# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 631.354.2

# ПРОДУКЦИЯ ГОМСЕЛЬМАШ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

# А.И. Камко ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Сельское хозяйство Республики Беларусь благодаря постоянному вниманию и поддержке руководства страны постепенно наращивает производство. Сегодня агропромышленный комплекс не только обеспечил устойчивое снабжение разнообразными продуктами питания жителей Беларуси, но и за последние годы значительно нарастил свой экспортный потенциал. Экспорт сельскохозяйственной продукции и продуктов питания в 2016 году достиг 5 миллиардов долларов, что составило более 17 % от общего объема экспорта республики.

Намечена и реализуется программа дальнейшего развития агропромышленного комплекса и, в частности, животноводства, которая предусматривает до 2020 года:

- увеличение экспорта сельскохозяйственной продукции до 6,2 млрд. долларов;
- рост объемов поставок на экспорт молока и молокопродуктов до 5,8 млн. т, что в 1,4 раза больше, чем в 2017 году;
- увеличение экспорта мяса и мясопродуктов до 376 тыс. т (рост на 2,7% к 2017 году).

Исторически «Гомсельмаш» все годы своего существования является постоянным и надежным партнером аграриев Республики Беларусь в решении задач по обеспечению кормовой базы животноводства. Полноценное сбалансированное кормление своевременно и качественно заготовленными в летне-осенний период кормами – одна из основных составляющих хороших удоев и привесов. А именно гомсельмашевские машины «ПАЛЕССЕ» обеспечивают сегодня основные объемы заготовки кормов: сена, сенажа и кукурузы, убирают зерновые и зернобобовые, которые впоследствии используются для приготовления кормов для животных и птиц.

Срыв в середине 90-х годов «Ростсельмашем» поставок зерноуборочных комбайнов в Беларусь явился побудительным мотивом организации производства собственных зерноуборочных комбайнов в стране.

Со временем это позволило избавиться от необходимости импорта дорогостоящей зерноуборочной техники в республику и оснастить парк зерноуборочных комбайнов отечественными машинами, а затем и переориентировать на экспорт производство сельскохозяйственной техники, широко известной сегодня под брендом «ПАЛЕССЕ». Импортозамещаю-

щий эффект от организации производства отечественной зерноуборочной техники за эти годы превысил 2 миллиарда долларов США.

До начала действия республиканской программы поддержки АПК Беларуси в 2000 году в парке насчитывалось 17 100 зерноуборочных комбайнов, из них около 70% находилось за пределами нормативного срока эксплуатации. В то время в республике убиралось около 5 млн. тонн зерновых. Из-за изношенности парка машин уборка зерновых затягивалась, при этом нагрузка на один комбайн составляла около 150 га и убиралось в среднем одним комбайном всего лишь около 300 тонн зерна за сезон.

Благодаря принципиальной позиции Президента Республики Беларусь А.Г. Лукашенко и Правительства в республике с 2001 года начала действовать Республиканская программа оснащения современной сельско-хозяйственной техникой с приоритетом закупки особо сложной и дорогой техники, к которой относятся комбайны.

За время действия данной программы сельхозпредприятиям Республики Беларусь было поставлено около 13 600 зерноуборочных комбайнов отечественного производства, что позволило сократить сроки уборки урожая в большинстве регионов до 20 дней. Постепенно, увеличивая урожайность зерновых культур, валовой сбор зерна достиг 9,5 млн. тонн, при этом нагрузка на комбайн увеличилась в 1,5 раза (около 230 га на один комбайн).

Исходя из нормативной нагрузки на один комбайн и сложившегося среднегодового размера посевных площадей в республике, технологическая потребность в зерноуборочной технике составляет минимум 12 500 комбайнов. Имеющийся численный и структурный состав комбайнового парка Республики Беларусь не обеспечивает проведение уборочных работ в пределах оптимальных нормативных агротехнических сроков (до 14 дней).

Начиная с 2012 года, выбытие комбайнов по причине их списания из-за выработки срока службы и ресурса базовых узлов значительно превышает объемы приобретения хозяйствами новых машин (Рис. 1).



Рис. 1. Динамика поставок зерноуборочных комбайнов ОАО «Гомсельмаш» в Республике Беларусь по схемам продаж

Это привело к тому, что по сравнению с 2011 годом общий парк зерноуборочных комбайнов снизился на 1 500 единиц и по состоянию на 01.06.2017 составил 9 828 машин, т.е. с учетом технологической потребности в зерноуборочных комбайнах (12 500 ед.) хозяйствам республики за период 2011-2016гг. было недопоставлено около 2 700 зерноуборочных комбайнов. Отрицательное влияние этого фактора на результаты деятельности сельскохозяйственных предприятий в ближайшие годы может стать определяющим, поскольку потери продукции вследствие нарушения агротехнических сроков, вызванного недостаточной обеспеченностью и низкой надежностью работы изношенной техники, приведут к резкому снижению эффективности производства.

Дальнейшее снижение количества уборочных машин в парке приведет к негативным и необратимым процессам: старение машин, увеличение нагрузки на рабочие комбайны и, в связи с этим, ускоренный их износ, увеличение сроков уборки и потерь зерна от самоосыпания. С учетом планового списания машин ежегодное обновление парка должно составлять на уровне не ниже 1 500 зерноуборочных комбайнов.

Потребителям республики есть из чего выбирать в продуктовой линейке зерноуборочной техники холдинга «Гомсельмаш» (Рис. 2).



Рис. 2. Модельный ряд зерноуборочных комбайнов

Коллективом холдинга «Гомсельмаш» проводится интенсивная и непрерывная работа по созданию и освоению выпуска новых видов и моделей сельскохозяйственных машин. Также создаются модификации серийных машин для особых условий эксплуатации или обеспечения специальных запросов покупателей.

Новинками зерноуборочной техники, производство которых освоено в 2015 г., являются высокопроизводительные комбайны для уборки хлебов с высокой урожайностью КЗС-1420 (Рис. 3) (пропускная способность 14 кг/с) – с клавишным соломотрясом и КЗС-1624-1 (Рис 4) (пропускная способность 16 кг/с), оснащенный гибридным молотильно-сепарирующим

устройством. Эти машины способны обеспечить высокопроизводительную уборку на полях с урожайностью зерновых 80 -120 ц/га.



Рис. 3. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-1420



Рис. 4. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-1624-1

Безусловными достоинствами комбайнов K3C-1420 и K3C-1624-1 являются высокий уровень автоматизированного управления выполняемыми процессами, просторная эргономичная кабина и комфорт оператора, а также эффективные решения для повышения стабильности работы и сокращения времени на техническое обслуживание (например, оборудование автоматической системой централизованной смазки).

Комбайн КЗС-1624-1 с двигателем мощностью 530 л.с. по производительности занимает верхнюю ступеньку модельного ряда комбайнов «ПАЛЕССЕ». Гибридное молотильно сепарирующее устройство с отлично себя зарекомендовавшей двухбарабанной системой обмолота с предварительным ускорением потока хлебной массы и двухроторным соломосепаратором, с роторами вращающимися во встречных направлениях и неподвижными решетчатыми деками сочетает достоинства барабанного обмолота и роторной сепарации. Комбайн отлично подходит для хозяйств, которые, наряду с зерновыми, в больших объемах убирают кукурузу на зерно.

В следующем году планируется продолжить поставку этих машин, усовершенствованных по результатам эксплуатации в сезоне 2017 года. Одновременно создается второе поколение этого комбайна, которое учитывает растущие запросы хозяйств по внедрению современных интеллектуальных цифровых технологий и имеет ряд других усовершенствований, направленных на повышение комфортабельности.

С этого года потребителям республики предлагается новое поколение комбайна K3C-1218, имеющего улучшенные параметры - K3C-1218A-1 (Рис 5).



Рис. 5. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-1218А-1

В новой модели вместимость бункера увеличена до 9м<sup>3</sup>. Для ускорения выгрузки увлажненных хлебов бункер оснащен вибродном. Пылеотсос на наклонной камере резко снижает запыленность в зоне обзора жатки. Повышена надежность составных частей комбайна, в том числе стрясной доски, наклонной камеры. В наклонной камере применены усиленные транспортерные цепи и гребенки. Двухскоростной соломоизмельчитель позволяет измельчать незерновую часть любых убираемых культур. Комбайн имеет современный дизайн и комфортабельное рабочее место.

У всех в памяти свежи воспоминания об экстремальных условиях уборки зерновых культур и кукурузы на зерно в только что закончившейся уборочной компании. Для обеспечения проходимости по раскисшим почвам потребовались машины повышенной проходимости - на широкопрофильных шинах и желательно с полным приводом колес. И необходимо отметить, что, например, в хозяйствах Витебской области уборку во многих хозяйствах удалось обеспечить благодаря, тому, что еще 6-8 лет тому назад «Гомсельмаш» поставил хозяйствам области около 200 комплектов

широкопрофильных шин к зерноуборочным комбайнам, а также полтора десятка полноприводных комбайнов КЗС-2-1218.

В настоящее время холдингом «Гомсельмаш» проводится работа с хозяйствами областей и Минсельхозпродом по формированию заказа на 2018 год на поставку зерноуборочной техники повышенной проходимости КЗС-2-1218 на широкопрофильных шинах (Рис. 6).



Рис. 6. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-2-1218 И новой модели — гусеничного комбайна КЗС-10С (Рис. 7).



Рис. 7. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10С

В качестве опций на зерноуборочных комбайнах потребителю могут быть предложены: двигатели различных фирм, система автоматической централизованной смазки основных узлов, система устройств для картирования урожайности, система обеспечения точного вождения с использованием спутниковой связи, бортовая информационно-управляющая система с цветным монитором и ряд других опций.

Модельный ряд кормоуборочных комбайнов тоже разнообразен (Рис. 10).

Для крупных животноводческих хозяйств наибольший интерес представляют кормоуборочные комплексы «Полесье-800» с двигателем мощностью 450 л.с. фирмы «Мерседес-Бенц» (Рис. 8).



Рис. 8. Комплекс кормоуборочный высокопроизводительный КВК-800

Также все более востребованы для передовых хозяйств комплексы нового модельного ряда серии 8000 энергонасыщенностью 600 л.с. КВК-8060 (Рис. 9).



Рис. 9. Комплекс кормоуборочный высокопроизводительный КВК-8060-2

Есть что выбрать потребителям и в модельных рядах косилок (Рис. 10), пополнившимся двумя новыми косилками КС-200 и КС-100.

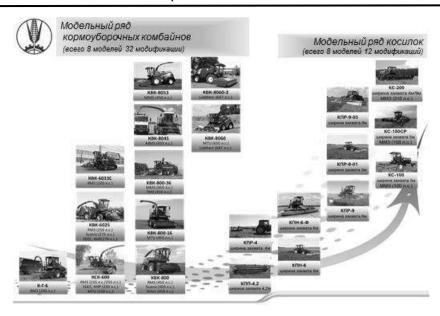


Рис. 10. Модельный ряд кормоуборочных комбайнов и косилок

Есть новинки в модельном ряду картофелеуборочных машин (Рис. 11). Это новая серия двухрядных комбайнов с боковым подкопом КПБ-260.

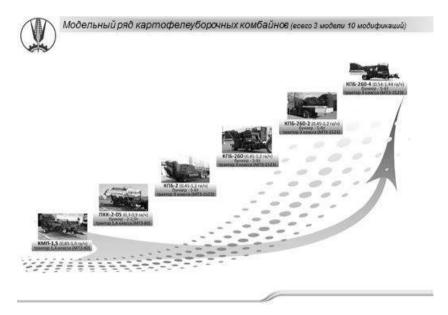


Рис. 11. Модельный ряд картофелеуборочных комбайнов

#### ОАО «Лидагропроммаш»

Во второй половине 2017 года в состав холдинга «Гомсельмаш» влилось новое - предприятие ОАО «Лидагропроммаш», расположенное в городе Лида Гродненской области.

В настоящее время на ОАО «Лидагропроммаш» выпускаются:

- агрегат почвообрабатывающий посевной АПП-6Д;
- серия универсальных пневматических сеялок СПУ с шириной захвата 3, 4 и 6 м для посева зерновых, бобовых, травяных культур и льна;
- сеялки точного высева СТВ-12, СТВ-8, СТВ-6 для посева свеклы, кукурузы;

- сеялка СТВ-8КУ с одновременным внесением удобрений;
- сеялка для внесения удобрений СУ-12-01;
- прицеп тракторный 2ПТС-14;
- грабли ГВБ-6,2;
- опрыскиватель высококлиренсный самоходный ОВС-4224;
- косилка дисковая навесная КДН-3,1;
- косилка модульная ротационная КМР-9ВТ;
- каток луговой КЛ-6.

Новой продукцией, которую освоили в последние годы на ОАО «Лидагропроммаш», является опрыскиватель самоходный ОВС-4224 шириной захвата 24 м и основным баком объемом 4000 л. Таким образом, продуктовая линейка холдинга значительно расширилась.

Удельный вес инновационной продукции в холдинге составляет 34%.

Подводя итог, хочу сказать, что обладая мощным научнотехническим центром и гибкой технологией производства холдинг «Гомсельмаш» ежегодно разрабатывает и ставит на производство новые модели машин, одновременно совершенствуя и расширяя функциональные возможности серийных машин, что позволяет постоянно улучшать и поддерживать их параметры на современном уровне. УДК 631.35

# ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТО-СПОСОБНОСТИ УБОРОЧНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А.С. Шантыко Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь



Рис. 1. Серийно выпускаемая техника ОАО «Гомсельмаш»

Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» (далее НТЦК) специализируется на разработке конструкций сложной наукоемкой сельскохозяйственной уборочной техники. Ранее организация создавала конструкции преимущественно кормоуборочной техники, но начиная с 2003 г. большая часть создаваемых машин и адаптеров к ним связана с зерноуборкой.



Рис. 2. Особенности рынка и тенденции развития техники

#### Особенности рынка и тенденции развития техники

В настоящее время рынки сложной сельскохозяйственной уборочной техники стран СНГ и дальнего зарубежья представлены машинами, предлагаемыми конкурирующими между собой производителями разных стран. Рынки характеризуются широкой по параметрам и возможностям номенклатурой машини их модификаций, что позволяет как можно полнее и качественнее удовлетворить запросы потребителей, с учетом разнообразных почвенно-климатических и хозяйственных условий эксплуатации.

Основной тенденцией в развитии самоходных сельскохозяйственных уборочных машин в течение длительного времени являлось постоянное увеличение производительности, достигаемое увеличением размеров рабочих органов, мощности двигателей и т.п.

Другими устойчивыми тенденциями в развитии и совершенствовании самоходных сельскохозяйственных уборочных машин являются:

- сокращение до минимума потерь;
- обеспечение устойчивости технологического процесса уборки в различных агротехнических и климатических условиях;
  - повышение комфорта оператора и безопасности эксплуатации;
- снижение отрицательного воздействия на почву путем уменьшения удельного давления колес машин на почву, а также внедрения привода на все колеса;
- широкое применение современных систем управления и контроля технологических процессов на базе электронных вычислительных устройств, вплоть до спутниковых систем определения координат машины для подсчета убранных площадей и средней урожайности отдельных участков полей.

	2010 год	2017 год
Krone	1078 п.с.	1078 n.c.
New Holland	768 п.с.	768 n.c.
John Deere	812 <u>n.c</u> .	544 n.c.

Рис. 3. Достигнутый уровень машин по энергонасыщенности на примере кормоуборочных комбайнов

#### Достигнутый уровень машин

На сегодняшний день по многим направлениям из-за действующих ограничений по таким параметрам, как вес машины, ее габаритные размеры, необходимость серьезных изменений инфраструктуры и др., предел производительности уборочных машин уже достигнут или приближается к нему. Кроме того, концептуально конструкции самоходных уборочных машин за последние годы серьезных изменений не претерпевают.

Примером могут служить самоходные кормоуборочные комбайны. В 2010 г. германская фирма «Кроне» организовала производство самого производительного кормоуборочного комбайна ВІС X1100, общей мощностью 1078 л.с., далеко на 200-300 л.с. обойдя по энергонасыщенности конкурентов. С того времени эта фирма не выпускала более энергонасыщенные комбайны. Ведущие фирмы, например, NewHolland и Claas также за этот период не повышали достигнутую мощность двигателей своих комбайнов, а компания JohnDeere даже снизила максимальную мощность своих комбайнов с 812 до 544 л.с.

# Современные методы повышения технического уровня машин

Поэтому весьма актуальными в ближайшей перспективе являются оптимизация параметров рабочих органов машин и выполняемых машинами технологических процессов, наряду с проведением конструкторско-исследовательских поисковых работ с использованием современных методов технического творчества, хорошо зарекомендовавших себя в отечественной и зарубежной практике.

Применение этих методов с использованием программноаппаратных комплексов позволяет повышать производительность без увеличения энергонасыщенности и повышения нагрузки на почву машин при минимальном расходе топлива и потерях.

В настоящее время благодаря работам НТКЦ по виртуальной оптимизации аэродинамических потоков в системе очистки с целью повышения производительности зерноуборочного комбайна, достигнуто повышение его производительности до 40 т/ч при минимальных потерях. Это было бы невозможным без использования специализированных программных пакетов и мощного расчетного сервера.



Рис. 4. Стратегия холдинга «Гомсельмаш»

#### Стратегия холдинга «Гомсельмаш»

Стратегией холдинга «Гомсельмаш» в области создания и производства сельскохозяйственной техники на ближайшую и среднесрочную перспективу предусмотрено наряду с диверсификацией рынков сбыта, расширение номенклатуры создаваемой и реализуемой техники, рост ее конкурентоспособности благодаря повышению технического уровня и наращивание экспортного потенциала продукции.

■ Простои техники, вызываемые необходимостью устранения отказов
 ■ Ограниченный состав испытаний опытных образцов
 ■ Срок доведения количества отказов до оптимального уровня составляет 3-4 года

Рис. 5. Наиболее крупные проблемы

#### Наиболее крупные проблемы

Анализ показывает, что претензии со стороны потребителей к качеству изготовления и надежности новой техники холдинга «Гомсельмаш», на сегодня являются определяющим фактором, ограничивающим спрос на нее. Это связано с тем, что простои сельскохозяйственных машин, вызываемые необходимостью устранения отказов, приносят значительные убытки потребителям из-за потерь продукции, связанных с необходимостью выполнения сельскохозяйственных работ в крайне ограниченные календарные сроки, а также приводят к значительным финансовым затратам на проведение ремонтных и восстановительных работ.

