источник электропитания		7 – 18 В
Интерфейс	ISO 11898	ISO 11898, J1939
Средство RCV	●	●
Изменяемая скорость CAN	●	●
Sample Tool OneCVT	●	●
BODAS Service 4.0 App	—	●
Мониторинг зоны	—	● 1-25 зоны
Вывод данных	48 заданных точек	40 объектов
Назначение приоритетн. точек	—	●
Отслеживание объекта	—	● Поперечное ● продольное
Фильтр отражения от земли	—	●
Обнаружение ослеплённости	—	●



Рис. 3 - Технические данные датчика Bosch OHW

Ещё одной новинкой компании Bosch Rexroth, является готовая к установке ультразвуковая система **BODAS USS**.



Рис. 4 - Контроллер системы BODAS USS



Рис. 5 - Ультразвуковые датчики системы BODAS USS

Данная система состоит из готового набора: несколько ультразвуковых датчиков вместе с контроллером управления. Также данное решение предлагает в рамках системы BODAS компактное, надежное, высококачественное и гибкое решение для предупреждения о столкновениях и обнаружения объектов. BODAS USS подходит для широкого спектра мобильных машин, а также для другого оборудования, такого как подъемные платформы, опрыскиватели, трактора, комбайны. Система обеспечивает большой комфорт и функциональность, а также снижает риск повреждений и травм. Данная система диагностируется и настраивается в среде BODAS Service, что позволяет без труда диагностировать её удалённо, через модуль RCU.

Основные преимущества системы BODAS USS:

- Измерение расстояния до 5,5 м с высокой точностью
- Готовая к установке система по технологии «Plug & Play»
- Две реализации разъёма – прямой и под 90 градусов.
- Высокий класс защиты - IPX9K
- Компактный дизайн.

Ультразвуковая сенсорная система BODAS USS

Сравнение:	USS OHW Entry 12B	USS OHW Entry ^{SOP Q4/2021}	USS OHW Premium ^{SOP Q4/2021}
Измеряемое расстояние		мин: 15 см макс: 550 см	
Поле обзора		вертикально: ± 35° @3dB горизонтально: ± 70° @3dB	
Настройка датчика		Изменяемое количество датчиков (4, 6, 8, 12)	
Класс защиты ЭЛЕКТ. УСТР-ва управления / датчика	IP5K2 / IP6k9k	IP69k / IP6k9k	IP69k / IP6k9k
Источник электропитания	12 В	12 В - 24 В	12 В - 24 В
Интерфейс	CAN ISO 11898 [500 кбит/с]	CAN ISO 11898, J1939	CAN ISO 11898, J1939
Скорость CAN	фиксированная	выбираемая	выбираемая
Выбор шаблоны сигнала	●	●	●
Фильтр чувствительности	●	●	●
Фильтр расстояния	●	●	●
Ультразвуковая визуализация	●	●	●
Совмест. с BODAS service 4.0	●	●	●
Эхо сигналы – расстояние	● (3+1 расстояния)	● (2+1 расстояния)	● (2+1 расстояния)
Локализация объекта	—	—	●

УДК 631.354.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ И СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМБАЙНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО САМОХОДНОГО «ESSIL КЗС-730»

П.Г. Иванченко¹, О.В. Моисеенко², Н.А. Баганов³

¹КФ ТОО «НПЦ агроинженерии», г. Алматы, Республика Казахстан

²Костанайский инженерно-экономический университет
имени М. Дулатова, г. Костанай, Республика Казахстан

³ФГБОУ ВО Ставропольский государственный университет,
г. Ставрополь, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены результаты приемочных и сертификационных испытаний комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730».

Ключевые слова: комбайн зерноуборочный самоходный, приемочные и сертификационные испытания, прямое комбайнирование, техническая характеристика.

Приемочные и сертификационные испытания комбайна зерноуборочного самоходного проводились на полях ТОО «Acker kz» Абайского района Карагандинской области на прямом комбайнировании (рис. 1). Целью испытаний была оценка эффективности применения комбайна зерноуборочного самоходного на уборке зерновых культур в зоне Северного и Центрального Казахстана для решения вопроса применения в Республике Казахстан.



Рис. 1 – Комбайн зерноуборочный «ESSIL КЗС-730»
с жаткой ЖЗК-5-2 в работе (вид спереди слева)

При проведении приемочных и сертификационных испытаний комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730» на уборке зерновых культур определялись агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели, оценка надежности и безопасности.

Оценка условий проведения приемочных и сертификационных испытаний проводилась в соответствии с ГОСТ 20915 [1]. Оценка агротехнических показателей проводилась в соответствии с ГОСТ 28301 [2]. Энергетическая оценка проводилась в соответствии с ГОСТ Р 52777 [3]. Энергетическая оценка проводилась одновременно с оценкой агротехнических показателей. Эксплуатационно-технологическая оценка проводилась в соответствии с ГОСТ Р 52778 [4]. Оценка надежности проводилась согласно СТО АИСТ 2.8, СТО АИСТ 2.9 и СТО АИСТ 2.10 [5, 6, 7]. Оценка безопасности проводилась согласно ТР ТС 010/2011, ГОСТ 12.2.002-91 [8, 9]. Экономическая оценка проводилась согласно СТ РК ГОСТ Р 53056 [10].

В таблице 1 представлена краткая техническая характеристика комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730».

Таблица 1 – Краткая техническая характеристика

Показатель	Значение показателя
Марка двигателя	Д 260.4
Номинальная мощность, кВт (л/с)	154,4 (209,9)
Ширина молотилки, мм	1200
Вместимость бункера, м ³	4,5
Диаметр барабана, мм	800
Площадь подбарабанья, м ²	1,10
Площадь сепарации, м ² (клавиши)	4,92
Общая площадь очистки, м ²	3,86
Площадь верхнего решета, включая колосовую надставку и удлинитель стрясной доски, м ²	2,07
Площадь нижнего решета, м ²	1,79
Рабочая скорость, паспорт/факт, км/ч	до 8/10
Масса комбайна, кг	13300

Условия проведения приемочных и сертификационных испытаний комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730» приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Условия проведения приемочных и сертификационных испытаний

Показатель	Значение показателя	
	при агротехнической оценке	при эксплуатационно-технологической оценке
Вид работ	Прямое комбайнирование	
Культура, сорт	Пшеница «Омская 36»	Пшеница «Омская 36»
Состав агрегата:	«ESSIL КЗС-730» + «ЖЗК-5-2»	«ESSIL КЗС-730» + «ЖЗК-5-2»
Спелость культуры, %	100	100
Урожайность зерна:		
- средняя, ц/га	17,6	16,7
- коэффициент вариации, %	3,3	6,2
Отношение массы зерна к массе соломы над фактической высотой среза	1:1,2	1:1,1
Масса 1000 зерен, г	31,0	32,3
Влажность, %		
- зерна	12,2	12,2
- соломы	9,3	9,3
Высота растений, м	0,49	0,48
Густота растений, шт/м ²	248	216
Полеглость растений, %	5,0	5,0
Засоренность сорняками, %	1,5	3,6
Рельеф	Ровный	Ровный
Уклон поля, град.	2	3
Влажность почвы, %	6,9	9,4
Твердость почвы, МПа	2,5	2,3
Засоренность почвы камнями, шт/м ²	0	0

Приемочные и сертификационные испытания проводились в условиях, являющихся типичными для хозяйств, расположенных в зерносеющих районах Северного и Центрального Казахстана. Урожайность составляла от 7,8 до 17,6 ц/га.