Холдинг «Гомсельмаш» также несет значительные убытки, так как устранение отказов техники, эксплуатируемой в гарантийный период, осуществляется за счет средств самого холдинга.

Только установленная требованиями заказчика надежность и безотказность машин, обеспечиваемая с начала их серийного производства, позволяет сократить затраты на гарантийное обслуживание машин и повысить их конкурентоспособность.

Для выполнения нормативных требований по срокам на разработку конструкции новой или модернизацию серийной техники НТЦК до настоящего времени вынуждено было обходиться проведением ограниченного состава испытаний опытных образцов, из-за кратковременности выполнения полевых работ, связанного с агротехническими особенностями возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, что не позволяет достоверно оценить достигнутый уровень надежности. Этого времени также недостаточно для тщательной доводки конструкции на стадии технической подготовки производства.

Несмотря на налаженную обратную связь между потребителями и производителем, позволяющую оперативно выявлять отказы машин в условиях эксплуатации и устранять их причины, доведение количества отказов машин до оптимального уровня занимает несколько лет с начала их серийного производства. Как показывает практика на тщательную доводку конструкции новой машины после изготовления и испытания опытного образца требуется от 3 до 4 лет с проведением испытаний нескольких опытных образцов машин в различных почвенно-климатических условиях.



Рис. 6. Развитие научно-технического потенциала холдинга

#### Развитие научно-технического потенциала холдинга

Устранение сложившегося противоречия между необходимостью для обеспечения конкурентного преимущества увеличить время на:

- разработку и постановку на производство машин;
- проведение поисковых конструкторско-исследовательских работ;
- многофакторную оптимизацию, как конструкции машин, так и выполняемого ими технологического процесса,

одновременно с необходимостью ускорить выпуск на рынок новых и модернизированных машин, сегодня становится возможным благодаря созданию на базе НТЦК отраслевой лаборатории сельскохозяйственного машиностроения, в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 09.02.2017 №110 и приказом ОАО «Гомсельмаш» от 18.09.2017 № 1034 «О научной деятельности».







Гомельским областным исполнительным комитетом согласован проект по оснащению в 2018 г. материально-технической базы отраспевой паборатории сельскохозяйственного машиностроения специальным оборудованием и программным обеспечением, позволяющим проводить виртуальные исспедования и оптимизацию ряда процессов функционирования и взаимодействия агрегатов проектируемой машины: онапиз статической и динамической прочности несущих конструкций пюбой топологии, кинематический и динамический анализ работы и оттимизацию механических систем, механизмов и трансмиссионных уэлов, компьютерное моделирования технологических и других процессов на основе исспедования движения частиц в сплошной среде, в том числе в оэродинамическом потоке.

- Увегичение объема проработок исспедовании и испытании
- Обеспечение высокого технического уровня машин с начала их серийного производства

Рис. 7. Материально-техническое оснащение лаборатории

# Материально-техническое оснащение лаборатории

Только оснащение конструкторско-исследовательских подразделений и лабораторий современной микропроцессорной вычислительной техникой и специализированными пакетами современного программного обеспечения позволяет резко увеличить объем проработок, исследований и испытаний не натурных, а виртуальных моделей узлов и полнокомплектных конструкций машин с имитацией технологического процесса обработки убираемых растений, различных режимов нагружения рабочих органов и несущей конструкции и различных климатических условий (учитывая возросшее разнообразие рынков и соответственно, климатических условий эксплуатации техники).

Комплекс разработок, исследований и доработок виртуальных моделей машин, основанный на использовании современных информационных технологий позволит проводить круглогодичную имитацию их испытаний, что резко в разы ускорит работы по испытаниям, доводке, повышению технического уровня и конкурентоспособности сельскохозяйственных уборочных машин.

Кроме того обеспечение высокоготехнического уровня машин с начала их серийного производства позволит резко повысить имидж холдинга «Гомсельмаш» в глазах покупателей, более полно удовлетворить спрос на его технику отечественных и зарубежных потребителей, увеличить приток валютных средств от ее реализации за пределами Республики Беларусь.

Первые шаги к этому уже сделаны. Тесное сотрудничество НТЦК с академической и отраслевой наукой позволяет оптимизировать комплексы машин по критериям топливо-, материалоемкости и ресурсоемкости, экономической эффективности и создавать модельные ряды унифицированных машин нового поколения.

Гомельским областным исполнительным комитетом согласован проект по оснащению в 2018 г. материально-технической базы отраслевой лаборатории сельскохозяйственного машиностроения специальным обору-

дованием и программным обеспечением, позволяющим проводить виртуальные исследования и оптимизацию ряда процессов функционирования и взаимодействия агрегатов проектируемой машины: анализ статической и динамической прочности несущих конструкций любой топологии, кинематический и динамический анализ работы и оптимизацию механических систем, механизмов и трансмиссионных узлов, компьютерное моделирование технологических и других процессов на основе исследования движения частиц в сплошной среде, в том числе в аэродинамическом потоке.

Благодаря оснащению лаборатории результатом исследований должно стать получение заданных функциональных характеристик и требуемого уровня надежности разрабатываемой сельскохозяйственной техники без значительных затрат временных и материальных ресурсов.

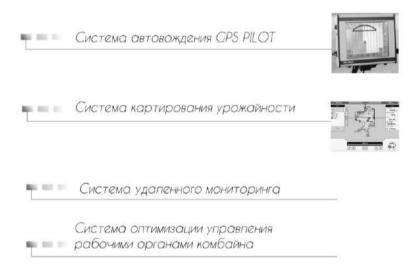


Рис. 8. Системы автоматизации современных комбайнов

# Системы автоматизации современных комбайнов

На сегодняшний день наиболее актуальными и требующими внедрения в конструкции машин в кратчайшие сроки являются следующие системы автоматизации:

Система автовождения GPS PILOT

Система картирования урожайности

Система удаленного мониторинга

Система оптимизации управления рабочими органами комбайна

Система GPS PILOT. Система автовождения, использующая спутниковые сигналы, ведет машину строго по параллельным линиям либо по постоянно повторяющимся контурам. Система позволяет полностью использовать всю ширину захвата и не допускать двойной обработки участков. При этом уменьшаются огрехи и перекрытия, сокращается расход горючего, семян и химических веществ. Появляется возможность вести круглосуточную работу в любую погоду.

Система картирования урожайности — необходимейшая мера для дальнейшей интенсификация сельскохозяйственного производства. Позво-

ляет не только минимизировать вред, наносимый окружающей среде, но и является очень выгодными с экономической точки зрения. Современное земледелие подразумевает обязательное использование информационных технологий с целью качественной интенсификации сельского хозяйства.

Система оптимизации управления рабочими органами комбайна. Оптимизация выполнения технологических процессов требует выполнения комплексов тонких настроек, которые невозможно осуществить вручную. Во время работы уборочных машин в зависимости от агрофона и почвенно-климатических условий для обеспечения максимальной производительности при минимальных расходе топлива и потерях настройки благодаря электронной системе постоянно уточняются и корректируются, делая работу машины максимально эффективной.

Системы удаленного мониторинга - одни из самых инновационных технологий в точном земледелии. Представляют собой механизм автоматического дистанционного сбора и анализа информации и передачи на основе этих данных управляющих команд. Телеметрические системы позволяют улучшить результаты агрегатов, снизить материальные и временные затраты на организацию контроля за работой, сбор, обработку и анализ данных о ходе выполнения технологических процессов.

Системы позволяют осуществлять ежедневный анализ времени работы, (как и когда работала машина) и выявлять источники непроизводительных затрат, например вынужденные простои и слабые места логистики. Оптимизация производительности позволяет сравнивать показатели эффективности нескольких машин в режиме реального времени и вносить необходимые изменения.

Тестирование системы на зерноуборочных комбайнах в Германии и Великобритании показало, что она позволяет сократить период сбора урожая на три дня, повысить производительность машин на 10 процентов, коэффициент использования рабочего времени — на семь процентов, а также сократить затраты не менее чем на 0,5 процента. Эффективность проявляется также в возможности удаленной диагностики, выявлении на ранней стадии узлов и компонентов, нуждающихся в срочном сервисном обслуживании.

Необходимо создавать научно-технические центры, которые станут точками роста этих предприятий, позволяющих им перейти на новый уровень создания техники, технологии и организации производства

Рис. 9. О научно-технических центрах предприятий

#### О научно-технических центрах предприятий

Развитие техники, повышение ее технического уровня сегодня невозможно без проведения углубленных, многоплановых научных исследований в конкретной области. Поэтому на крупных предприятиях отрасли, на основе имеющихся конструкторско-технологических служб необходимо

создавать научно-технические центры, которые станут точками роста этих предприятий, позволяющих им перейти на новый уровень создания техники, технологии и организации производства.

В Республике Бепарусь всемерную поддержку получает развитие информационных технопогий. Считаем, что Министерству промышленности необходимо активно включиться в процесс внедрения информационных технопогий в машиностроительную продукцию.

С этой целью в Республике Беларусь целесообразно создать центр компетентности на базе предприятий эпектронной промышленности и научно-исследовательских институтов. Конструкторские подразделения предприятий отрасли, например, «МТЗ», «БелАЗ», «МАЗ», «Гомсельмаш» могут выступать как компетентные постановщики задач так и пользователями ИТ-продукции.

Рис. 10. О центре компетентности

#### О центре компетентности

В Республике Беларусь всемерную поддержку получает развитие информационных технологий. Считаем, что Министерству промышленности необходимо активно включиться в процесс внедрения информационных технологий в машиностроительную продукцию.

С этой целью в Республике Беларусь целесообразно создать центр компетентности на базе предприятий электронной промышленности и научно-исследовательских институтов. Конструкторские подразделения предприятий отрасли, например, «МТЗ», «БелАЗ», «МАЗ», «Гомсельмаш» могут выступать как компетентные постановщики задач так и пользователями ИТ-продукции.

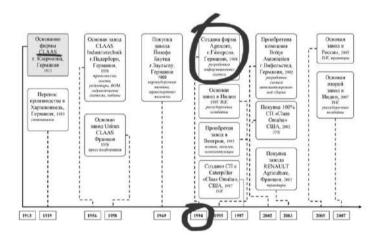


Рис. 10а. О центре компетентности

Положительный зарубежный опыт имеется, например, концерном «Claas» с целью разработки информационных систем для оснащения своей

техники еще в 1994г. в г. Гютерсло (Германия) была создана фирма «Agrocom».

Для создания программного продукта уровня управления производством, востребованного отраслевыми организациями и предприятиями должны привлекаться организации белорусского Парка высоких технологий - одного из крупнейших ИТ-кластеров в Центральной и Восточной Европе.

- Развитие кадрового потенциала
- О закреплении кадров

Рис. 11. О кадровой политике

# О кадровой политике

#### Развитие кадрового потенциала

Важным направлением перспективного развития является создание научных отраслевых школ.

Еще с 90-х годов в подразделениях НТЦК начали формироваться специализированные методические приемы расчета и проектирования элементов и узлов сельскохозяйственных машин. С годами эти подходы развивались и совершенствовались, проверялись на практике и корректировались, превращались в алгоритмы и компьютерные программы.

Некоторые из этих методик уже на сегодняшний день достаточно полно освещены в виде научных публикаций в авторитетных научных изданиях и без сомнения могут считаться первыми кирпичиками в фундаменте Гомельской научной школы сельхозмашиностроения.

Для сохранения, передачи опыта разработки машин и повышения квалификации сотрудников НТЦК планируется ведущим специалистам ввести в обязанность ведение работ по изложению накопленных приемов в виде статей, монографий, методик, алгоритмов и учебных пособий.

#### О закреплении кадров

Уже достаточно долго отмечается тенденция утечки кадровпо мере овладения квалификацией. Поступивший в НТЦК молодой специалист при активной помощи опытных наставников за два-три года повысив свою квалификацию и достигнув уровня, когда он может приносить реальную пользу предприятию увольняется и уходит в структуры с более высокой заработной платой. Основной причиной является несовершенство действующей системы оплаты труда.

Для решения этой проблемы считаем целесообразным на базе действующей тарифной сетки создать многоуровневую систему оплаты труда, учитывающую знания, умения, творческую активность специалистов научно-технических центров.

Указы, директивы по увеличению заработной платы должны касаться не только фундаментальной, но и отраслевой науки и участников процесса создания новой техники.

Необходимо разрешить предоставлять и выдавать ссуды нужным предприятию специалистам для приобретения жилья и дорогостоящего имущества.

С высококвалифицированными специалистами предприятиям следует заключать контракты, по аналогии с принятой в спорте практикой.

Решение задач в области развития инновационных методов повышения конкурентоспособности уборочных машин позволит холдингу «Гомсельмаш» уверенно занять лидирующие позиции на рынках сельско-хозяйственной техники стран СНГ и Дальнего зарубежья.

УДК 631.354, 631.355

# СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА – ОСНОВА ВНЕДРЕНИЯ ИННОВА-ЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

# С.А. Федорович

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

Среди 8-ми важнейших направлений развития науки, обозначенных Президентом Республики Беларусь, как минимум 4 прямым образом связаны с тематикой и задачами нашей сегодняшней конференции.

Первое и важнейшее из направлений- более эффективно соединить науку и производство.

Второе направление - научно-техническое совершенствование агропромышленного комплекса.

Третье направление - развитие IT-технологий в промышленности и в сельскохозяйственном производстве.

Четвертое направление- решение задачи подготовки научных кадров с целью обеспечения единства образования, науки и производства во внедрении инноваций в производство, повышении квалификации и качества подготовки специалистов для промышленных предприятий и научных учреждений.

Подводя итоги достижений в работе аграрно-промышленного комплекса, Глава Государства в докладе отметил (цитирую):

«С опорой на новые, преимущественно отечественные научные технологии решена проблема продовольственной безопасности. Мы стали не только самодостаточной в этом отношении, но и экспортно ориентированной страной (доля экспорта сельхозпродукции и продуктов питания в объеме экспорта товаров в 2016 году составила почти 18%). За десять лет производство продукции села увеличилось на 30%. Это достигнуто благодаря существенному обновлению материально-технической базы, переходу на современные технологии производства и применению новейших научно-технических разработок».

Животноводство и его продукция в свою очередь являются основой для наращивания экспортного потенциала и потребителем многих растениеводческих культур.

Именно развитие этой подотрасли агропромышленного сектора, внедрение в ней новых прогрессивных технологий, связанных с возделыванием и уборкой кормовых культур, зерновых, злаковых и бобовых культур, кукурузы, новых способов заготовки и хранения кормов для животных теснейшим образом связано с деятельностью предприятий холдинга «Гомсельмаш».

Да, можно сказать, что сегодня АПК республики не является основным покупателем техники, производимой предприятиями «Гомсельмаш». Но по многим направлениям сельскохозяйственного производства и достигнутой продуктивности целый ряд белорусских хозяйств(и не только самых передовых) находятся на позициях, не уступающих хозяйствам в странах западной Европы с высокоразвитым сельским хозяйством. И это обстоятельство требует от нас, разработчиков и производителей сельскохозяйственных машин постоянно поддерживать конкурентоспособный уровень техники для удовлетворения постоянно растущих запросов наших аграриев.

Тем более что общемировая тенденция постоянного снижения процента работников, занятых в сельскохозяйственном производстве от общего количества трудоспособного населения в полной мере характерна и для белорусского села.

В настоящее время в Республике Беларусь в сельской местности проживает 2128 тысяч человек, что составляет около 22,5% населения республики, из них около 50 % находятся в нетрудоспособном возрасте. При этом в сельскохозяйственных организациях трудится 314,3 тысяч человек или 8% от числа всех работающих во всех отраслях.

Поэтому с каждым годом все острее растет дефицит квалифицированных механизаторов на селе, при том, что требования к квалификации работников и специалистов в сельском хозяйстве постоянно растут.

Нам, машиностроителям приходится это учитывать при создании новой сельскохозяйственной техники.

Если в краткой форме изложить основные требования, предъявляемые сегодня и в ближайшем будущем к сельскохозяйственным машинам потребителями то это:

- -соответствие требованиям технических регламентов и действующего законодательства;
  - -высокая производительность;
  - -возможность выполнения современных технологий (процессов);
  - -выполнение процесса с высоким качеством;
  - -надежность и сохраняемость;
  - -простота управления и технического обслуживания;
  - -безопасность и комфортабельность для механизатора;
- -оптимальная себестоимость выполнения процесса и стоимость владения.

Современные и вновь создаваемые сельскохозяйственные машины должны быть все более производительными, требующими минимальных затрат на техническое обслуживание и, желательно, не требующими ремонта, по крайней мере трудоемкого. При этом они должны быть более доступными по цене в сравнении с импортными аналогами. Ну и конечно, отечественные машины должны соответствовать общему тренду развития сельскохозяйственной техники в высокоразвитых странах, имеющих воз-

можность инвестировать в свою промышленность и сельское хозяйство многократно большие средства.

А какие это направления развития наглядно продемонстрировала состоявшаяся чуть более месяца назад Международная сельскохозяйственная выставка в Ганновере. Лейтмотивом выставки было широкое представление инноваций в области внедрения в сельскохозяйственное производство и сельскохозяйственное машиностроение цифровых технологий с целью автоматизации и оптимизации различных процессов в аграрной отрасли. Особенно это подчеркивалось в экспозициях ряда немецких фирм. Как отмечалось в пресс-релизе немецкого сельскохозяйственного общества к выставке: «Тенденция в сторону дальнейшей автоматизации процессов в сочетании с умными системами менеджмента данных для оптимизации регулирования и управления машин, логистики, документирования, обеспечения качества и прослеживаемости происхождения прогрессирует в аграрном секторе. По аналогии с Industry 4.0 использование цифровых технологий и объединение производственных цепочек в сети в сельском хозяйстве приобретает все большее значение. Такие понятия как Cloud Computing (использование виртуальных облаков для хранения и обработки данных) и Big Data (применение больших массивов данных) стали повседневными в практике западноевропейских аграриев».

Хотя как, далее показал мониторинг тенденций DLG, внедрение цифровых технологий в немецком сельском хозяйстве все еще находится в самом начале пути. Ответы руководителей хозяйств на вопрос об использовании программного обеспечения в управлении производством были весьма сдержаны. В настоящее время хозяйства регулярно используют передачу данных в консультационные фирмы или в госучреждения с целью подачи заявок. Достаточно широко распространено использование мобильных приложений. Приложения поддерживают руководителя при выполнении ежедневных задач по руководству хозяйством и при этом их можно быстро и просто установить.

Программное же обеспечение из виртуального облака и системы поддержки принятия решений аграрии пока используют сдержанно. Их использование тормозится из-за всё еще недостаточной во многих регионах информационной инфраструктуры, а также из-за сохраняющихся опасений относительно информационной безопасности. Тем не менее, тенденция в сторону дальнейшей автоматизации процессов в сочетании с умными системами менеджмента данных для оптимизации управления и регулирования машин, логистики, документирования, обеспечения качества и прослеживаемости происхождения продукции в сельском хозяйстве постоянно усиливается и предоставляет аграриям новые решения.

И западные производители сельскохозяйственной техники активно работают в направлении оборудования своих машин устройствами и программой, что обеспечивает более широкое использование цифровых технологий покупателями их машин.

Ведущие производители различных машин пошли еще дальше – они объединяют ресурсы и интеллектуальные усилия разработчиков с целью создания унифицированных устройств и типового программного обеспечения с целью их удешевления и создания большего удобства использования этих систем потребителем.

Так, серебряной медалью выставки удостоена разработка AGRI-Router. Это совместная разработка фирмы DKE-Data GmbH&Co.KG с известнейшими производителями сельскохозяйственной техники AGCO International GmbH – Amazonen-WerkeH. Dreyer GmbH&Co.KG Grimme Holding GmbH, HORSCH Maschinen GmbH, Maschinen fabrik Krone Beteiligungs-GmbH – KUHN S.A.LEMKEN GmbH & Co. KGPÖTTINGER Landtechnik GmbH, Rauch Landmaschinen fabrik GmbH – Same Deutz–Fahr Deutschland GmbH.

АGRI-Router является универсальной платформой обмена данных для хозяйств и агросервисных предприятий, которая соединяет машины и программное обеспечение вне зависимости от производителя для упрощения хозяйственных процессов и достижения экономической эффективности. Только пользователь может определять кто, с кем и в течение какого времени может обмениваться информацией. В результате в сотрудничестве с корреспондирующими системами менеджмента хозяйств, все доступные данные впервые собраны вместе. Таким образом, AGRI-Router упрощает для хозяйств первый важный шаг на пути к внедрению цифровых технологий.

Одна из ведущих фирм в области разработки устройств и программного обеспечения для технологий точного земледелия **Trimble** создает новые программируемые мониторы с универсальным интерфейсом, обеспечивающим использование этих мониторов на машинах различных фирм производителей начиная от тракторов с посевными агрегатами до опрыскивателей и уборочных машин.

Так же многие фирмы напряженно работают над созданием систем, облегчающих настройку таких сложных машин, как зерноуборочные комбайны.

Одну из 2-х золотых наград выставки в Ганновере получила компания Claas за разработку первой автономной молотилки для соломотрясных и гибридных зерноуборочных комбайнов. CEMOS Auto Threshing — это электронная система, которая управляет настройками комбайна. Оператор машины может выбрать один из четырех режимов работы: «максимальная производительность», «высокое качество очистки зерна», «минимальный расход топлива и качественная солома», «сбалансированные настройки». В зависимости от выбранного режима система CEMOS Auto Threshing задает скорость барабана и величину зазора между ним и подбарабаньем. Во время работы молотилки настройки постоянно уточняются и корректируются в зависимости от условий работы, делая обмолот максимально эффективным. При необходимости оператор может переключиться на ручной режим. Еще одно преимущество системы Cemos Auto Threshing — специаль-

ный коммуникационный модуль, который позволяет контроллерам отдельных процессов (обмолота, чистки, производительности и других) обмениваться между собой данными.

Одна из 29 серебрянных медалей выставки присуждена компании New Holland Agriculture, Italy за <u>Первую проактивную и автоматическую систему настройки комбайнов</u>

Автоматическая система настройки комбайнов фирмы «New Holland» использует данные по прежним урожаям, по топографии поля и все настройки комбайна на основе позиционных данных GPS для прогнозирования параметров настройки. Вовремя первого прохода новой уборочной кампании система интерполирует данные и быстро реагирует на изменившиеся условия. Проактивная система основана на традиционных датчиках и контрольных системах, они были дополнены новым датчиком давления в системе очистки, который косвенно измеряет нагрузку на сита. Система предлагает комбайнеру три различных стратегии уборки на выбор, а затем комбайн автоматически подбирает оптимальные настройки с использованием накопленных в системе данных.

Фирма «Reichardt» совместно с фирмой «Holmer exxact» получила серебряную медаль за разработку интегрированного программного решения для полной автоматизации поворота свеклоуборочного комбайна на поворотной полосе, включая подъем и опускание копача. Это минимизирует уплотнение почвы и затраты труда. Для этого существующая механическая система управления в рядах и менеджмента на поворотных полосах фирмы «Holmer exxact» была объединена с управляемой на базе GNSS системой фирмы «Reichardt» и впервые установлена на самоходный свеклоуборочный бункерный комбайн.

На видеомониторах и в проспектах ряда ведущих фирм (ZF, Kubota, Case, Fendt) рекламировались прототипы машин с системами дистанционного управления без присутствия оператора на рабочем месте. Фирмы работают в этом направлении с целью облегчения условий труда и автоматизации выполнения различных операций и процессов с использованием цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Казалось бы, учитывая реальное экономическое состояние многих наших сельскохозяйственных организаций, приведенные выше примеры могут выглядеть как футуристические и несвоевременные. Однако для разработчиков машин — это основание для информационной подготовки, поиска партнеров и поставщиков компонентов для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этих направлениях.

Ведь уже сегодня элементы системы точного земледелия, такие как система картирования урожайности, система автовождения с использованием спутниковой связи, различные системы удаленного мониторинга и даже системы оптимизации управления рабочими органами используются передовыми хозяйствами республики Беларусь.

А тенденция, которую мы многократно наблюдали в развитии техники такова, что многие удобные эксклюзивные и поначалу дорогостоя-

щие функции и опции, через небольшое время становятся востребованными и практически стандартными и начинают служить в качестве значительных конкурентных преимуществ.

Поэтому конструкторы ОАО «Гомсельмаш» в сотрудничестве с компаниями из разных стран ведут работу по внедрению на отечественных машинах развивающихся в мировом сельхозмашиностроении технологий. Сегодня при создании конструкции и серийном производстве машин, выпускаемых холдингом, возникают десятки прикладных проблем, к решению которых могли бы быть привлечены ученые академической и вузовской науки. К сожалению, ограниченность финансовых средств позволяет сотрудничать с присутствующими здесь коллегами по достаточно ограниченному кругу вопросов. Тем не менее, мы подтверждаем готовность рассматривать ваши предложения по совместному внедрению инновационных разработок и перспективных технологий, которые вы создаете так же постоянно, как мы разрабатываем новые машины.

С университетами нам также хотелось бы наладить более тесное сотрудничество. Например, у нас существует проблема постоянной нехватки времени на создание 3-D моделей большого количества ранее разработанных на бумажном носителе или в старых двухмерных программах чертежей деталей и сборочных единиц. Эти ДСЕ находятся в серийном производстве и в случае применения на новых машинах необходимо затрачивать значительное время на их создание в современных графических системах. В то же время, это хорошая практика для студентов при изучении чертежных программ. Возможно, это можно выполнять в рамках изучения курса черчения, заменив традиционное черчение на ватмане на выполнение 3-D моделей. Ведь в конструкторском бюро возврата к кульманам не будет уже никогда. А студенты приобретут большую практику в чтении настоящих рабочих заводских чертежей и овладении современными инструментариями проектирования.

Думаю, настало время и нам по примеру немецких фирм объединить усилия по созданию современного единого терминала для бортовых управляюще-информационных систем самоходных машин, тракторов, сложной прицепной техники и максимально унифицированных программ типа ISOBUS, обеспечивающих внедрение современных цифровых технологий в отечественном сельскохозяйственном производстве.

Учитывая острый дефицит квалифицированных программистов в заводских конструкторских бюро на государственном уровне рассмотреть вопрос выполнения работ по созданию новых программных продуктов (по заданиям заводов) специалистами парка высоких технологий с выделением для этих целей средств из инновационных фондов под целевые проекты совместно с заводскими научно-техническими центрами.

Важным является и вопрос разумного и рационального формирования и укрепления материально-технической базы заводских исследовательских лабораторий, центров, опытных производств. Я имею в виду принятие решений о приобретения дорогостоящих, но уникальных, неча-

сто используемых, но периодически крайне необходимых приборов и оборудования. Ведь гораздо разумней и экономически целесообразней выполнять работы с использованием такого оборудования по договорам. Но для этого необходимо иметь единую информационную базу о наличии и возможностях такого оборудования. Интеграция материальных и интеллектуальных ресурсов академических институтов, заводских технических и технологических центров, вузовских лабораторий позволит создавать современную наукоемкую технику на более высоком уровне с меньшими затратами. Положительных примеров такого разумного использования уникального оборудования и успешного взаимодействия с наукой в нашей промышленности много.

Нормативная база по укреплению материальной базы научных организаций (к которым относятся и крупные отраслевые КБ, имеющие такой статус), сегодня не позволяет использовать выделяемые на эти цели средства для приобретения современных рабочих станций с большими объемами оперативной памяти и требуемым быстродействием и лицензионного программного обеспечения с современными графическими и инженерными пакетами. Такое же ограничение касается и современного технологического оборудования для крупных отраслевых КБ, имеющих в своем составе опытное производство. Но именно оснащение отраслевых научных подразделений техническими средствами, позволяющими разработанные модели деталей передавать непосредственно на современные обрабатывающие центры и должны являться ячейками для приобретения навыков и отработки элементов Индустрии 4 с целью их более широкого внедрения в серийное производство.

Процесс эволюции аграрных технологий и сельскохозяйственной техники непрерывен и ускоряется за счет применения новых научных знаний, современных информационных и гибких технологий и оборудования. Поэтому нам в республике так важно наладить взаимовыгодное сотрудничество между предприятиями, институтами и университетами по решению постоянно возникающих перед промышленниками новых задач при создании и производстве новых образцов сельхозмашин.

Эти задачи касаются и создания новых материалов и комплектующих изделий, внедрения упрочняющих технологий, специальных покрытий, новых прогрессивных видов обработки материалов, повышения энергоэффективности технологических процессов, развития цифровых технологий в различных направлениях, обучения специалистов и во многих других сферах деятельности промышленных предприятий.

УДК 621.787+621.7.9

# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ В СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОЕНИИ

П.А. Витязь<sup>1</sup>, В.И. Жорник <sup>2</sup> <sup>1</sup>Президиум НАН Беларуси, <sup>2</sup>ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь

Работоспособность и ресурс машин, в том используемых в агропромышленном комплексе, в значительной степени определяется состоянием и свойствами поверхностей деталей и соединений, а также поверхностными контактными явлениями, протекающими на них. Достижение высокого качества и эксплуатационной надежности машин в сочетании с их более низкой стоимостью, являющихся непременным условием обеспечения высокого и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности машиностроительной продукции, возможно лишь на основе новых наукоемких технологий и научно-технических направлений. К числу таких комплексных направлений можно отнести применение новых материалов с повышенными свойствами и современных методов инженерия поверхности. Инженерия поверхности охватывает собой комплекс научных дисциплин, включающих физикохимию поверхности твердого тела, физикохимию взаимодействия поверхностей с окружающей средой, проектирование поверхностных слоев и управление их свойствами, технологии нанесения покрытий и модифицирования поверхностных слоев, технологии поверхностной механической, термической, химико-термической, термомеханической обработки.

Для создания современной энергонасыщенной и высокопроизводительной техники требуются новые высокопрочные, износо- и коррозионностойкие материалы и покрытия, новые смазочные материалы с повышенной несущей способностью. Эффективным направлением получения материалов и покрытий с высоким уровнем физико-механических, триботехнических, антикоррозионных свойств является формирование в них наноструктурированного состояния. Современные методы получения наноструктурированных материалов и покрытий включают различные технологические приемы: формирование мелкодисперсной структуры в резульинтенсивной деформации; пластической создание дисперснотате упрочненных структур за счет синтеза наноразмерных упрочняющих фаз в матричном материале; спекание нанокомпозиционных порошковых материалов; осаждение нанокомпозиционных покрытий в процессе электрохимической обработки в электролите с наноразмерной дисперсной фазой или ионно-вакуумного распыления композиционных мишеней и др. Физической основой модифицирования материалов и покрытий вводимыми в их состав наноразмерными компонентами является высокий уровень поверхностной энергии последних, что оказывает активное влияние на процессы когезионного и адгезионного взаимодействия элементов нанокомпозиции. Наночастицы могут выступать в качестве дополнительных центров кристаллизации материала и покрытия, изменять условия протекания тепло- и электрофизических процессов при формировании структуры, способствуя ее диспергированию и улучшению физико-механических, триботехнических, антикоррозионных и других характеристик.

Сочетание высокоэффективных методов инженерии поверхности с формированием наноструктурированного состояния поверхностного слоя обеспечивает создание объектов техники с повышенным уровнем потребительских свойств. Важнейшей предпосылкой эффективного применения методов инженерии поверхности является их активирование, обеспечивающее интенсификацию процесса обработки, трансформацию структуры формирующихся слоев, повышение энергоэффективности процесса и т.д. Перспективным направлением инженерии поверхности является создание адаптивных материалов и покрытий, характеризующихся способностью самостоятельно корректировать свои физико-механические, электрофизические, оптические и другие свойства при изменении воздействия окружающей среды. В частности, при использовании материалов с метастабильной структурой, например, сталей с повышенным содержанием остаточного аустенита, в узлах трения под влиянием термодеформационных воздействий в процессе трибоконтактирования проявляется эффект самоупрочнения поверхности трения за счет протекания бездиффузионного  $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения с образованием в поверхностных слоях мартенсита деформашии.

В целях координации научных исследований и технологических разработок в области инженерии поверхности при Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси организован Международный центр инженерии поверхности, в задачи которого, в частности, входит концентрация возможностей и консолидация усилий научных работников и инженерно-технических специалистов различных научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий, нацеленных на разработку новых наноструктурированных материалов и покрытий и создание на их основе современной конкурентоспособной техники.

Использование разработанных наноструктурированных материалов и покрытий, а также методов и средств реализации технологий инженерии поверхности должно быть направлено на повышение технического уровня машин для агропромышленного комплекса, снижение себестоимости их производства и повышение конкурентоспособности.

УДК 621.793.7

# ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ АПК

А.Ф. Ильющенко, М.А. Андреев, Е. Д. Манойло Обособленное хозрасчетное структурное подразделение Институт сварки и защитных покрытий (ОХП ИСЗП), Государственного научного учреждения Институт порошковой металлургии (ГНУ ИПМ), Минск, Беларусь

В процессе работы органы сельскохозяйственных машин подвергаются абразивнокоррозионному износу и ударным нагрузкам. В зависимости от состояния обрабатываемой почвы срок службы различных их деталей составляет от нескольких смен до сезона.

В 2003 году нами разработана технология упрочнения быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающих машин - лап сеялок, газопламенным напылением покрытий порошком самофлюсующегося никелевого сплава. ВРУП «Лидаагропроммаш» создан участок, оснащенный необходимым оборудованием и аппаратурой для напыления и индукционного оплавления покрытий. При толщине слоя покрытия 0,8-1,2 мм такт выпуска деталей составил 25-30 с/шт.

Результаты эксплуатационных испытаний в различных хозяйствах Беларуси, России, Казахстана и Алтайского края показали повышение срока службы сеялок с упрочненными лапами более чем в 4 раза.

В 2008 г. при нашем участии разработана технология упрочнения режущих кромок ножей комбайна КПК-3000ОАО «Гомсельмаш» газопламенным напылением покрытия из самофлюсующегося никелевого сплава, содержащего более 40% WC, с последующим оплавлением токами высокой частоты. Время каждой операции: струйно-абразивной обработки, нанесения слоя толщиной 0,2-0,3 мм покрытия и его оплавления составляет ~ 20 с. На заводе создан специальный участок упрочнения режущих кромок ножей комбайна. В 2014 г. в соответствии с разработанной технологией нанесено покрытие на 20079 шт. деталей.

В Таблице 1 приведен перечень деталей, их количество, материал и размеры слоя покрытия.

Наименование детали Кол-во, шт. Материал Размеры слоя покрытия, мм ширина Длина толщина Сталь51 CrV4 Нож КГС 0150270 467 0,13-0,2  $15\pm 5$ 329 Сталь51 CrV4  $15 \pm 5$ НожКГС 0150270-01 2105 0,13-0,2 329 329 Нож КГС 0150270-02 118 Сталь51 CrV4 0,13-0,2  $15\pm 5$ Сталь51 CrV4 329 Нож КГС 0150270-03 522 0,13-0,2 $15\pm 5$ Нож КПС-4-0513401 11631 Сталь 65 Г 0,13-0,2  $16 \pm 5$ 125 Лопасть КВС-1-0142840 3677 Сталь51 CrV4  $0,3 \pm 0,1$  $25\pm3$ 324 Лопасть КВК 0142260 1248 Сталь51 CrV4  $0,3 \pm 0,1$  $25\pm3$ 246 Лопасть КВК 0142270 Сталь51 CrV4  $0,3 \pm 0,1$ 25±3 311 224

Таблица 1

Из Таблицы 1 видно, что упрочняемые детали отличаются применяемым материалом и размерами слоя напыленного покрытия.

По данным ОАО «Гомсельмаш», результаты эксплуатации комбайнов с упрочненными деталями в различных странах подтвердили повышение срока их службы практически на порядок.

Высокая эффективность использования в условиях производства технологии упрочнения газопламенным напылением с последующим оплавлением ТВЧ деталей почвообрабатывающих машин и кормоуборочных комбайнов, показали возможность расширения применения ее для упрочнения таких деталей как лемех, отвал, долото, полевая доска плуга, лапы культиватора и т.п. Это может обеспечить решение вопроса создания для АПК Республики Беларусь устойчивых технологий упрочнения режущих элементов сельскохозяйственной техники.