Агротехнические показатели при лабораторно - полевых испытаниях комбайна «ESSIL КЗС-730» на прямом комбайнировании представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Агротехнические показатели

Показатель	Значение показателя			
	по ТУ	по испытываемой машине		
		опыт 1	опыт 2	опыт 3
Режим работы:				
Рабочая скорость движения, км/ч	Не более 8,0	6,0	8,0	10,0
Рабочая ширина захвата жатки, м	Нет данных	4,80	4,76	4,74
Высота среза, см				
- установочная	5,5...19,5	10,00	10,0	10,0
- средняя фактическая	Нет данных	10,0	11,0	12,0
- ср. квадр.откл, ±	То же	3,0	3,0	3,0
- неравномерн. высоты среза, %		8,0	9,0	10,0
Потери за жаткой, всего, %	Не более 0,50	0,30	0,40	0,49
в том числе:				
- свободным зерном	Нет данных	0,14	0,16	0,18
- зерном в срезанных колосьях	То же	0,16	0,24	0,31
Подача, кг/с	Нет данных	3,10	4,09	5,25
Подача приведенная, кг/с	5,0	2,82	3,73	4,77
Подача соломы на соломотряс, кг/с	Нет данных	1,35	1,78	2,29
Подача вороха на очистку, кг/с	То же	1,75	2,31	2,96
Потери зерна за молотилкой, %	Не более 1,50	1,29	1,35	1,43
Потери зерна распылом, %	Нет данных	0,15	0,15	0,15
Суммарные потери зерна за молотилкой, %	То же	1,44	1,50	1,58
Суммарные потери зерна за комбайном, %	Не более 2,00	1,74	1,90	2,07
Качество зерна из бункера комбайна, %				
- дробление зерна	Не более 2,00	1,56	1,56	1,56
- сорная примесь	Не более 3,00	1,37	1,37	1,37

Агротехническая оценка комбайна «ESSIL КЗС-730» на прямом комбайнировании проводилась на скоростях движения 6,0; 8,0 и 10,0 км/ч, при этом загрузка молотилки составила 56; 75 и 95 % соответственно.

Потери зерна за комбайном составили 1,74; 1,90 и 2,07 % соответственно.

Пропускная способность молотилки комбайна «ESSIL КЗС-730» на прямом комбайнировании, при уровне потерь зерна за молотилкой 1,5%, согласно ТУ, составила 5,8 кг/с в соответствии с рис. 2, при этом производительность по зерну составила 9,5 т/ч.

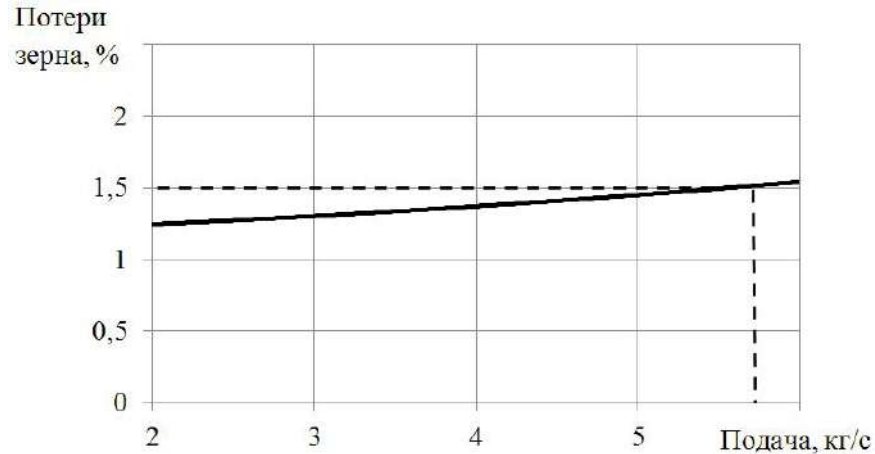


Рис. 2 – Зависимость потерь зерна от подачи растительной массы

Энергетические показатели комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730» представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Энергетические показатели