В настоящее время нами создано ряд новых технологий нанесения покрытий из порошковых и шнуровых материалов типа «Сфекорд» газопламенными аппаратами высокой мощности(до 100 кВт), которые могут быть использованы для упрочнения и восстановления деталей в агропромышленном комплексе. Они включают:

- газопламенное напыление покрытий из порошков самофлюсующихся никелевых сплав с производительностью 16-18 кг/час, которое может быть использовано на существующем участке ОАО «Гомсельмаш» для упрочнения режущих кромок ножей комбайна КПК-3000 при модернизации индукционного оплавления, что позволит увеличить производительность процесса и качество деталей с покрытием;
- непрерывное газопламенное нанесение покрытий (НГНП) из широкой номенклатуры самофлюсующихся сплавов с твердостью от 25 до 64 HRC и производительностью до 8 кг/час процесс, в соответствии с которым подогрев напыляемой поверхности детали до требуемой температуры, нанесение слоя покрытия и его оплавление производится без перерывов между операциями, одним аппаратом мощностью до 100 кВт, может быть применен для автоматизированного упрочнения деталей комбайнов типа КПК-3000, без применения ТВЧ;
- газопламенное нанесение покрытия из порошков композиционных материалов (полимер с оболочкой из микро или нано частиц оксидной керамики);
- газопламенное напыление оксидно-керамических шнуровых покрытий с аморфной фазой;
- газопламенное напыление покрытий из порошков аморфного материала БХМ (бор-хром-молибден).

Приведенные технологии могут быть использованы для упрочнения - восстановления быстроизнашивающихся поверхностей деталей различных сельхозмашин, обладают новизной и превосходят по эффективности многие другие, используемые в АПК.

УДК 629.366

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬХОЗТРАКТОРОСТРОЕНИЯ

П.А. Амельченко<sup>1</sup>, Д.А. Дубовик<sup>1</sup>, А.В. Ващула<sup>2</sup> <sup>1</sup>ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси», <sup>2</sup>ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция», Минск, Беларусь

В начале XXI века основным мобильным энергетическим средством в сельскохозяйственном производстве, прежде всего в растениеводстве, остается универсально-пропашной трактор (сельскохозяйственный трактор). По мнению авторов [1], колесный трактор будет оставаться основным средством производства сельского хозяйства и в обозримом будущем.

По прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, в 2050 году на Земле будут проживать 9,2 млрд. населения. Общий объем производства продовольствия потребуется увеличить на 70 %, причем в развивающихся странах его необходимо будет удвоить. Спрос на зерновые культуры увеличится более чем в 1,5 раза и достигнет 3 млрд. т, а в случае интенсивного использования их для производства биотоплива спрос на эти культуры может возрасти еще более значительно. Прогнозируемый рост требуемых объемов продовольствия и потребности в средствах его производства делает рынок тракторов для сельского хозяйства одним из наиболее динамично развивающихся рынков.

Для устойчивого присутствия и укрепления своих позиций на рынке ведущие производители тракторной техники наращивают объемы выполняемых НИОКТР [2]. Годовой объем НИОКТР в тракторостроении уже превышает несколько миллиардов долларов США. У одной только корпорации John Deere затраты на научные исследования и разработки достигают миллиарда долларов США в год.

Мировой финансовый кризис 2008 года вызвал падение рынков и обострил конкуренцию между машиностроительными компаниями. Стремясь сохранить свои позиции на рынке и минимизировать падение продаж, ведущие производители активизировали НИОКТР по разработке и внедрению инноваций и ускорить выход на рынок новых моделей тракторов.

Для разработчиков и производителей тракторной техники практический интерес представляет, посредством сочетания каких технических решений обеспечивается конкурентоспособность сельскохозяйственных тракторов, а также направления дальнейшего развития их конструкции.

В ходе выполненных исследований установлено, что главными составляющими количественной оценки эффективности использования и производительности тракторов являются показатели их энергонасыщенности и универсальности. Ключевой характеристикой тракторов сельскохозяйственного назначения является тяговый класс, который характеризует,

прежде всего, энергонасыщенность тракторной техники. Универсальность сельскохозяйственных тракторов характеризуется, главным образом, их максимальными скоростями движения и средними скоростями выполнения транспортных работ.

В основе важнейших направлений развития конструкции сельско-хозяйственных тракторов лежит увеличение производительности, которое осуществляется посредством как повышения энергонасыщенности, так и увеличения универсальности, позволяющей увеличить время непрерывной работы и коэффициент использования трактора.

Повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет увеличения мощности силового агрегата колесных тракторов до 600 л.с., а также дополнения модельных рядов гусеничными тракторами нового технического уровня, близко унифицированными с колесными моделями аналогичной мощности. При этом ведущие производители тракторной техники продолжают интенсивные НИОКР по проработке концепции сельскохозяйственного трактора с двигателем мощностью свыше 500 л.с.

Увеличение универсальности тракторов сопровождается развитием их конструкции, обеспечивающим увеличение максимальных и средних скоростей движения. Увеличение транспортных скоростей сельскохозяйственных тракторов до 50-60 км/ч и более достигается совершенствованием ступенчатых КП, разработкой и внедрением бесступенчатых трансмиссий, использованием и улучшением характеристик подвесок ПВМ, кабины и сиденья оператора, применением тормозов колес ПВМ, систем АБС и ПБС, всеколесного рулевого управления.

Кроме того, для повышения технического уровня тракторной техники большое внимание уделяется улучшению условий труда оператора, в том числе путем совершенствования конструкции, улучшения эргономических и эстетических свойств кабин, автоматизации рабочих процессов за счет разработки и внедрения бортовых электронных систем контроля, диагностики и управления. Для снижения издержек и повышения эффективности сельскохозяйственного производства осуществляется все более широкое применение систем точного земледелия.

#### Литература

- 1. Черноиванов В. И. Мировые тенденции машиннотехнологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, В.Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 284 с.
- 2. Дубовик Д.А. Основные направления развития автотрактороком-байностроения / Д.А. Дубовик, О.М. Еловой, Л.Ю. Бакалова. Минск: Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси, 2014. 176 с. Деп. в ГУ «БелИСА» 17.07.2014 № Д201411.

УДК 631.363

# СЕГОДНЯ И ЗАВТРА КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»

И.В. Волков, Н.П. Насекайло Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

На современном этапе ОАО «Гомсельмаш» представлена наиболее широкая и разнообразная линейка кормозаготовительной техники, отвечающая современным аграрным технологиям и требованиям потребителей в зависимости от специфики условий хозяйствования и их финансовых возможностей. Широкий диапазон цен от недорогих комплексов К-Г-6 в составе универсального энергетического средства и навесного кормоуборочного комбайна с дисковым измельчителем, до модельного ряда высокотехнологичных производительных самоходных комплексов, оснащенных системами контроля работы и другими средствами автоматизации. Все комбайны оснащены набором адаптеров, выполняющих весь набор операций по заготовке силоса и сенажа из трав и грубостебельных культур.

ОАО «Гомсельмаш» выпускается широкая линейка агрегатируемых с тракторами и самоходных косилок шириной захвата от 4,2 до 9,2 метров. Самоходные косилки, представленные модельным рядом КС-100 и КС-200 с мощностью двигателя 100 и 200 л.с.

Одной из последних разработок ОАО «Гомсельмаш» в сегменте самоходных косилок является косилка на гусеничном ходу для скашивания риса в валок на заливных чеках с жаткой шириной захвата 5 м с сегментным режущим аппаратом, с двигателем мощностью 150 л.с.

Анализ моделей кормоуборочной техники предлагаемых на рынках стран дальнего и ближнего зарубежья, показывает следующие тенденции развития кормозаготовительной техники:

- 1) Создание унифицированных модельных рядов кормозаготовительной техники из 4-5 моделей различающихся энергонасыщенностью.
  - 2) Создание модификаций каждой модели;
  - 3) Создание адаптеров нового назначения;
  - 4) Создание модельных рядов адаптеров;
  - 5) Повышение уровня автоматизации уборочной техники;
  - 7) Повышение уровня надежности;
  - 8) Повышение уровня комфорта для механизатора.

Для обеспечения конкурентоспособности серийно выпускаемой техники в ОАО «Гомсельмаш» постоянно ведутся работы по ее совершенствованию с учетом вышеперечисленных тенденции развития кормозаготовительной техники:

- разработан самоходный кормоуборочный комбайн КВК-6033С с бункером накопителем на гусеничном ходу для регионов с низкой несущей способностью почв;
- на базе серийно освоенных высокопроизводительных комплексов КВК создается модельный ряд с двигателями экологических классов от Stage 0 до Stage 5.

Разработана и реализуется стратегия на ближнюю и среднесрочную перспективу по расширению и обновлению модельного ряда выпускаемых машин. Так в ближайшие годы планируется создание:

- кормоуборочного комплекса энергонасыщенностью 730-800 л.с.;
- навесного кормоуборочного комбайна к энергосредству с мощностью двигателя 350 л.с.

Ведутся работы по увеличению степени автоматизации кормозаготовительной техники.

Создаются новые адаптеры к кормоуборочным комбайнам:

- -жатка ротационная для уборки грубостебельных культур шириной захвата 8 м к высокопроизводительным кормоуборочным комплексам;
- жатка ротационная для уборки грубостебельных культур шириной захвата 4 м к комбайну КВК-6025.

Создаются новые адаптеры к самоходным косилкам:

- -завершаются испытания валкооборачивателя шириной захвата 4 м к самоходной косилке КС-100, конструкция которого впоследствии будет адаптирована к самоходной косилке КС-200;
  - планируется создание ряда валковых жаток шириной захвата 7 и 11 м.

Стратегией холдинга «Гомсельмаш» на долгосрочную перспективу планируются работы по созданию модельного ряда жаток для грубостебельных культур ЖГР шириной захвата 4, 6, 8 и 10 м, модификаций моделей кормоуборочных комбайнов на сжиженом природном газе, новых поколений сельскохозяйственной техники оснащенной системами точного земледелия, создание электрифицированных приводов рабочих органов и трансмиссий самоходных уборочных машин, более полное оснащение средствами механотроники и автоматики.

Реализуемые в настоящее время и планируемые на перспективу до 2030 года направления развития и создания кормоуборочной техники позволят повысить удовлетворенность потребителей, расширить диапазон применения машин ОАО «Гомсельмаш», диверсифицировать рынки сбыта, увеличить объемы продаж, поступлений финансовых средств и обеспечить стабильное социально-экономическое развитие предприятия.

УДК 631.354.2

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОНЫХ КОМБАНОВ

В.П. Чеботарев

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь

Зерноуборочному комбайну около 200 лет. Между тем до сих пор в нем в основном применяется бильный молотильный аппарат, созданный на 50 лет раньше комбайна. Зерноуборочный комбайн применяется на уборке практически всех основных сельскохозяйственных культур и его совершенствование направлено на обеспечение устойчивого протекания технологического процесса, улучшение качественных показателей, сокращение расхода топлива и уменьшение воздействия движителей на почву, повышение надежности и экологической безопасности, создание комфортных условий работы при широком использовании элементов гидравлики и электроники.

Особенно интенсивно ведутся работы по поиску и возданию новых конструктивно-технологических схем обмолота и сепарации. Широкое распространение во всем мире в настоящее время имеют комбайны с однобарабанными МСУ в сочетании с соломотрясом из-за их универсальности, высокой надежности, простоты устройства и обслуживания, кроме того продолжается увеличение мощности двигателей зерноуборочных комбайнов. У высокопроизводительных комбайнов она превышает 300 кВт. Наблюдается тенденция увеличения диаметра молотильных барабанов. Фирма Claas на комбайнах серии Lexion по сравнении с предыдущими сериями увеличила диаметр барабана с 450 до 600 мм. Фирма New Holland на комбайнах серии СХ, по сравнению с комбайнами ТС и СЅХ, увеличила диаметр барабана с 607 до 750 мм. Фирма Massehy Ferguson увеличила диаметр барабана с 550 мм на моделях серии МГ до 600 мм на моделях серий МГ «Асtiva» и серий «Сегеа».

Ширина захвата жаток высокопроизводительных моделей достигает 12 метров. На жатках шириной захвата более 11 м применяется центральный привод ножа (в середине жатки) вместо традиционного бокового (с одной или с двух сторон) расположения привода. Вместимость бункеров достигла 14 м<sup>3</sup>. Однако дальнейшего увеличения вместимости бункеров не ожидается, вследствие того, что при полном бункере нагрузка на колеса создает значительное переуплотнение почвы.

Таким образом, можно сделать вывод, что дальнейшее совершенствование конструкций зерноуборочных комбайнов происходит путем увеличения параметров основных рабочих органов, мощности двигателя, емкости бункера.

УДК 631.35:004.94

# ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В.Б. Попов, Т.А. Трохова УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Введение. Появление на рынке специализированных САПР, попрежнему, не снимает проблемы разработки удобного, многофункционального и компактного инструмента для моделирования динамики мобильных сельскохозяйственных машин (МСХМ), позволяющего получать достоверные результаты, который может настраиваться и модифицироваться пользователем. В качестве вычислительной среды, формирующей подобные системы моделирования и отвечающей вышеперечисленным противоречивым требованиям, авторы предлагают системы компьютерной математики (СКМ) и схемотехники.

Инструментарий компьютерного моделирования. К настоящему времени СКМ стали мощным и удобным инструментом компьютерного моделирования. Последние версии СКМ позволяют не только манипулировать вычислительными объектами, графической информацией и программными фрагментами, но и создавать полноценные проекты с мультимедийной поддержкой и удобным интерфейсом, доступным для широкого круга пользователей. Немаловажным аргументом в пользу СКМ как среды разработки программ моделирования динамики машин следует отнести возможность создания пакетов с прозрачным алгоритмом вычислений. СКМ, будучи массовым продуктом, по существу подвергаются ежедневному массированному тестированию. Коллективы их разработчиков профессиональные математики и программисты, способные при необходимости в короткие сроки модифицировать программное обеспечение. Таким образом, продукты, созданные в среде СКМ, как правило, позволяют лучше понимать причинно-следственные связи в модели и могут помимо прочего, выполнять роль инструмента осознанного тестирования (с точки зрения пользователя) и критической оценки результатов работы специализированных САПР. Это важно с той точки зрения, что приобретение дорогостоящей САПР – ответственный момент, к которому коллектив разработчиков должен быть методически подготовлен. Тем самым мы рассматриваем пакеты, создаваемые в среде СКМ, не только как альтернативу, но в ряде случаев и как предтече перед решением выбора дорогой специализированной САПР с целью возможного совместного их дальнейшего использования.

В настоящее время инструментальные средства схемотехнического и имитационного моделирования включают такие системы как *Simulink*,

*Xcos, Vissim, Modelica*, *MvStudium* и др. И если системы компьютерной математики позволяют выполнить инженерные расчеты в удобном для пользователя виде, избегая специфических элементов программирования, то системы схемотехнического моделирования позволяют разработать модель в виде схемы из набора блоков, соединенных линиями связи, и выполнить её расчет в режиме реального времени. Потенциальные пользователи разрабатываемого пакета моделирования МСХМ – студенты и магистранты профильных специальностей, а также инженеры-проектировщики КБ машиностроительных предприятий, для которых работа с пакетом может стать немаловажным этапом, предваряющим освоение сложных и дорогостоящих САПР. Из существующих на сегодня десятков СКМ авторы отдают предпочтение *MatLab&Simulink*, полагая, что в дальнейшем все разработки могут вестись и в среде *Scilab&Xcos*.

**Описание реализации подхода к моделированию**. МСХМ в качестве основы предметной области моделирования были выбраны в силу следующих причин:

- их агрегаты и узлы к настоящему времени классифицированы;
- получены, классифицированы и в большинстве своём апробированы в классических системах программирования их функциональные математические модели (ФММ) и типовые задачи моделирования;
- в ФММ существует широкий класс линейных задач, которые накладывают специфику на создаваемый пакет.

Предлагаемый подход заключается в том, что после разработки базовой блочно-иерархической модели, носящей робастный характер, можно выполнять уточнение ФММ и настройку ее на нужные параметры путем замены варьируемых блоков модели на новые, хранящиеся в библиотеке пользователя. Такой подход, позволяет провести нужные исследования и пополнять библиотеку новыми блоками. Проектировщик, получая уточненные данные поэтапного моделирования, осваивает специфику ФММ, имея возможность влиять на последовательность расчетов и точность получаемых результатов.

К особенностям структуры пакета следует отнести наличие справочника, сформированного в виде базы данных, содержащего как полное описание типовых ФММ узлов с/х машин, так и описание типовых процессов, характерных для этих сложных технических объектов (торможение, начало движения, преодоление препятствий и т.д.).

Пакет опробован для нескольких типов МСХМ, причем при реализации ФММ учитывались изменения величины и скорости внешних возмущающих воздействий, а также вероятные нештатные режимы работы. Ниже рассмотрен пример компьютерного исследования ФММ колебаний УЭС-2-250А, возникающих в процессе его движения по опорной поверхности. На модели исследуются реакции мобильной машины на следующие виды внешних воздействий: «единичная неровность в форме выступа и впадины»; «синусоидальный рельеф»; случайное воздействие со стороны микропрофиля опорной поверхности.

После выбора расчетной схемы объекта исследования, ограничиваясь колебаниями передней и задней частей его корпуса в продольной плоскости ФММ принимает следующий вид (Рис. 1). Пользователь может изменить вид внешнего воздействия, выбрать нужный вид выходной информации: представление результирующей функции зависимости амплитуд колебаний от времени в виде графика или в виде файла данных, который может быть использован в дальнейших расчетах.

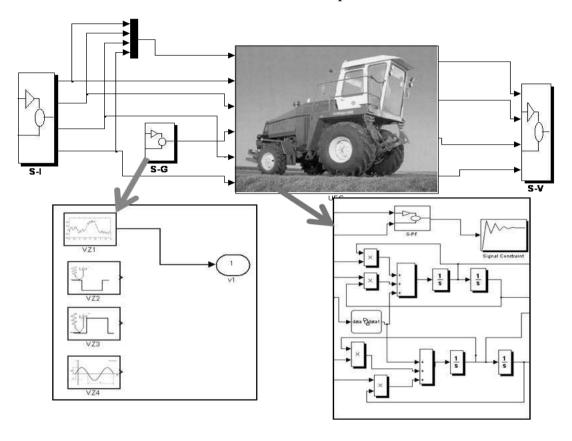


Рис. 1. Схема модели исследования колебаний УЭС-2-250A в вертикальной (продольной) плоскости

**Выводы.** Возможность быстрого внесения изменений в ФММ и манипулирования различными методами решения задачи, получения как численных, так и графических результатов позволяет пользователю пакета без применения дорогостоящих систем САПР выполнять исследования на достаточном для прикладных задач уровне, приблизив развитый математический аппарат к работе инженера-проектировщика.

УДК 339.138

#### МАРКЕТИНГОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СЕЛЬ-СКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ВНЕШНИХ РЫНКАХ

#### С.В. Михолап ОАО «Белпромимпэкс», Минск, Беларусь

Либерализация внешнеэкономической деятельности, а также рост ее объемов оказывают существенное влияние на характер и формы экономических отношений при взаимодействии субъектов хозяйствования отечественного рынка с зарубежными партнерами. Отечественные субъекты хозяйствования, получившие относительно свободный доступ на международные рынки, столкнулись с множеством проблем политико-правового, социально-культурного характера, а также с различными экономическими барьерами, существующими при жесткой конкуренции на внешнем рынке.

В структуре Министерства промышленности Республики Беларусь (далее Минпром), в настоящее время входит 16 холдингов, 4 из которых производят технику для сельского хозяйства. Специфика экспорта предприятий Минпрома заключается в следующем:

- высокая удельная доля экспорта продукции подведомственных предприятий в общем объеме экспорта товаров Республики Беларусь (12 % в 2015 г. и 14 % в 2016 г.);
- высокая степень концентрации экспорта на системообразующих предприятиях отрасли;
- критическое значение стандартизации и сертификации как фактор конкурентоспособности продукции отрасли на внешних рынках;
  - значительный объем отраслевых НИОКР;
- высокий уровень развития внутриотраслевой кооперации как внутри республики, так и с машиностроительными предприятиями России, что обуславливает тесную связь между динамикой экспорта отрасли и импортом материалов и комплектующих;
- преобладание на мировых рынках машиностроительной продукции транснациональных корпораций, что задает условия конкуренции отечественных экспортеров на этих рынках.

Все это в равной мере относится и к производителям сельскохозяйственной техники Беларуси. Для эффективного продвижения производимой продукции на внешние рынки необходимо использовать возможности международного маркетинга. В связи с этим можно выделить следующие направления деятельности на международном рынке:

- выявление потребностей аграрного сектора зарубежных стран в качественной и высокопроизводительной технике для сельского хозяйства, на основании изучения вторичных источников информации, имеющихся в открытом доступе, информации от торговых советников дипломатических

представительств Республики Беларусь за рубежом, результатов проведенных исследований специализированными компаниями;

- разработка и производство техники для сельского хозяйства, отвечающей запросам потенциальных потребителей, современным требованиям к качеству продукции, производительности и надежности;
- установление цен, приемлемых для потребителя, на основании проведенного анализа цен у конкурирующих фирм, представленных на рынке и обеспечивающих достаточную прибыль производителю;
- обеспечение доставки произведенной продукции в приемлемое для потребителя место и время, и организацию соответствующего послепродажного обслуживания;
- продвижение товаров, включая международную рекламу, личную продажу, стимулирование продаж, создание благоприятного впечатления о товаре и предприятии;
  - организацию сервисного обслуживания.

Одним из эффективных способов продвижения инновационной конкурентоспособной техники для нужд сельского хозяйства и расширения экспортного потенциала предприятий Республики Беларусь, является участие промышленных предприятий в международных выставках как в Республике Беларусь, так и за рубежом.

Следует отметить, что, самое активное участие в международных и Национальных выставках Республики Беларусь за рубежом принимают производители техники для сельского хозяйства: Холдинг «Гомсельмаш», Холдинг «Бобруйскагромаш», Холдинг «МТЗ», Холдинг «АМКОДОР», Холдинг «БЕЛАВТОМАЗ», НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. В последние годы, указанные предприятия участвовали в международных выставках в России, Германии, Мозамбике, Словакии, Иране, Грузии, Азербайджане, ЮАР, Китае, Болгарии, Туркменистане, Казахстане, Украине, Алжире и на Кубе. Хотя, результаты участия в таких выставках не приносят сразу новые контракты. Но это дает возможность оценить уровень конкурентоспособности предлагаемой техники, изучить мнение потребителей, их предпочтения и, в дальнейшем, организовать свою работу таким образом, чтобы по прошествии определенного промежутка времени, контракты на поставку продукции были подписаны на устраивающих обе стороны условиях.

Важным фактором продвижения промышленной продукции на внешние рынки является вступление Республики Беларусь во Всемирную Торговую Организацию. Это предоставит ей доступ на рынки стран дальнего зарубежья, где в настоящее время белорусский экспорт сдерживается системой квот и ограничений. Кроме того, Беларусь сможет получить доступ к международному опыту регулирования рыночной экономики.

## СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

# СЕКЦИЯ №1

# «УБОРОЧНАЯ ТЕХНИКА И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО»

УДК 658.5122; 621.9.06.002

# КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВА-НИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «БЕЛАГРОСЕРВИС»

А.Г. Гривачевский, Р.Л. Кулик, Б.М. Штейн Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Автоматизация проектирования технологических процессов, является одной из важнейших задач, обеспечивающих повышение конкурентоспособности продукции, снижение себестоимости, повышение качества и сокращение сроков ее изготовления.

Продукция предприятий РО «Белагросервис является металлоем-кой, технологически сложной и ее изготовление требует значительных материальных и трудовых затрат. Количество техпроцессов, их сложность и нехватка квалифицированных технологов при работе существующими методами не всегда позволяют произвести качественную технологическую подготовку производства в требуемые сроки. Иногда разработка техпроцессов сводится лишь к определению перечня наименований операций. Выбор переходов, оснастки, режимов обработки, выполнение операций, а также обеспечение качества фактически предоставлены рабочему.

Целью совместных работ ОИПИ НАН Беларуси и предприятий РО «Белагросервис по автоматизации проектирования технологических процессов является повышение технического уровня и снижение трудоемкости технологической подготовки производства.

На достижение указанной цели направлена разработка «Комплекса программных средств информационной поддержки процессов автоматизированного решения **типовых задач** технологической подготовки производства для предприятий республиканского объединения «Белагросервис». Работа производится в рамках ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии» в период с 2016 до 2018 г.

Комплекс программных средств включает следующие компоненты:

- архив изделий и техпроцессов;

- модуль ввода информации о геометрии детали;
- базу данных комплекса;
- объектно-ориентированные модули автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки, холодной штамповки, сварки, гальванических покрытий, лакокрасочных покрытий, раскладки деталей для резки на машинах термической резки, раскладки деталей для резки на гильотинных ножницах, раскроя деталей из прутка.

Комплекс предусматривает автоматизированное проектирование в следующих режимах:

- автоматический;
- полуавтоматический;
- диалоговый;
- по аналогу.

Пилотная версия проекта внедрена в ОАО «Минский Агросервис».

В частности разработаны и внедрены программы автоматизированного проектирования технологических процессов на детали типа «валы», «фланцы», «втулки», «крышки».

Предусматривается дальнейшее развитие программных средств на базе использования комплексных технологических процессов с ориентацией на такие типы деталей как:

- шестерни цилиндрические и конические;
- червяки и червячные колеса;
- плоские и корпусные детали;
- детали из профильного проката.

В состав комплекса программных средств входит графический пакет «Компас».

В качестве операционных систем для рабочих мест пользователей должны использоваться Windows 7 и выше.

Для обеспечения производительной работы пользователей рабочие станции комплекса должны строиться на базе компьютеров со следующими параметрами:

- процессор с количеством ядер не менее 2 и с тактовой частотой 2,7 ГГц или выше:
  - не менее 2 Гб оперативной памяти;
  - 5 Гб свободного места на диске;
  - видеопамять не менее 256 Мб.

В качестве СУБД для работы используется СУБД MS SQL Server.

Ожидаемые показатели эффективности от реализации проекта:

- сокращение сроков технологической подготовки производства на 45 50 %;
  - экономия металлопроката на 10 15%;
- ритмичная работа предприятия и повышение загрузки оборудования на 15 20 %.

УДК631.31 УДК621.73

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН АГРОПРО-МЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

#### В.В. Петренко

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

Повышение работоспособности деталей рабочих органов почвообрабатывающей, посевной и кормоуборочной техники является одной из актуальных проблем современного сельскохозяйственного машиностроения. Анализ конструкционных материалов, используемых в последние 10-15 лет предприятиями Республики Беларусь и другими государствами СНГ, свидетельствует о применении недорогих марок сталей, а также традиционных методов термообработки. Твердость изделий составляет 35-48 HRC, прочность не превышает 900-1200 МПа, ударная вязкость - в пределах 0,2-0,6 МДж/м².

За рубежом детали рабочих органов машин получают преимущественно из более прочных борсодержащих мало- и среднеуглеродистых сталей с добавками молибдена, титана и других элементов. Применение таких сталей и специальных способов термической обработки позволило достичь повышенных эксплуатационных свойств. Детали упрочняются до твердости 48-52 HRC, прочность превышает 1200 МПа, ударная вязкость составляет 0.80-0.85 МДж/м<sup>2</sup>. Аналогами их в СНГ являются стали 30ГР, 40ГР, 30Г2Р и др.

Наряду с этим, западноевропейские фирмы разработали и реализовали наукоемкие технологии с применением новых материалов, а также лазерных и плазменных способов упрочнения деталей в сочетании со специальными процессами термической обработки: «Conit» - Kverneland, Hopberus; «Triplex» и «Dreilagenmaterial» - Huard, Франция; «Rabid» - Rabewerk», Германия; «Plasmabid» - Rabe, Германия; «Permanit» - Vogel&Noot, Австрия. Изделия, полученные с применением технологий «Conit» и «Triplex», обладают высокой конкурентоспособностью и наиболее соответствуют ударно-абразивным условиям эксплуатации.

Сменные детали рабочих органов сельскохозяйственной техники относятся к числу сложных изделий сельскохозяйственного машиностроения. Повышение их работоспособности является важной задачей отечественного сельскохозяйственного машиностроения и ремонтного производства. Решение этой научно-технической проблемы требует комплексного подхода, учитывающего конструкторские, технологические, материаловедческие, эксплуатационные, экологические и экономические факторы.

Машиностроительными и ремонтными предприятиями республики освоено производство почворежущих элементов (ПРЭ): лемехов и долот плугов, оборотных рыхлительных лап чизельных культиваторов и комбинированных агрегатов для предпосевной обработки почвы, ковшовых зубьев экскаваторов и других деталей, работающих в абразивной среде. Они являются изделиями массового производства, относятся к быстроизнашивающимся деталям и по мере износа заменяются новыми запасными частями.

Эти детали конструктивно состоят из трёх частей: режущей – почворежущего профиля, стержневой – несущей и монтажной – крепежной. Каждая из этих частей имеет функциональное назначение. Повреждение или выход из строя хотя бы одной из частей приводит к потере работоспособности детали в целом.

Особенностью конструкции ножевых элементов кормоуборочной техники является наличие лезвийной части с остро заточенной кромкой. Для получения таких деталей с высокими эксплутационными характеристиками в условиях повышенного контактно-усталостного износа разработана и исследована комбинированная технология, основанная на методе продольно-поперечной прокатки листовой заготовки и электротермической обработки лезвийной части изделия. При этом вследствие особенностей пластического течения металла при продольно-поперечной прокатке периферийные слои заготовки приобретают большее удлинение по сравнению с центральными, в результате чего на торцах заготовки образуется лезвие. Последующая электротермообработка, в едином технологическом цикле, обеспечивает получение высокопрочного состояния металла с мелкозернистой структурой.

В ФТИ НАН Беларуси разработано прокатное оборудование (Рис. 1) для получения ряда почвообрабатывающих и ножевых элементов кормоуборочной техники (Рис. 2).



Рис. 1. – Стан для продольно-поперечной прокатки режущей кромки ножевых и почвообрабатывающих элементов

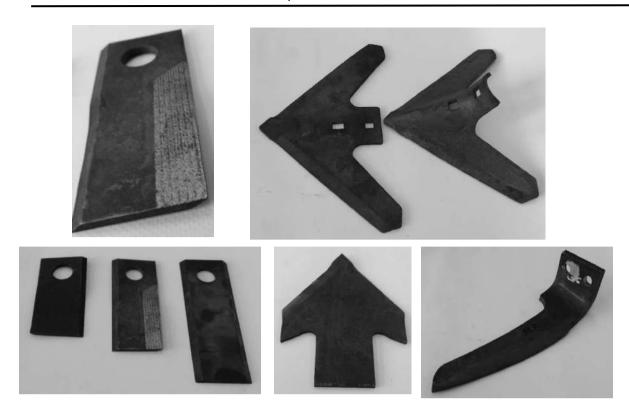


Рис. 2. Почвообрабатывающие и ножевые элементы кормоуборочной техники, полученные в ФТИ НАН Беларуси

Основные операции при формообразовании таких плоских изделий с переменным профилем: индукционный нагрев, продольно-поперечная прокатка, объёмная штамповка, термоциклическая обработка, закалка, отпуск. Эти операции проводились на стали 33ХС при различных сочетаниях технологических приёмов перечисленных выше. Полученные данные помикроструктуре и твердости были сравнены с аналогичными показателями ряда импортных ножей фирм Балмет, Кюн, Кроне и Клаас.

Твердость образцов замерялись на дюрометрических приборах по шкалам Бринелля и Роквелла.

Предел прочности сталей определялся по формуле  $\sigma_{\text{в}} = 0,345~HB$ . На основе выполнения экспериментальных исследований по влиянию режимов ротационной и локальной деформационно-термоциклической обработки намечены к производству сменные изделия рабочих органов, которые имеют более высокие показатели эксплуатационной надежности. Они адаптированы к почвенно-природным условиям республики (песчаные, супесчаные, засоренные гравелистыми частицами и камнями, суглинистые и глинистые).

УДК 666.3

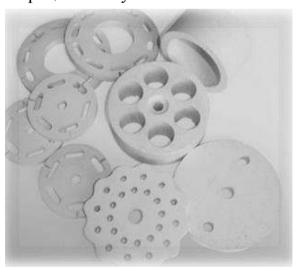
## ТЕРМОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

#### К.Б. Подболотов

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

Наиболее перспективными ДЛЯ получения термостойких являются материалов кордиеритовая, муллито-кордиеритовая, сподуменовая, тиалитовая керамика. Термостойкие кордиеритсодержащие изделия рационально использовать при резких колебаниях температур, например, в качестве огнеприпаса для обжига различной керамической продукции специального назначения. Поэтому большое значение имеет повышение температуры службы и термостойкости кордиеритсодержащих изделий. Этого достигают применением огнеупорных высокопрочных наполнителей. Керамические материалы, разработанные на основе кордиеобладают достаточно невысокими значениями обуславливает их неплохую термостойкость, однако они имеют низкую плотность и невысокое значение механической прочности, и, кроме того, узкий интервал спекания, что ограничивает их использование в качестве конструкционных термостойких материалов.

Главные области применения кордиеритовой керамики это: машиностроение, химическая промышленность, электротермия, нагревательные и электрические приборы, системы очистки воздуха, камеры дожига и фильтрационные установки.



На базе ФТИ НАН Беларуси разработаны составы и технология получения высокотермостойких кордиеритсодержащих материалов с различными добавками (муллит, карбид кремния и др.) имеющих следующие характеристики: открытая пористость — 15—30 %, механическая

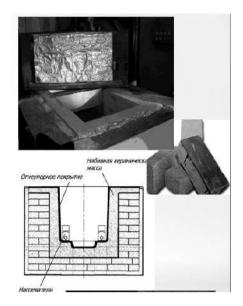
прочность при сжатии – 70–200 МПа, термостойкость – более 100 теплосмен 1000  $^{0}$ C - вода, ТКЛР –  $(2,4–4,5)\cdot10^{-6}$  K<sup>-1</sup>.

Особую группу среди огнеупорных термостойких материалов занимает керамика на основе фосфатных связок.

Её характерной особенностью является способность образовывать достаточно прочные структуры при относительно невысоких температурах (до  $550-600^{\circ}$ C) и сохранять прочностные характеристики при нагреве до высоких температур (более  $1500-1700^{\circ}$ C). Кроме того, керамика на основе фосфатов отличается достаточно высокой термостойкостью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред (солей, расплавов, стекла и др.).

Свойства материалов, разработанных ФТИ НАН	на свизующем нз жидкого стекла	на шлако- фосфитном свизующем
Прочность при сжатии через 1 сутки:		
после сушки, МПа	25,8	10,0
после термообработки при 773 К, МПа	35,4	27,0
Прочность при сжатии после термообработки при 1073 К, МПа	31,9	19,0
Плотность (1073 K), кг/м <sup>3</sup>	1819	1710
Усадка (1073 К), %	-0,06	-0,16
Огнеупорность, К	выше 1883	выше 1883
Температура деформации под нагрузкой 0,2 МПа, К	1629	1615
Класс материала по предельно-допустимой температуре применения	И13	И13
Предельно-допустимая температура применения, К	1673	1673
Термостойкость по режиму: нагрев до 1223 К воздушное охлаждение, циклов	более 60	более 60
Остаточная прочность после 30 воздушных теплосмен, %	100	90
Термостойкость по режиму: нагрев до 1223 К водяное охлаждение, циклов	более 50	более 50
Остаточная прочность после 30 водных теплосмен, %	71,0	91,0
Удельное электросопротивление, х10 <sup>8</sup> Ом·м Теплопроводность, Вт/м · К	2,8 0,36	3,6 0,38

Защитные покрытия ДЛЯ различного вида огнеупорных, теплозащитных И теплоизоляционных материалов ΜΟΓΥΤ широко использоваться в печах обжига строительных материалов, тепловых котлах ТЭЦ, металлургических печей, плавильных ваннах и тиглях, реакторах в химической и нефтехимической промышленностях, печах утилизации отходов различной природы и других отраслях промышленности для защиты поверхности огнеупоров от разрушения при термических ударах, химическом и механическом воздействии.



Для основы покрытия используются недефицитные компоненты - смеси включающие кремнезем и алюминий с различными модифицирующими добавками. Покрытия образуются на поверхности огнеупоров в процессе инициирования реакции СВС в обычном режиме эксплуатации тепловых агрегатов при 700–850 °C.

Покрытия характеризуются хорошей адгезией к шамотной основе -1,0-3,5 МПа; отсутствием трещин после сушки и обжига; термическая стойкость -15-20 циклов ( $1000~^{\circ}\text{C}-$ вода); пористость - не более 20~%; ТКЛР - по согласованию с материалом огнеупора; прочность материала покрытия - 50-100 МПа; огнеупорность -1300- $1800~^{\circ}\text{C}$ .