Показатель	Значение показателя			
	по ТУ	по результатам испытаний		
		опыт 1	опыт 2	опыт 3
Режим работы:				
- рабочая скорость движения, км/ч	Не более 8,0	6,0	8,0	10,0
- рабочая ширина захвата, м	Нет данных	4,80	4,76	4,74
- производительность за время основной работы, т/ч га/ч	То же -«-	5,1 2,9	6,7 3,8	8,3 4,7
- расход топлива за время основной работы, кг/ч	-«-	14,8	19,4	24,1
Энергетические показатели:				
- потребляемая мощность, кВт	-«-	74,7	98,0	121,7
- мощность на привод рабочих органов машины, кВт	-«-	29,8	38,3	44,8
- мощность, затрачиваемая на самопередвижение, кВт	-«-	44,9	59,7	76,9
- удельные энергозатраты, МДж/т МДж/га	-«- -«-	52,7 92,7	52,7 92,8	52,8 93,2

Энергетическая оценка комбайна «ESSIL КЗС-730» с двигателем Д 260.4 производилась на прямом комбайнировании, при урожайности 17,6

ц/га, на скоростях движения от 6,0 до 10,0 км/ч, расход топлива за время основной работы изменялся от 14,8 до 24,1 кг/ч.

Потребляемая мощность двигателя изменялась от 74,7 до 121,7 кВт, при этом двигатель работал стабильно и обеспечивалась нормальная работа всех узлов комбайна.

Эксплуатационно-технологические показатели комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730» представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Эксплуатационно-технологические показатели

Показатель	Значение показателя	
	по ТУ	испытываемая машина
Вид работ	Прямое комбайнирование	Прямое комбайнирование
Режим работы:		
- рабочая скорость движения, км/ч	Не более 8,0	9,0
- рабочая ширина захвата жатки, м	Нет данных	4,7
Эксплуатационные показатели:		
а) подача, кг/с	То же	4,3
б) производительность за 1 ч времени:		
- основного, га	-«-	4,2
т	-«-	7,4
- сменного, га	-«-	3,2
т	-«-	5,6
- эксплуатационного, га	-«-	3,2
т	-«-	5,6
в) удельный расход топлива, кг/га	-«-	5,1
кг/т	-«-	2,9
г) количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:		
- надежности технологического процесса	Не менее 0,98	0,99
- использования сменного времени	Не менее 0,65	0,76
- использования эксплуатационного времени	Нет данных	0,76
Показатели качества технологического процесса		
Суммарные потери зерна за комбайном, %	Не более 2,00	1,95
В том числе:		
- за молотилкой	Не более 1,50	1,48
- за жаткой	Не более 0,50	0,47
Дробление зерна, %	Не более 2,00	1,61
Содержание сорной примеси, %	Не более 3,00	1,42

Эксплуатационно-технологическая оценка комбайна «ESSIL КЗС-730» проводилась на прямом комбайнировании, при урожайности 16,7 ц/га, на средней скорости движения 9,0 км/ч. Данная скорость обеспечивала подачу хлебной массы – 4,3 кг/с. Производительность за 1 ч основного времени составила 7,4 тонн. Удельный расход топлива на одну тонну зерна составил 2,9 кг.

Общая наработка комбайна «ESSIL КЗС-730» за период испытаний составила 126 ч. основного времени. За этот период отмечен один отказа II группы сложности, наработка на отказ II группы сложности составила 126 ч. Данный показатель сопоставим с аналогичными показателями надежности лучших аналогов дальнего и ближнего зарубежья.

Фактические значения показателей параметров безопасности комбайна зерноуборочного самоходного «ESSIL КЗС-730» соответствуют требованиям безопасности и эргономичности Технического регламента ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».

В результате расчета прямые эксплуатационные затраты составили 2570 тенге/га.

Наибольший удельный вес в структуре эксплуатационных затрат занимают затраты на амортизационные отчисления, ТО и ремонт. Затраты труда составили 0,31 чел.-ч/га при производительности за 1 ч сменного времени 3,2 га.

Вывод. Испытательной лабораторией КФ ТОО «КазНИИМЭСХ» комбайн зерноуборочный самоходный «ESSIL КЗС-730» рекомендован к применению на уборке зерновых культур на прямом комбайнировании в Республике Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2013. – 23 с.
2. ГОСТ 28301-2007. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – Минск: Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2007. – 53 с.
3. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008 – 12 с.
4. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. – 24 с.
5. СТО АИСТ 2.8-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Методы оценки показателей. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008 – 48 с.

6. СТО АИСТ 2.9-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Оценка приспособленности к техническому обслуживанию. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008 – 20 с.

7. СТО АИСТ 2.10-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Методы оценки приспособленности к ремонту. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008 – 25 с.

8 ТР ТС 010/2011. О безопасности машин и оборудования. Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011, №823.

9 ГОСТ 12.2.002-91. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – М.: ИПК «Издание стандартов», 1997 – 60 с.

10. СТ РК ГОСТ Р 53056-2010. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Астана: Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан, 2010. – 26 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секционные доклады

Секция № 1 «Тенденции и направления развития уборочной техники и научно-техническое сотрудничество»

ПРОДВИЖЕНИЕ НА РЫНКАХ ПРОДУКЦИИ ХОЛДИНГА «ГОМ-СЕЛЬМАШ» С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ КОММУНИКАЦИИ С.В. Михолап, Д.Е. Муляр.....	3
КАРТИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В.В. Гусаров.....	6
ИННОВАЦИИ В ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ ФИРМ CLAAS И РОТСЕЛЬМАШ А.В. Клочков, В.В. Гусаров, И. В. Гусаров.....	10
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК И.В. Матвейкин, И.В. Попов, А.Н. Кондрашов.....	13
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ А.В. Клочков, В.В. Гусаров.....	15
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВУОКСИ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ Н.Н. Федосенко, Н.Ф. Соловей, Н.А. Алешкевич, А.С. Шантыко, Е.А. Кулеш, А.Г. Бердиев.....	17
ПОДБОР ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПРИСАДОК К ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ Ф.А. Григорьев, А.А. Грапов, Д.М. Гуцев, И.Н. Ковалева, Н.К. Мышкин.....	19
К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ВИБРАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН С КОЛЕБЛЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ Д.А. Дубовик, Н.П. Першукевич, А.Н. Вырский, А.С. Шантыко.....	21
ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКОЙ ЗЕРНА В.А. Хатанзейский, А.Л. Бирюков, С.В. Гайдидей, Н.И. Кузнецова.....	23

ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	
Л.П. Долгий, А.М. Михальцов, И.В. Рафальский, П.Е. Лущик, И.Г. Раков, А.Д. Руленков	25
ОСОБЕННОСТИ ОКРАШИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В СТРАНАХ СНГ	
Р.В. Лущик, А.В. Пчельников	27
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ	
Д.М. Гуцев, Ф.А. Григорьев, А.А. Грапов	30
ПРИМЕНЕНИЕ 3-D ПЕЧАТИ ПРИ РЕМОНТЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	
М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий.....	32
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
В. Б. Попов, Г. Г. Кудренко.....	34
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ НОЖЕЙ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ	
В.С. Голубев, И.И. Вегера, В.Е. Ходюш.....	37
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Л.В. Трибушевский, Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, А.В. Арабей.....	41
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПОТОВ КОМБАЙНОВ	
С.В. Шилько, Д.А. Черноус, А.П. Сазанков.....	43
АНТИФРИКЦИОННЫЙ СИЛУМИН – ЗАМЕНИТЕЛЬ БРОНЗ	
Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко.....	44
ОПЫТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ ОЧЕСАННОГО ЗЕРНОВОГО ВОРОХА В НАКЛОННОЙ КАМЕРЕ КОМБАЙНА	
В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин.....	46
КОПИРУЮЩИЙ СТЕБЛЕПОДЪЕМНИК ЖАТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
К.З. Кухмазов, Е.В. Петрова.....	48