УДК 621.793

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОМБАЙНОВ

М.А. Белоцерковский<sup>1</sup>, В.А. Шуринов<sup>2</sup>, Н.Ф. Соловей<sup>2</sup>, А.В. Сосновский<sup>1</sup> ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь,

<sup>2</sup>Научно-технический центр комбайностроения ОАО Гомсельмаш, Гомель, Беларусь

Непрерывно повышающиеся требования к эксплуатационным свойствам энергонасыщенных кормоуборочных комбайнов все чаще не могут быть удовлетворены с помощью применения известных конструкционных материалов и способов упрочнения поверхностей, что заставляет изыскивать новые более совершенные методы повышения их долговечности. С этой целью в ОИМ НАН Беларуси совместно с НТЦ комбайностроения выполняется разработка технологических процессов формирования на деталях технологического тракта кормо- и зерноуборочных комбайнов покрытий, обладающих повышенной износо- и коррозионной стойкостью и низкой адгезией к транспортируемым продуктам. Технологические процессы предназначены для повышения срока эксплуатации короба КВС-1-01433425/426 и устранения залипания продуктов обмолота на рабочей поверхности стрясной доски КЗК-12-0280453.

В ходе исследований была выполнена оценка возможности использования методов гиперзвуковой металлизации, газопламенного напыления и деформационного плакирования для нанесения антиадгезивных и износостойких покрытий.

Наиболее подверженным рабочим органом к негативному воздействию скапливания массы является стрясная доска. При налипании на стрясную доску технологического продукта увеличиваются потери за очисткой, нарушается процесс транспортировки зернового вороха к решетам очистки и соответственно, происходит забивание молотилки. Таким образом, при таких условиях уборки необходимо ежедневно, а иногда и несколько раз за смену производить очистку стрясной доски от налипшей массы, что в свою очередь резко снижает производительность комбайна и увеличивает время на технологическое обслуживание.

Проведены исследования антиадгезивных свойств покрытий полученных методом гиперзвуковой металлизации, диформационного плакирования и газопламенного напыления. Были измерены краевые углы смачивания жидкостями (водой, глицерином и «соком кормов») покрытий, а так же величины суммарного поверхностного натяжения. Исследования показали, что наиболее высокими антиадгезивными свойствами обладают металлические нешлифованные покрытия, полученные из проволок 65Г, 95Х18, 30ХГСА, Цинк + 40Х13, АД1 + 40Х13. Так же установлено, что ве-

личину антиадгезивных свойств можно регулировать путём изменения шероховатости напыляемого покрытия.

Рабочая поверхность короба силосопровода интенсивно изнашивается, поскольку в ряде случаев заготовка производится методом подбора скошенной травы, содержащей частицы абразива (почвы). В связи с этим проводили лабораторные исследования износостойкости покрытий полученных методом гиперзвуковой металлизации на стальных образцах.

Нанесение покрытий осуществляли на модернизированной установке гиперзвуковой металлизации АДМ-10. Установка была адаптирована к эксплуатации в условиях ОАО «Гомсельмаш» - была изменена конструкция и материал наконечника токосъема и держателя токоподводов.

В качестве материала покрытия были выбраны стали следующих марок: 40X13, 95X18, 65Г, 30XГСА. Выбор данных материалов обусловлен повышенным содержанием углерода, что обеспечивает их высокую твёрдость после напыления (400 – 550 HV) и, соответственно, ожидаемую износостойкость. Исследование износостойкости покрытий проводили на экспериментальной установке для ускоренных испытаний покрытий на ударно-абразивное изнашивание. В качестве абразивного материала применялась искусственная почвенная масса, состоящей из песка, глины (12–14%) и гравия (6–8%) при влажности 3–5% и плотности по плотномеру Ю.Ю. Ревякина 1,5–2,0 МПа, что примерно соответствует гравилистопесчаной рыхлой супеси.

Анализ полученных результатов показал, что интенсивность изнашивания покрытий из стали  $30\mathrm{XFCA}$  составляет 2,1 мкм/мин, из стали  $65\mathrm{F}-1,42$  мкм/мин, из стали  $95\mathrm{X}18-1,17$  мкм/мин, из стали  $40\mathrm{X}13-0,83$  мкм/мин. Повышенная износостойкость покрытий из стали  $40\mathrm{X}13$  объясняется тем, что напыление частиц многослойного покрытия происходит на разогретые частицы предыдущих слоев, имеющих температуру  $100-200^{\circ}\mathrm{C}$ . Такие условия формирования покрытия, обеспечивают замедленное его охлаждение в интервале температур повышенной устойчивости аустенита, что способствует стабилизации остаточного аустенита в напыленном слое. Вследствие более низкой концентрации углерода в стали  $40\mathrm{X}13$  по сравнению, например, со сталью  $95\mathrm{X}18$ , мартенситное превращение при трении в покрытии происходит более полно.

На рабочую поверхность короба, являющегося основанием силосопровода высокопроизводительного кормоуборочного комплекса «Полесье – 800» (до 200 т кормов в час) было нанесено покрытие из стали 40Х13. В текущем году с августа по ноябрь комплекс проходил полевые испытания в Новогрудском р-не Гродненской области. За указанный период наработка составила 15080 тонн. Предварительная экспертная оценка показала, что износ газотермического покрытия не превысил 15% от исходной толщины. Полномасштабная экспертиза будет проведена после демонтажа короба.

УДК 621.785

## ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИОННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

#### М.Н. Босяков

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

Одним из наиболее эффективных способов интенсификации процессов насыщения сталей азотом и углеродом является их проведение в атмосферах в условиях приложения внешнего электрического поля, в том числе и в тлеющем разряде — процесс ионного азотирования [1-7].

Ионное азотирование — это химико-термическая обработка в аномальном тлеющем разряде деталей машин, инструмента, штамповой и литьевой оснастки, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя сталей и чугуна азотом (или азотом и углеродом) при давлении 80-300 Па. Изделия в данном случае являются катодом, а стенки камеры — анодом. Температура обработки может варьироваться в достаточно широких пределах (350-600 °C).

Варьируя состав газа, давление, температуру и время выдержки, можно получать азотированные слои заданной структуры и фазового состава, например, чисто диффузионные слои, без нитридной зоны, либо слои с нитридной зоной (Рис. 1).

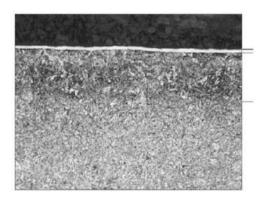


Рис.1. Вид азотированного слоя после травления. Сверху – белый нитридный слой, ниже – диффузионный слой.

В зависимости от условий азотирования нитридный слой может быть либо  $\gamma'$ - фазой (Fe<sub>4</sub>N) либо ( $\gamma'$  +  $\epsilon$ ) - фазой ( $\epsilon$  фаза - Fe<sub>2</sub>- $_3$ N), причём  $\gamma'$ -нитридный слой является износостойким и относительно пластичным, а  $\epsilon$  - слой — коррозионно-стойким.

Технологическими факторами, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси. Ионное азотирование в тлеющем разряде имеет широкие возможности для техноло-

гического контроля и управления процессом диффузионного насыщения. Наряду с составом азотосодержащей среды, температурой и продолжительностью насыщения, процесс можно регулировать изменением давления газовой среды и электрических характеристик разряда.

В Беларуси лидером по использованию технологии ионного азотирования бесспорно является ОАО «Гомсельмаш», где успешно эксплуатируются три установки ионного азотирования белорусского производства (Рис.2).



Рис.2. Участок ионного азотирования на ОАО «Гомсельмаш»

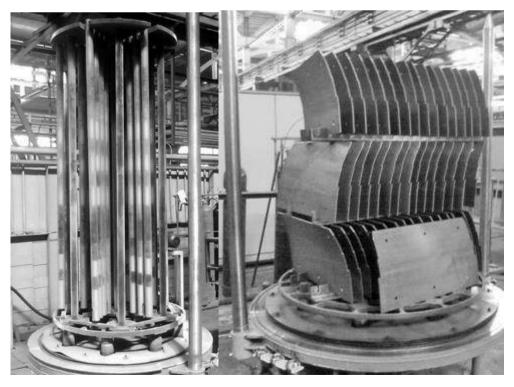


Рис.3. Обработка деталей на ОАО «Гомсельмаш», слева – валы, справа - терки

Номенклатура обрабатываемых изделий достаточно разнообразна — валы, терки, ступицы, шестерни, поддоны и другие детали (Рис.3). В зависимости от марки обрабатываемой стали и температуры предшествующей термической обработки температурный диапазон процесса ионного азотирования достаточно широк — от 480°C до 580°C. Глубина упрочненного слоя составляет при этом от 0,4 до 0,6 мм.

Отличительной особенностью технологии ионного азотирования на оборудовании производства ФТИ НАН Беларуси является управление химической активностью разряда и величиной рабочего давления в зависимости от: марки стали, из которой изготовлены изделия, площади обрабатываемой садки и температуры азотирования: по мере увеличения обрабатываемой площади рабочее давление снижается для обеспечения аномальности разряда, а для сохранения необходимой химической активности разряда для обработки конкретной марки стали доля азота в составе газовой смеси увеличивается, с тем, чтобы сохранить постоянной плотность потока азота, независимо от обрабатываемой площади.

Такой подход к реализации процесса ионного азотирования обеспечивает серийную устойчивость технологии — т.е. воспроизводимость результатов обработки независимо от степени загрузки камеры, что особенно актуально в условиях серийного производства изделий.

Внедрение данной технологии на ОАО «Гомсельмаш» позволило повысить качество выпускаемой продукции и получить экономический эффект за счет снижения трудоемкости и экономии электроэнергии.

## Литература

- 1. Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А. Плазменная химикотермическая обработка поверхности стальных деталей. М.: Техносфера, 2012.- 464 с.
- 2. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде.- Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. 364c.
- 3. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г.. Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов:- М.:Изд. МГТУ им. Баумана, 1999.- 400с.
- 4. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г., Бемер 3. Теория и технология азотирования:- М.: «Металлургия», 1991. 320c.
- 5. Азотирование и карбонитрирование. Чаттерджи-Фишер Р., Эйзелл Ф., пер. с нем./под ред. СуповаА.В.. М.: «Металлургия»,1990. - 280 с.
- 6. David Pye. Practical Nitridind and Ferritic Nitrocarburizing, 2003, ASM International Park, Ohio.
- 7. Босяков М.Н., Козлов А.А. Энергетические параметры процессов ионного азотирования на промышленном оборудовании / Доклады БГУИР, 2013, N 3(73), с. 76-82.

УДК 620.6

# ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРМО-ОБРАБОТКИ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

#### И.И. Вегера, А.И. Михлюк

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

В настоящее время в суммарном потреблении тепло- и энергоресурсов предприятиями промышленности Беларуси, доля производств с применением операций нагрева в газовых, электрических печах составляет свыше 10 процентов, причем процессы с использованием скоростных высокоэффективных процессов нагрева, таких как лазерный, плазменный и высокочастотный занимают менее 1 процента, а их применение имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными нагревательными устройствами это, прежде всего, высокий к.п.д.

Темпы расширения области применения высокочастотного поверхностного нагрева сдерживаются проблемами приобретения и разработки современного полупроводникового оборудования, необходимостью разработки или корректировки технологических процессов под оборудование, выполненное на новой элементной базе, позволяющих обеспечить высокое качество выпускаемой продукции и снижения себестоимости. А разработка новых промышленных энергоэффективных технологий поверхностного упрочнения ответственных деталей имеющих сложную форму и изготовленных из высокопрочных легированных сталей является очень важной и экономически значимой задачей стоящей перед машиностроительными предприятиями Республики Беларусь.

В настоящее время перед промышленностью остро стоит проблема выпуска качественной и конкурентоспособной продукции. Требования качества в полной мере относятся и к процессам термообработки изделий, которые играют очень важную роль в обеспечении технологических и эксплуатационных свойств деталей.

Поэтому разработка технологических процессов обработки деталей с целью получения высокого комплекса свойств при их работе на удар, износ, усталость, испытывающих повышенные циклические и знакопеременные нагрузки является актуальной задачей. К таким технологиям относятся такие способы скоростной термической обработки, как индукционный, и высокочастотный нагрев. Они позволяют получать на различных материалах функционально-градиентные слои или покрытия обладающие уникальными механическими, технологическими и специальными свойствами, у которых наблюдается плавное изменение свойств или химического состава по глубине от поверхности. Существующий мировой опыт убедительно показал, что применение методов высокоэнергетического воздействия и их комбинирование с традиционными технологиями термической

обработки позволяет сформировать градиентную структуру на различных материалах, обеспечивающую повышенный уровень служебных свойств деталей, которые в наибольшей степени отвечают условиям их эксплуатации.

Высокочастотный индукционный нагрев является бесконтактным методом нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты и используется для термообработки, плавки, сварки, пайки, нагрева под оплавление и деформацию металлов. К достоинствам этого метода можно отнести высокую производительность и энергоэффективность нагрева за счет КПД до 95%. При поверхностной высокочастотной закалке вместо цементации в печах в сотни раз сокращается длительность процесса, снижаются трудоемкость и стоимость упрочнения, необходимость использования природного газа, минеральных масел, асбеста, жаропрочных и жароупорных материалов, устраняются выбросы в окружающую среду применяемых вредных веществ и продуктов их распада. Кроме того высокочастотный нагрев резко снижает энергозатраты вследствие уникальной возможности локального упрочнения рабочих поверхностей, уменьшает или полностью исключает обезуглероживание и окисление.

Несмотря на то, что основным преимуществом высокочастотной поверхностной закалки является уменьшение деформаций по сравнению с печной термообработкой, при упрочнении деталей сложной формы проблема закалочных деформаций сохраняется. Особенно применения данного метода ограничено для обработки деталей, изготовленных из легированных сталей или имеющих сложную геометрическую форму с концентраторами напряжений в виде шлицов, шпонок, острых кромок и т.д. Поэтому одной из важнейших задач по расширению сферы применения данных технологий является разработка новых перспективных технологий нагрева различных деталей и заготовок, в том числе имеющих сложную геометрическую форму. Для предотвращения трещин и деформаций при высокочастотном нагреве требуется индивидуальное конструирование нагревательных устройств для каждой детали и подбор оптимальных режимов нагрева и охлаждения.

Охлаждение стальных изделий с температур аустенитного состояния является одним из трех важнейших этапов термической обработки. На этом этапе формируются физико-механические свойства металла, определяющие его эксплуатационные характеристики. От скорости охлаждения во всех температурных интервалах, ее равномерности и других условий зависят свойства, как поверхностных слоев детали, так сердцевины. При неправильном подборе параметров охлаждения возникает вероятность появления закалочных деформаций, трещин и других дефектов.

Поэтому настоящее время существует необходимость в проведении исследований и разработке новых методов, режимов и оборудования для охлаждения деталей изготовленных их легированных марок сталей или имеющих сложную форму, закаливаемых в различных закалочных средах, скорость охлаждения в которых зависит от многих факторов.

УДК 631.354.2

#### ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ПРИ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКЕ

А.В. Клочков, В.В. Гусаров, В.Ф. Ковалевский УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Беларусь

Среди показателей перспективного зерноуборочного комбайна на первое место по важности следует поставить качество работы, в комплексе определяемое потерями зерна. Существовавшими и пока не измененными нормативами к качеству уборки потери зерна при прямом комбайнировании допускались в пределах 2-3 %, а при раздельном способе — 2,5-4 %. Однако эти нормы были установлены много лет назад для существовавших тогда комбайнов низкого технического уровня.

При валовом сборе в 2017 году (на 29.08.2017г.) 7260,4 тыс. т зерна предполагаемые потери зерна могут достичь 145,2-290,4 тыс.т. В сравнительном выражении это составляет 15-29 % всего урожая зерна хозяйств Гомельской области. Такие нормативы потерь зерна при уборке следует считать недопустимыми, а уровень современных комбайнов позволяет вести уборку с общими потерями не более 0,5-1,0 %. Опыт ряда передовых хозяйств Беларуси показывает на реальные возможности убирать высокие урожаи зерна с минимальными потерями.

Важнейшими слагающими успешной работы комбайнов с минимальными потерями урожая являются правильная настройка механизмов жатки, молотилки и очистки. В настройке узлов жатки имеются определенные сложности, касающиеся работы стеблеподъемников, мотовила и других механизмов, рациональная конструкция которых позволяет избежать потерь зерна. Соответствующая настройка зазоров и частоты вращения молотильного аппарата обеспечивает полноту вымолота и создать условия для последующей эффективной очистки зерна без потерь урожая. Применяемые системы электронного контроля за работой узлов и механизмов комбайна позволяет оперативно управлять процессом, не допуская превышения потерь урожая сверх установленных нормативов.

Для снижения потерь зерна при уборке в конструкцию комбайна должны быть заложены новые технологические решения [1-6]. Перспективным вариантом является использование пневматических устройств на жатке для подвода стеблей и сопровождения убираемой растительной массы. Значительные резервы имеет и молотильно-сепарирующее устройство в плане повышения производительности и качества работы. Необходима также активизация работы соломосепаратора и герметизация воздушнорешетного очистительного устройства.

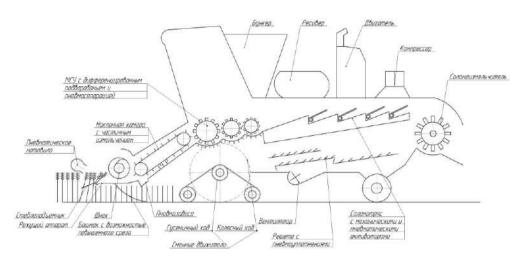


Рис. 1. Проект зерноуборочного комбайна для сокращения потерь зерна

Нуждаются в совершенствовании и методики определения потерь зерна на различных этапах работы комбайна. Для этих целей может применяться специальное оборудование. Возможные потери зерна складываются из потерь срезанных стеблей с колосьями, потерь не срезанных стеблей с колосьями и потерь свободного зерна на землю. Причины потерь свободного зерна в солому в основном связаны с работой молотильного аппарата и соломотряса. Предлагаемые технические решения способны обеспечить значительное сокращение потерь зерна и достичь требуемого уровня урожайности зерновых и зернобобовых культур.

Для обеспечения высокого технического и конкурентоспособного уровня зерноуборочные комбайны должны:

- 1. Укладываться в уровень потерь зерна до 0,5-1,0%.
- 2. Иметь простые и надежные устройства для предотвращения потерь зерна независимо от условий работы и квалификации оператора.
- 3. Требуют совершенствования оперативные методы контроля потерь зерна при комбайнировании.

## Литература

- 1.Патент Республики Беларусь на полезную модель № 3952 «Жатка зерноуборочного комбайна», заявл. 21.02.2007, опубл. 30.10.2007.
- 2. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 4610 «Стеблеподъемник», заявл. 29.06.2008, опубл. 30.08.2008.
- 3. Патент Республики Беларусь № 6407 «Молотильный аппарат зерноуборочного комбайна», заявл. 27.10.2009, опубл. 30.08.2010.
- 4. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 6335 «Молотильное устройство», заявл. 13.11.2009, опубл. 30.06.2010.
- 5. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 10288 «Соломосепаратор зерноуборочного комбайна», заявл. 20.12.2013, опубл. 30.08.2010.

6. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 11506 «Соломотряс зерноуборочного комбайна», заявл. 30.12.2017, опубл. 17.07.2017.

УДК 631.527.4

#### АКТИВНОЕ КОПИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОЛЯ РАБОЧИМИ ОР-ГАНАМИ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Е.Я Строк, Л.Д. Бельчик, А.А. Ананчиков ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь

Эффективность использования кормоуборочного комбайна при скашивании грубостебельных культур и трав определяется точностью копирования рельефа поля путем стабилизации давления рабочей жидкости в полостях гидроцилиндров механизма вывешивания, гидравлически соединенных с пневмогидроаккумуляторами. Это позволяет автоматически поддерживать заданную величину реакции со стороны почвы на рабочие органы. Активное копирование рельефа поля реализуется за счет введения обратной связи по давлению рабочей жидкости.

Рассмотрим функционирование гидравлической системы управления давлением. Электрический сигнал обратной связи от датчика давления поступает в микропроцессорный контроллер для сравнения его с заданным оператором значением. По величине рассогласования согласно определенному закону формируется управляющий сигнал на электрогидравлический регулятор.

Коррекция величины регулируемого давления осуществляется посредством управляющего воздействия с учетом зоны нечувствительности, параметры которой определяют пороги переключения электромагнитов регулятора по трехпозиционной схеме: сообщение напорной линии насоса с полостями гидроцилиндров, соединение указанных полостей с гидробаком или их разобщение с магистралями гидросистемы.

Активное копирование рельефа поля рабочими органами позволяет повысить точность выполнения технологической операции за счет предельно возможного уменьшения реакции со стороны почвы в зоне контакта.

УДК 678.7:678.764.4

#### КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

С.С. Песецкий, В.Н. Коваль

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

Первостепенной задачей машиностроительных производств является повышение работоспособности сельскохозяйственной техники. Надежность работы и долговечность машин и агрегатов напрямую зависит от типа и качества применяемых материалов. Одним из важных направлений повышения эффективности работы машиностроительного комплекса является применение в конструкция машин и механизмов деталей из полимерных композитов. Высокая коррозионная стойкость, способность к восприятию ударных нагрузок, хорошее качество поверхности, и ряд других преимуществ обусловливают все более широкое применение композиционных материалов практически во всех отраслях промышленности, в том числе в и в сельскохозяйственной технике.

В докладе представлены результаты работ по разработке новых термопластичных композиционных материалов, применяемых для изготовления широкого спектра изделий используемых в сельскохозяйственной технике, на основе полимерных материалов, выпускаемых отечественной промышленностью (полиамид 6, полиэтилентерефталат, полиэфирные эластомеры). Смеси получены смешением в расплаве с использованием линии по получению композиционных материалов на основе двухшнекового экструдера.

В работе охарактеризованы важнейшие типы разработанных и перспективных композиционных материалов, создаваемых на основе крупнотоннажных темопластов: смеси и сплавы, огнестойкие, стеклоармированные материалы и нанокомпозиты. Показано, что большинство коммерческих и перспективных композитов разрабатывается на базе смесей крупнотоннажных термопластов.

Важнейшие проблемы, которые решаются при создании таких композитов являются проблемы, связанные с компатибилизацией смесей или, иначе говоря преодолением негативных последствий несовместимости при смешении разнородных полимеров.

Разработанные композиты успешно прошли апробацию при изготовлении широкого спектра технических деталей сельскохозяйственной техники, в числе которых:

- термоэластопласты для уплотнительных деталей гидравлических систем;

- эластомерные ковши картофелеуборочного комбайна;
- полимерные зубья мотовил жатки;
- защитная оплетка гидравлических шлангов и электрических кабелей;
- ударопрочные и сверхударопрочные полиамидные композиты для конструкционных деталей;
  - полиамидный композит для гибких труб пневмосистем тормозов
  - топливные и масляные баки.

Приведены примеры ПКМ, представляющих коммерческий интерес (ударопрочные и суперударопрочные композиты, огнестойкие и высокомодульные материалы, армированные короткими волокнами и др.).

УДК 631.354.2

#### СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ГЛАЗАМИ МЕХАНИЗАТОРОВ

В.В. Гусаров

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Беларусь

Завершающим этапом возделывания сельскохозяйственных культур является уборка, и, даже вырастив высокий урожай, можно потерять значительную его часть во время сбора урожая. Снижение потерь зерна при уборке является приоритетной задачей. По итогам уборочной 2017 года намолочено более 7 млн. тонн. Если даже уборка производилась с допустимым процентом потерь  $1-1.5\,\%$ , то потери составили в масштабах республики от 90 до 135 тыс. тон, а это сопоставимо с намолотом не самого худшего района [1].

Потери за зерноуборочным комбайном слагаются из потерь за жатвенной частью, молотилкой, а также из-за негерметичности комбайна. В основном потери зерна возникают из-за неправильных регулировок комбайна.

В ноябре-декабре 2017 года проводилось обучение механизаторов Витебской области (всего 98 человек) в ГУДОВ «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Могилёвского облисполкома». Одной из тем была «Настройка зерноуборочных комбайнов на максимальную производительность с минимальным уровнем потерь». Перед началом занятий в каждой из групп проводилось анкетирование. На вопрос: «Сколько штук зерен будет находиться на 1 м<sup>2</sup> валка при потерях в 1 % в случае уборки пшеницы урожайностью 40 ц/га?», ни один из механизаторов не ответил правильно. Практически все назвали цифру до  $50 \text{ шт/ м}^2$ , хотя на самом деле эта цифра больше в 7 раз. Это говорит о том, что при уборке нет четкого представления о допустимом уровне потерь. Ни механизаторы, ни агрономические службы хозяйств не владеют методикой определения реального уровня потерь. И поскольку значение потерь при ответах значительно занижено, можно предположить, что комбайны работают не с полной загрузкой, что снижает общую производительность уборочных работ. Также в ходе занятий выяснилось, что только 15 % механизаторов четко представляют алгоритм настройки комбайна на качественную работу. Около 12 % обучаемых, не могли назвать меры устранения какого-либо нарушения качества работы зерноуборочного комбайна (высокие потери, дробление зерна, загрязненное зерно в бункере и др.). Все это говорит о том, что необходимо проводить тематические семинары, посвященные подготовке зерноуборочных комбайнов к уборочным работам, и на этих семинарах проводить обучение не только агрономических и инженерных служб, а и механизаторов. Также следует разработать краткие рекомендации по

настройке комбайна на качественную работу, которые были бы понятны каждому из участников уборочной страды.

На вопрос: «знаете ли Вы, как настроить блок контроля индикации (БКИ) для отображения действительного уровня потерь?», все ответили отрицательно. Установлено, что только 14 человек (возрастом до 30 лет) из 98, пытались настроить БКИ, используя руководство по эксплуатации, однако не получили желаемого результата. Все обучаемые отметили некорректную работу БКИ по индикации потерь зерна при работе. Ни один из механизаторов не смог ответить, что такое режим относительных потерь по площади «S» и времени «t». В ходе занятий звучали фразы: «Комбайн стоит пустой, работает вхолостую без зерна и показывает потери». Все это говорит о том, что необходимо изменить алгоритм настройки БКИ для индикации допустимого уровня потерь, сделать его более простым в понимании.

После того, как обучаемым была изложена методика настройки зерноуборочного комбайна на максимальную производительность с минимальным уровнем потерь, был задан вопрос: «Наличие чего вы бы хотели видеть в комбайне, что бы производить настройку по приведенной методике для снижения потерь зерна?». Ответы по значимости распределились следующим образом:

- 1. Возможность дистанционного регулирования зазоров в решетах. Практически все ответили, что редко регулируют зазор между пластинами решет из-за необходимости останавливать молотилку для проведения данной регулировки.
- 2. Более простое управление БКИ для настройки на индикацию допустимого уровня потерь.
  - 3. Четкость индикации потерь на мониторе без резких скачков.
  - 4. Возможность контроля количества массы подаваемой на домолот.

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что многие механизаторы (в данном случае Витебской области) имеют недостаточные знания по определению потерь зерна, настройке БКИ на отображение уровня потерь. В сложившейся ситуации производителям зерноуборочных комбайнов следует обратить внимание на дополнения зерноуборочных комбайнов рядом функций для уменьшения воздействия человеческого фактора на качество работы зерноуборочного комбайна и разработку более простого «интуитивного» интерфейса управления настройками комбайна, а также проведение обучения по эксплуатации и настройкам комбайнов.

#### Литература

1. Гусаров, В. В. Результаты экспериментальных исследований процесса обмолота бильным молотильным аппаратом с дифференцированным подбарабаньем / В. В. Гусаров, С. В. Курзенков // Вестн. Белорус.гос. с.-х. акад. − 2015. − № 3. − С. 182–188.

УДК 631.354.2.076

#### РЕМЕННОЙ АКТИВАТОР СОЛОМОТРЯСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В.В. Носко, Д.С. Праженик, Д.А. Малявский УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь

Пропускная способность существующих зерноуборочных комбайнов ограничивается производительностью молотильно-сепарирующего устройства, а также эффективностью работы воздушно-решетной очистки и соломотряса. Так по данным машинно-испытательных станций до 20% всего рабочего времени зерноуборочные комбайны простаивают из-за забивания и поломок рабочих органов [1]. Поэтому исследования, связанные с разработкой и обоснованием рациональных параметров активатора зернового вороха для повышения эффективности выделения зерна на стадии очистки, обеспечивающее повышение производительности и качественных показателей технологического процесса, являются актуальными и имеют важное народнохозяйственное значение.

Клавишный соломотряс зерноуборочного комбайна не имеет технологических регулировок и не всегда обеспечивает требуемое качество уборки по потерям зерна. Это является сдерживающим фактором производительности комбайнов в реальных условиях уборки [2]. Для очистки внутренней полости клавиши от вороха применяются различные устройства, среди которых перспективными являются ременные активаторы (Рис. 1).

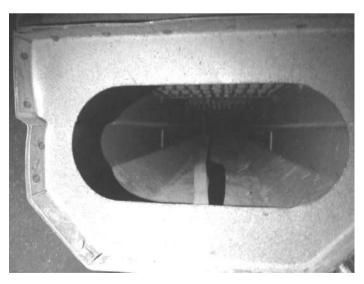


Рис. 1. Ременной активатор

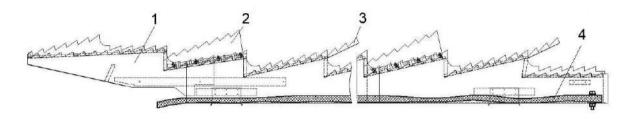
В процессе работы клавишного соломотряса целесообразно увеличить интенсивность сепарации соломистого вороха, чтобы максимально выделить зерно и предотвратить потери урожая. Для этого следует преду-

смотреть установку ременного активатора во все клавиши соломотряса зерноуборочного комбайна, для интенсификации процесса сепарации соломистого вороха.

При сложных условиях уборки (повышенная засоренность посевов, высокая влажность) происходят постоянные забивания внутренней полости клавиши грубым ворохом.

Разработанные активаторы прикрепляются болтовым соединением на днище клавиши соломотряса 1 (Рис. 2).

При работе соломотряса клавиши 1 совершают круговые движения определяемые радиусом кривошипа приводного вала. Прикрепленный к клавишам ременной активатор 4 также совершает колебательные движения.



1 - клавиша; 2 - средний рыхлитель; 3 - боковой рыхлитель, 4-ремень

Рис. 2. Клавиша соломотряса

Опыт эксплуатации зерноуборочных комбайнов показывает, что в реальных условиях работы происходит забивание клавиш соломотряса, что приводит к увеличению потерь зерна и возникновению дополнительных динамических нагрузок на подшипниковые узлы. Считаем целесообразно проведения научных исследований для решения обозначенных задач.

#### Литература

- 1. Машины для уборки зерновых культур: Учебное пособие/ Горшенин В.И., Михеев Н.В. и др.- Мичуринск наукоград РФ: Изд-во Мичурин. гос.агр. ун-та, 2006. -214с.
- 2. Клочков А. Новый активатор соломотряса зерноуборочного комбайна/ А. Клочков [и др.] //«Наше сельское хозяйство» 2016. №13. С. 14-17.
- 3. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-1218 «Палессе GS-12». Инструкция по эксплуатации 182 с.

УДК 621.8

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

П.В. Авраменко, М.М. Дечко, А.В. Захаревский УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь широко применяются высокопроизводительные кормоуборочные комплексы, которые позволяют в короткий срок заготовить необходимые объемы кормов.

Процесс загрузки измельченного растительного материала в транспортные средства для перевозки его к местам складирования или раздачи животным является одним из наиболее важных в технологической цепочке заготовки кормов, так как во многом определяет эффективность эксплуатации кормоуборочных машин и транспортных средств, связанных в едином технологическом процессе.

В настоящее время при загрузке измельченного растительного материала кормоуборочными комбайнами присутствуют потери возникающие по причине отклонение направления движения частиц от траектории потока измельченной растительной массы, что повышает трудовые и материальные затраты на единицу заготавливаемой продукции.

Многие зарубежные производители добились низких потерь при загрузке массы за счет оптимизации параметров транспортирующей части кормоуборочных комбайнов. В частности увеличение радиуса кривизны и длины транспортирующей части позволило в некоторых моделях уменьшить ширину силосопровода и практически полностью закрыть нижнюю его часть.

Традиционно уборку силосных культур осуществляют прямым комбайнированием. При уборке кукурузы на силос используется два режима загрузки транспортного средства кормоуборочным комбайном: продольный и боковой. Первый режим используется при отбивке загонной полосы кормоуборочным комбайном. При этом режиме масса движется в обратном направлении движению кормоуборочного комбайна и силосопроводом направляется в транспортное средство.

При боковом режиме, происходит изменение направление движения массы, в сторону транспортного средства движущегося параллельно кормоуборочному комбайну, посредством установки силосопровода в боковое положение.

Для обоснования параметров транспортирующей части комбайна принимается продольный режим работы, так как траектория полета измельченного растительного материала при данном режиме будет максимальной.

Конструктивными параметрами силосопровода являются: длина силосопровода  $L_{\rm s}$ , вылет силосопровода  $L_{\rm c}$ , его высота  $H_{\rm c}$ , радиус кривизны силосопровода  $R_{\kappa p}$ , ширина верхней  $b_{\rm cm}$ , и высота боковых стенок  $h_{\rm cm}$  силосопровода.

Параметры конфузора (основания силосопровода) и силосопровода обосновываются путем аналитического исследования транспортирования измельченной массы после ускорителя выброса с учетом условий отсутствия забивания.

Траектория полета включает участок движения измельченного материала по силосопроводу и участок траектории свободного падения от точки вылета из силосопровода до кузова транспортного средства.

Расчет баллистической траектории ведется с учетом параметров конфузора, и начало движения принимается от точки схода массы с лопастей ускорителя выброса.

Решение системы дифференциальных уравнений проводиться в инженерном математическом программном обеспечении Mathcad.

Дополнительно проводиться анализ габаритных размеров транспортных средств участвующих в транспортировке измельченной растительной массы к месту хранения с учетом ТР ТС 031/2012 «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним».

При расчетах учитываются и проверяются полученные конструктивные параметры на соответствие требованиям ПДД.

Дополнительно проводиться проверка на соответствие полученных расчетных данных нормативным требованиям ТКП 339-2011(02230).

Согласно полученным расчетам радиусов кривизны силосопровода, вылет  $L_c$  составит 4 м, а высота установки  $H_c$  в рабочее положение от конфузора до наивысшей точки будет составлять 2,7 м. Длина силосопровода  $L_{\rm s}$ , ширина верхней  $b_{cm}$ , и высота боковых стенок  $h_{cm}$  силосопровда зная углы криволинейных участков, рассчитываются по известным формулам.

Результаты расчетов показывают, что выбранные параметры обеспечивают при движении измельченной растительной массы по баллистической траектории прохождение необходимого расстояния 15 м до транспортного средства.

Полученные расчетные данные радиуса кривизны и других параметров силосопровода позволяют изготовить конструкцию, которая обеспечит загрузку транспортных средств практически без потерь измельченной растительной массы.

УДК 631.363

# ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ ФОРСУНКИ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА КОРМОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

П.В. Авраменко<sup>1</sup>, Д.А. Жданко<sup>1</sup>, В.Б. Попов<sup>2</sup> УО «<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь, <sup>2</sup>УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Основная особенность современных высокопроизводительных кормоуборочных комбайнов — это повышенные скоростные характеристики потока измельченного растительного материала, движущегося по технологическому тракту со скоростью от 30 до 70 м/с. В таких условиях внесение жидких консервантов в технологическом тракте существующими устройствами не обеспечивает выполнения действующих агротребований к качеству внесения, в частности: отклонение от заданной дозы внесения и неравномерность распределения препарата не должны превышать 20 %.

На кормоуборочном комбайне консервант может вноситься в его технологический тракт, состоящий из трех частей: жатвенной, измельчающе-ускоряющей, транспортирующей. Для того чтобы избежать контакта коррозионно-активных веществ с рабочими органами комбайна, а также выдержать санитарные нормы по концентрации в рабочей области механизатора веществ, входящих в состав консервантов (химических), подача возможна только в транспортирующую часть технологического тракта.

Транспортирующая часть технологического тракта состоит из конфузора (основание силосопровода), силосопровода и выгрузного козырька.