ТРАНСПОРТЕР НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ КОМБАЙНОВОЙ ЖАТКИ К.З. Кухмазов, С.Е. Губский.....	53
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЧНОГО ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА Л.П. Долгий, А.В. Калиниченко.....	58
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ВАКУУМНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКОЙ Л.П. Долгий, А.Г. Слуцкий.....	60
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОСИСТЕМ С ОБЪЕМНОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ Е. В. Хазеев, Д. Л. Стасенко, А. А. Гинзбург.....	62
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИПОЕВ ИЗ ОЛОВЯННО-СВИНЦОВОЙ ИЗГАРИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ Г.В. Довнар, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, И.Г. Раков.....	65
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УДАРОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ, ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА В.А. Калиниченко.....	67
ИЗНОСОСТОЙКИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОДШИПНИКИ НА СКОЛЬЖЕНИЯ ОСНОВЕ IN-SITU: ПРИМЕНЕНИЕ И СВОЙСТВА Н.В. Пацовский, С.А. Мацинов, В.А. Калиниченко.....	69
СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВАХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ В.А. Калиниченко, С.А. Мацинов.....	71
РЕМОНТ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ И ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ В.А. Калиниченко, С.А. Мацинов.....	73
НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ LS-СИСТЕМ С КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ А.А. Гинзбург, Ю.А. Андреевц.....	75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ: РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ	
С.А. Тюрин, А.В. Чирков, Ю.В. Карпенко.....	84
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О СИЛОВОЙ СИСТЕМЕ И ЕЕ ПОВРЕЖДЕНИИ	
С.А. Тюрин, Н.Н. Малык, Н.С. Селиверстов.....	86
ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ ОЦЕНКА ИЗНОСОУСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ СИСТЕМ	
С.А. Тюрин, Ю.В. Миранович, Е.П. Панько.....	88
УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НОЖЕЙ КОРМОУБО- РОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ	
П.С. Дробышевский, С.А. Тюрин, Д.С. Чумак.....	90
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПРИСАДОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ ТРИ- БОСОПРЯЖЕНИЙ	
В.Д. Докукин, Е.М. Волнянко, И.В. Царенко.....	92
ПАРАМЕТРЫ И КОМПОНОВКИ МЕХАНИЗМА УРАВНОВЕШИ- ВАНИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ДИЗЕЛЕ ММЗ- 3.6DTI	
А.Е. Лещенко, А.Н. Петрученко.....	94
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИТРИ- ДОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ	
Н.Н. Федосенко, Н.Ф. Соловей, А.С. Шантыко, А.Г. Бердыев, Т.В. Кравчук	96
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА КЛАВИШНОГО СОЛО- МОТРЯСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
Н.Ф. Соловей, Т.В. Кравчук, Н.Н. Белая, Л.А. Мороз.....	98
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ	
А.Г. Слуцкий, А.П. Бежок, М.М. Шокиров, И.А. Касперович, Е.А. Малыш- ко.....	100
ВЫСОКОПЛОТНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ДЕТАЛИ ИЗ ПО- РОШКОВОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПК40МД	
П.Н. Киреев, В.Н. Гучек, Н.В. Кривуленко.....	102
ПУТИ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВОЙ ЖЁСТКОСТИ САЙЛЕНТБЛОКОВ	
Д.А. Дубовик, Н.П. Першукевич, О.А. Баран.....	107

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ СНЕГОЧИСТИТЕЛЯ «АМКОДОР 9531» В СРЕДЕ «FLUIDSIM» Е.В. Хазеев, Д.Л. Стасенко, А.А. Гинзбург, Ю.А. Андреевец.....	109
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЛАКИРОВАНИЯ ВОЛОЧЕНИЕМ Н.В. Иноземцева.....	112
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВУОКСИ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ Н.Н. Федосенко, Н.Ф. Соловей, Н.А. Алешкевич, А.С. Шантыко, Е.А. Кулеш, А.Г. Бердиев.....	114
УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ СТАЛИ 20ХНЗА И ЕЁ ЗАРУБЕЖНОГО АНАЛОГА 16CrMnS5 И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков, А.В. Рабков, М.Е. Буйко, Т.И. Сидоренко, А.М. Коротцов, А.В. Радионов.....	116
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ Н.Ф. Соловей, Д.В. Рехлицкая, В.В. Лаптев, Л.А. Мороз.....	119
ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОМПЛЕКСНОЙ АНИМАЦИИ МОДЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В ПО 3D CAD PTC CREO ВЕРСИЯ 7.0 Н.В. Грудина, С.В. Стельмашонок, В.И. Козлов, И.А. Кольцова.....	121
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЛЕКТОРОМ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ МАССЫ НА ПОЛЕ Д.Н. Иванов, А.Н. Вырский, А.С. Шантыко.....	124
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА СО СДВОЕННЫМИ КОЛЕСАМИ ПРИ ПОВОРОТЕ С.И. Кирилюк, С.А. Шишков, И.Д. Романов	128
ВЕРИФИКАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА ИЗ БУНКЕРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА А.А. Иванова, Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов, А.Н. Вырский.....	131
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РЕАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИЯ 4.0 Н.В. Грудина, В.И. Козлов, И.А. Кольцова.....	136

АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН	
Н.Л. Прокопенко А.Н. Вырский.....	139
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СИЛ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПО ГАРМОНИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ	
А.Н. Кондрашова, Д.В. Джасов, И.А. Баран.....	143
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ САМОХОДНОЙ РИСОВОЙ КОСИЛКИ	
А.А. Калиновский, Ю.В. Чупрынин, А.Я. Машук.....	146
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AMESIM	
Д.В. Джасов, А.А. Калиновский.....	151
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ КЗС-4118	
О.В. Рехлицкий, В.Н. Шкирский.....	154
ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	
В.К. Липская.....	158
ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ	
С.В. Рогов, Е.А. Пикас.....	161
МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
И.А. Баран, А.Н. Вырский, А.Н. Кондрашова.....	163
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	
А.А. Соловьёва.....	165
КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРАКТОРОСТРОЕНИИ	
И.Ю. Левчук.....	167
ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОСТИ ГИДРООБОРУДОВАНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ	
О.В. Рехлицкий, А.Н. Шапоров, В.В. Подрез.....	169

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЙЛЕНТБЛОКОВ	
О.А. Баран, Д.В. Джасов, Н.П. Першукевич, В.И. Прибыльский, А.Н. Малофей	173
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В CREO PARAMETRIC ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОГО ЗАМЫСЛА	
Д.А. Крот.....	176
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКТОРСКИХ ПРОРАБОТОК В СРЕДЕ CREO PARAMETRIC ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С PDM WINDCHILL	
И.А. Кольцова , Д.А. Крот , Н.В. Грудина.....	180
ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВЫХ НИТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-МОДЕЛЕЙ В ХОЛДИНГЕ «ГОМСЕЛЬМАШ»	
И.А. Кольцова, А. В. Браим, Н.В. Грудина.....	185
ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИБЛИОТЕКАМИ WINDCHILL	
Ю.В. Лыгин.....	191
СЕКЦИЯ № 2 «Мобильные энергетические средства, тракторы, прицепные и навесные агрегаты»	
ОЦЕНКА УПРАВЛЯЕМОСТИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, АГРЕГАТИРУЕМОГО С НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ	
В.П. Бойков, В.Б. Попов.....	195
РАСЧЕТ АНТИБЛИКОВОГО ПОКРЫТИЯ ЭКРАНА БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА	
Н.И. Стаськов, Н.Н. Федосенко, А.С. Шантыко, А.Б. Сотский, Е.А. Чудаков, Д.В. Понкратов, Е.А. Кулеш.....	200
ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В СОВРЕМЕННОМ ПЛУГОСТРОЕНИИ	
И.И. Вегера, В.С. Голубев, В.Е. Ходюш, А.П. Левшуков, В.И. Саковский, В.В. Апимашко.....	202
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СОВМЕЩЕННЫЙ СПОСОБ РАЗГРУЗКИ КОВША ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА	
А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова, А.В. Ловникович.....	206
УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН	
А.В. Пулято, Е.Н. Коновалов, В.Б. Попов.....	208

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДИЗЕЛЯ В СРЕДЕ LMS IMAGINE.LAB AMESIM	
А.А. Никишев, А.Н. Петрученко.....	212
ТРЕБОВАНИЯ К ТОРМОЗНЫМ СИСТЕМАМ ТРАКТОРНОГО ПРИЦЕПА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	
Д.А. Дубовик, А.И. Жуковский, Н.В. Калинин, Н.В. Сечкар, О.Н. Обыскалов, Д.Л. Дубовик.....	215
УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДЪЁМНИКА МОНТАЖНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОВОРОТЕ	
Д.А. Дубовик, А.И. Жуковский, Н.В. Калинин, Д.А. Пришивалко, Н.П. Амельченко.....	217
ПОДДЕРЖАНИЕ ПОСТОЯННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ	
Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин.....	219
МЕХАНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ТРАНСПОРТЕРНОГО ТИПА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОПОННОГО ЗЕЛЕННОГО КОРМА	
О. Н. Соколенко, А. Н. Белобаба.....	221
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВПУСКНЫХ КАНАЛОВ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ MMZ-262CNG И ДИЗЕЛЯ Д-262	
А. В. Предко, В. Б. Павлюкевич.....	223
СИНТЕЗ КУЛАЧКА ПРИВОДА ВПУСКНОГО КЛАПАНА ГАЗОПРОШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ MMZ-262CNG	
Р.И. Чура, А.В. Предко.....	225
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТОРМОЗА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА	
М.Ю. Целуев, Д.А. Кисляк.....	227
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВТУЛОЧНО-ПАЛЬЦЕВЫХ МУФТ В КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДОВ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УБОРОЧНЫХ МАШИН	
О.В. Рехлицкий, А.А. Дакука, А.Н. Тумаров.....	229
ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ МАШИН ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ В АГРЕГАТЕ С МИНИ-ТРАКТОРОМ	
А.Г. Вабищевич, Н.Д. Янцов, П.В. Авраменко, И.В. Зенько.....	233
ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПОТОЧНОЙ ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН	
А.Я. Машук, Ю.В. Чупрынин, А.А. Калиновский.....	236

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН Д. И. Бурлаков.....	239
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ СМЕННЫХ ЛИСТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ А.В. Громько, С.Н. Муха, В.В. Лаптев.....	241
ШАГОВЫЙ ПРИВОД В УПРАВЛЕНИИ СЕКЦИОННЫМИ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯМИ VUCHER HYDRAULICS К.Б. Гаврюшенко.....	246
СОЗДАНИЕ КОНСТРУКЦИИ 6-РЯДНОЙ ЖАТКИ ДЛЯ УБОРКИ КОРНАЖА К КОРМОУБОРОЧНЫМ КОМБАЙНАМ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВО ДАННОГО ВИДА КОРМА Д.Ю. Барсуков.....	249
РАЗРАБОТКА МНОГОТОНАЖНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ФЕРМ-КОМПЛЕКСОВ В.Н. Перевозников, Д.А. Жвырблевский, И.В. Канашков.....	253
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ ДЛЯ ОБОГАЩЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ А.В. Черношей, Д.В. Рыков, С.Н. Астапович.....	255
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ШЛАКОВ ПРИ СОЗДАНИИ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ М.Л. Калиниченко.....	258
ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ К.А. Грабок, К.Ю. Козусев.....	260
ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН И ОБЗОР НОВИНОК КОМПАНИИ BOSCH REXROTH В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ Е.С. Филончик.....	264
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ И СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМБАЙНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО САМОХОДНОГО «ESSIL КЗС-730» П.Г. Иванченко, О.В. Моисеенко, Н.А. Баганов	268

Для заметок

Научное издание

**5-ая международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии в агропромышленном
комплексе - сегодня и завтра»**

Сборник тезисов докладов

Тезисы докладов изданы в авторской редакции

Оригинал-макет: Качанова А.В. Романьков С.А..

Обложка: Шландыкова Н.И.

Ответственный за выпуск: Ковалева И.Н.

Подписано в печать 14.01.22. Формат издания 60x84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 25,8. Тираж 100 экз. Заказ №. 01-22

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