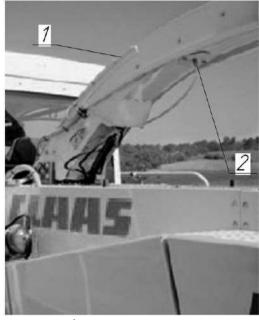
Конфузор представляет собой сужающийся желоб, где происходит формирование потока. На этом участке размерно-весовые характеристики потока нестабильны, поэтому в данном месте устанавливать распылительное устройство нецелесообразно. Пневмокормовой поток в выгрузном козырьке силосопровода также отличается нестабильностью размерновесовых характеристик, при этом если внесение осуществляется за выгрузным козырьком, то дополнительно увеличиваются потери консерванта за счет сноса, отражающей способности потока и действия внешних возмущающих факторов.

Силосопровод отвечает всем предъявляемым требованиям и позволяет обеспечить хороший доступ и визуальный контроль за процессом впрыска консерванта.

Технологически эффективно размещение распылительной форсунки в нижней открытой части силосопровода. В этом случае нет необходимости внесения изменений в конструкцию выгрузного тракта, обеспечивается удобство обслуживания и ремонта, не требуется установка системы

контроля впрыска.

Это подтверждается тем, что многие производители, в частности «CLAAS», «KORNE» (Рис. 1, 2), размещают распылительные форсунки на высокопроизводительных комбайнах с нижней стороны силосопровода.



1 — силосопровод; 2 — распылительная форсунка Рис. 1. Место установки распылительной форсунки на моделях 930-980 серии кормоуборочных комбайнов фирмы «CLAAS» (Германия)



1 – распылительная форсунка;
 2 – силосопровод
 Рис. 2. Место установки распылительной форсунки на моделях ВІG-Х кормоуборочных комбайнов фирмы «Кгопе» (Германия)

Проведенными исследованиями установлен диапазон координат расположения распылительной форсунки на силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800 —  $y_s$ =2,4—2,9 м, обеспечивающих условие минимальной неравномерности внесения. В частности, при координате места дозирования на силосопроводе кормоуборочного комбайна КВК-800  $y_s$  = 2,75 м, были достигнуты следующие значения показателей: минимальная неравномерность внесения ( $x_{min}$ )= 12% и допустимые потери консерванта  $K_{nom}$  = 6%.

УДК 62-8:531.3

# КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС-1218

А.А. Новиков $^1$ , В.А. Шуринов $^1$ , Д.А. Дубовик $^2$ , В.И. Прибыльский $^2$   $^1$ ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь  $^2$ ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь

Зерноуборочный комбайн является технически сложным изделием, конкурентоспособность которого определяется техническим уровнем и надежностью его агрегатов и систем. Одной из таких основных систем зерноуборочного комбайна является очистка, которая предназначена для выделения зерна из вороха, поступающего из-под молотильного устройства и соломотряса.

Основными узлами очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218 являются зерновой и колосовой шнеки, вентилятор, а также стрясная доска, верхний и нижний решетные станы с приводным механизмом, размещенные в ограниченном компоновочном пространстве комбайна. Стрясная доска и решетные станы для реализации технологического процесса по выделению зерна из вороха совершают колебательные движения. При этом в шарнирах и опорах механизма привода очистки возникают переменные по величине и направлению действия нагрузки, которые передаются на раму и вызывают вибрации, а в ряде случаев являются причиной поломок деталей и выхода из строя комбайна. Величина и характер действующих нагрузок определяет комплекс технических решений, обеспечивающий работоспособность и требуемый ресурс очистки.

Поэтому, целью настоящей работы явился кинематический и силовой анализ очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218.

Для проведения кинематического анализа в соответствии с методом векторных контуров [1] очистка представлялась расчетной схемой, состоящей из сочетания схем четырёх однотипных шарнирных четырёхзвенников и ведущего звена (Рис. 1).

В ходе кинематического анализа получены аналитические зависимости координат подвижных шарниров, центров масс звеньев и очистки в целом, скоростей и ускорений подвижных шарниров и основных звеньев от угла поворота ведущего звена.

Задачей силового расчёта являлось определение нагрузок звеньев механизма вследствие действия сил и моментов инерции. Данная задача решалась методом кинетостатики [1]. При этом нагружающими силами являлись силы инерции:

$$F_{Gi} = -W_{Gi}m_{i};$$

$$M_{i} = -\varepsilon_{i}J_{i},$$

где  $F_{Gi}$  — сила инерции i-ого звена механизма, приложенная в центре масс i-ого звена;  $W_{Gi}$  — ускорение центра масс i-ого звена механизма;  $M_i$  — момент пары сил i-ого звена;  $\varepsilon_i$  — угловое ускорение i-ого звена;

 $J_i$  — момент инерции i-ого звена относительно оси, проходящей через центр масс  $G_i$  и перпендикулярной к плоскости движения звена.

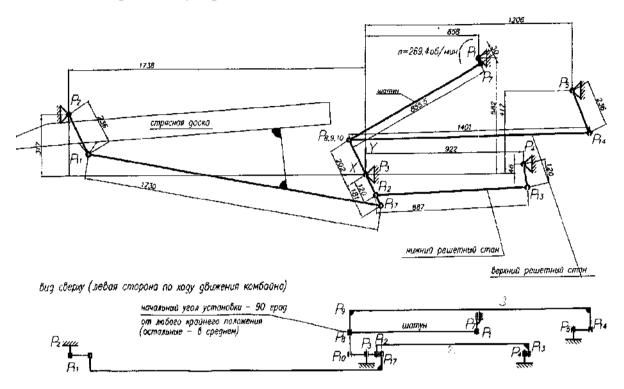


Рис. 1. – Расчетная схема очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218

Для каждой кинематической пары составлялись уравнения равновесия сил и моментов по принципу Д'аламбера:

$$\begin{split} &\sum Fx_i = 0;\\ &\sum Fy_i = 0;\\ &\sum M_i + \left(Fy_{i\_Pj}lx_i - Fx_{i\_Pj}ly_i\right) = 0, \end{split}$$

где  $Fx_i$ ,  $Fy_i$  — составляющие сил реакции i-ого звена по осям x и y;  $lx_i$ ,  $x_i$  — плечи моментов сил инерции и реакции i-ого звена по осям x и y;  $M_i$  — моменты пар сил инерцииi-ого звена;  $(Fy_{i\_Pj}lx_i - Fx_{i\_Pj}ly_i)$  — аналитическое выражение моментов силы i-ого звена; Pj — дополнительный индекс в моментах сил относительно оси шарнира.

В результате проведенной работы определены кинематические и силовые характеристики механизма очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1218.

#### Литература

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М: Наука, 1975. – 638 с.

УДК 631.354.2.076

# АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИМ АППАРАТОМ БАРАБАННОГО ТИПА

#### П.Е. Родзевич

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

Стабильная длина резки, качество резания отдельных порций растительной массы, определяемые остротой лезвий ножей, а также другими геометрическими параметрами, определяют качество измельченного корма. Анализ процесса резания растительной массы (РМ) позволяет обоснованно выбрать геометрические и кинематические параметры режущей пары, снизить удельную энергоемкость процесса измельчения, а также дать рекомендации об улучшения эксплуатационных характеристик ножей.

Разделению РМ на части под воздействием лезвия ножа предшествует процесс ее предварительного сжатия до возникновения на кромке лезвия разрушающего контактного напряжения. Момент возникновения последнего определяется значением критической силы  $P_{\kappa p}$ , прикладываемой к ножу. В большинстве случаев при резании однородных, упруговязких материалов усилие  $P_{\kappa p}$ , при котором завершается процесс сжатия материала и начинается его резание, является максимальным из всех усилий, возникающих в процессе резания. При анализе силового взаимодействия лезвия с растительной массой  $P_{\kappa p}$  является важным объектом исследования.

Аналитическое выражение, определяющее величину критического усилия  $P_{\kappa p}$ , которое необходимо приложить к ножу для того, чтобы под действием лезвия растительная масса начала разделяться на части, имеет вид [1]:

$$P_{\kappa p} = \delta \cdot \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{H_{c \infty}^2}{H} \cdot \left[ tg\beta + f \cdot \sin^2 \beta + \mu \cdot \left( f + \cos^2 \beta \right) \right]$$

В полученное выражение входят как конструктивные параметры лезвия ножа — его острота  $\delta$  и угол заточки  $\beta$ , так и кинематические параметры слоя растительной массы, подаваемого вальцами питающего аппарата: толщина H перерезаемого слоя и толщина  $H_{cж}$  слоя, сжатого лезвием перед моментом начала резания, а также ряд физико-механических параметров: E — модуль упругости материала;  $\mu$  — коэффициент Пуассона; f — коэффициент трения материала о лезвие ножа,  $\sigma_p$  — разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия.

В результате расчетов вышеперечисленных параметров получены значения критического усилия резания  $P_{\kappa p}$  при различной величине  $H_{c \varkappa c}$ .

Вызывает интерес определение критических сил резания при различных углах заточки  $\beta$ , изменяющихся в пределах от 30 до 36°[2], для диапазона толщин  $\delta$  кромки лезвия с учетом затупления в процессе эксплуатации (от 0,2 до 0,5 мм), а также от изменения величины сжатого слоя от 1 до 15 мм. На основании полученных результатов построен график зависимости критической силы резания от сжатого слоя растительной массы для различных углов заточки ножа с учетом остроты лезвия (Рис. 1).

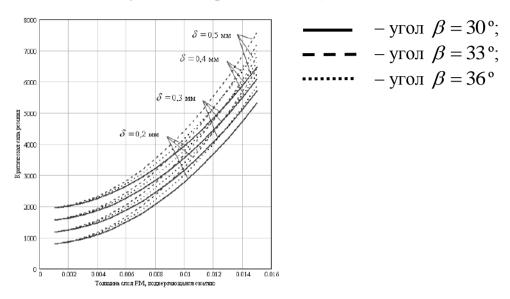


Рис. 1. – График зависимости критической силы резания от сжатого слоя РМ для различных углов заточки ножа и остроты лезвия

- 1. Резник Н.Е. Кормоуборочные комбайны / Н.Е. Резник. –М.: «Машиностроение», 1980. –375 с.
- 2. Родзевич П.Е. Влияние углов установки на напряженно-деформированное состояние ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / П.Е. Родзевич, В.В. Миренков, В.Ф. Хиженок, Е.П. Шельманова // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель. 2016. №1. С. 31-37.

УДК 62-83-52

# РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.В. Тодарев, В.Б. Попов, М.Н. Погуляев УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Испытания новых и модернизированных с/х машин – неотъемлемая часть процесса создание уборочной техники. Важной частью этого процесса являются лабораторно-полевые испытания, сопровождающиеся повышенными затратами энергии и ресурсов.

Особенности создания новой и модернизации серийной с/х техники неизбежно связаны:

- с сезонностью натурных (хозяйственных) испытаний;
- с относительно большими затратами топливно-энергетических ресурсов;
- с неизбежными контактами с природными факторами растения, почва.

Кроме того организация полевых испытаний подразумевает затраты на:

- содержание оснащенной в широких пределах станции испытаний;
- дорогостоящую (мобильную) контрольно-измерительную аппаратуру.

Решение вышеупомянутых проблем состоит в частичной замене сезонных полевых испытаний на круглогодичные стендовые испытания агрегатов, устройств, узлов и отдельных элементов c/x машин.

При этом стенды должны:

- создавать нагрузку, соответствующую реальной по величине и характеру с возможностью получения предельных или запредельных величин.
- быть энергосберегающими, т.е. с возможностью рекуперации (или вторичного использования) затраченной в процессе испытаний энергии.

Следует отметить, что наилучшими возможностями в этих направлениях обладают электромеханические испытательные стенды, несколько хуже — электрогидравлические, наименьшие возможности у механических испытательных стендов.

Преимуществом электромеханических испытательных стендов, помимо их энергоэффективности, когда мощность нагрузки в виде электрической мощности возвращается (рекуперируется) в электрическую сеть практически полностью, за вычетом обязательных потерь мощности в элементах стенда, кстати, КПД у электродвигателей и генераторов довольно высокий: 0.8-0.9, а у статических преобразователей еще выше 0.95-0.98, является их быстродействие, возможность реализовать различ-

ные законы изменения нагрузки, возможность уверенно функционировать в широком диапазоне климатических параметров.

Важной особенностью электромеханических испытаний стендов является возможность их модульной компоновки, что снижает капитальные затраты и позволяет реализовать режим нагружения объекта путем перекомпоновки и объединения стендов, получая широкий диапазон регулирования по величине и характеру нагрузки. И хотя сам электромеханический стенд испытаний уникален, реализован под конкретный объект, использование серийных электродвигателей, генераторов и преобразователей обусловливает его сравнительно низкую стоимость.

Естественно, не все виды испытаний могут быть реализованы с помощью электромеханических стендов, применяются и электрогидравлические и механические стенды на указанных принципах. Область применения электрогидравлических стендов — статические нагрузки.

Вершиной стендовых испытаний должны быть испытания в целом машины на комплексном испытательном стенде, где имитировалась бы не только нагрузка рабочего режима с номинальными или предельными параметрами на все составные части, но и климатические особенности — температура, влажность, запыленность и т.п.

Такие испытания можно проводить круглогодично, а работа на предельных нагрузках позволит в короткие сроки определить реальные показатели и возможности узлов машин.

- 1. Дорощенко И.В. Анализ динамики электромеханического испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада с различными системами автоматического регулирования нагрузочного момента / И.В. Дорощенко // Вестник Гомельского гос. техн. университета им. П.О. Сухого. -2017.- №3. С. 35-42.
- 2. Дорощенко И.В. Исследование гармонического состава потребляемого тока асинхронно-вентильного каскада / И.В. Дорощенко, В.С. Захаренко, М.Н. Погуляев // Вестник Гомельского гос. техн. университета им. П.О. Сухого. -2015. N 1. С. 51 57.

УДК 631.3

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬ-НОСТИ КЛАВИШНОГО СОЛОМОТРЯСА С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВАТОРА БАРАБАННОГО ТИПА

С. И. Кирилюк

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

Зерновой ворох, после обмолота, попадает на соломотряс, совершающий колебательные движения, предварительно перераспределяется — зерно и тяжелые соломистые частицы опускаются вниз и движутся в нижней зоне слоя, а легкие и крупные соломенные частицы перемещаются в его верхней зоне. Двухвальный клавишный соломотряс имеет конструктивные ограничения по производительности. С увеличением производительности при сохранении габаритных размеров могут значительно увеличиваться потери. Поэтому для сохранения габаритных размеров соломотряса и повышения производительности, а также улучшения сепарации на соломотрясе практикуют установку барабана активатора. Барабаны активаторы установлены на комбайнах ОАО «Гомсельмаш» а также, фирмCLAAS LEXION, JohnDeere Cepuя W, Сампо SR3000и других.

Не вымолоченные зёрна в соломе вытрясти соломотрясами довольно таки сложно, с учётом того, что солома при уборке зачастую бывает засорённой, влажной и плотной. Для более интенсивного разрыхления соломы над соломотрясами размещается барабан активатор с управляемыми пальцами. Барабан активатор позволяет более равномерно распределять солому по всей ширине соломотряса. А также разрывает поток соломы, разрежает плотный слой соломистой массы, тем самым улучшает сепарацию соломы, позволяя остаткам зерна более легко проходить сквозь него попадая, на соломотряс и далее по технологическому тракту в бункер. Максимально эффективно в этом случае используется длина соломотряса, а солома сохраняет структуру и качество. Регулируя уровень интенсивности работы пальцев, можно быстро реагировать на изменение условий уборки.

Рассмотрим основные параметры барабана активатора, влияющие на параметры сепарации. Для устранения наматывания соломы на активатор необходимо чтобы длина окружности барабана активатора  $L=2\pi R_a$  была больше максимальной длины стеблей соломы. При длине стеблей 1-1,5м, минимальный радиус  $R_a$  рабочей части барабана активатора должен удо-

влетворять условию,  $R_a \succ \frac{L}{2\pi}$ , т.е.  $R_a \succ 0.16 - 2.4$  м. На реальных комбайнах он равен  $R_a = 0.3 - 0.35$  м.

Окружная скорость должна быть больше линейной скорости передвижения соломы по соломотрясу. Коэффициент соотношения скоростей должен удовлетворять неравенству  $\lambda = \frac{V_a}{V_c} \succ 1$ , где  $V_a = \omega_a \cdot R_a$  – окружная

скорость активатора,  $V_c = \omega_c \cdot R_{\mbox{\tiny K}} -$  скорость клавиш соломотряса,  $R_{\rm \tiny K} = 50-60\,{\rm MM} - {\rm pадиуc}$  кривошипа (коленчатого вала соломотряса).Для большинства комбайнов частота вращения барабана активатора находится в диапазоне  $\omega_a = 10-15$  рад/с. Тогда окружная скорость активатора составляет  $V_a = 3 - 4$  м/с. Частота вращения коленчатого вала соломотряса равна  $\omega_c = 20-25\,\mathrm{pag/c}$ . Тогда окружная скорость клавиш соломотряса равна $V_c=1,2-1,5$  (м/с). Таким образом, коэффициент соотношения скоростей для большинства комбайнов находится в диапазоне  $\lambda = 2,5-3$ . Чем больше коэффициент  $\lambda$ , тем более разреженным оказывается слой соломы и тем легче зерну пройти сквозь этот слой и попасть на решета. Чем больше толщина подающегося слоя хлебной массы, тем выше должен быть этот коэффициент. Сдерживающим фактором при увеличении дявляется риск наматывания соломы на активатор. Еще одним фактором, влияющим на интенсивность очистки является зазор между клавишами соломотряса и барабаном активатора h (Рис. 1). При увеличении толщины хлебной массы для более качественной сепарации целесообразно увеличивать величину, h. Этот зазор должен иметь возможность изменяться желательно в автоматизированном режиме. Для большинства комбайнов зазор равен h = 70 - 110 mm.

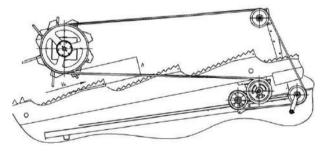


Рис. 1. Схема работы барабана активатора.

Применение барабана активатора позволяет повысить пропускную способность клавишного соломотряса без изменения его габаритных размеров. При этом несколько возрастает металлоемкость, и энергоемкость процесса сепарации, но удельные энергозатраты снижаются. Что позволяет говорить о целесообразности применения барабана активатора. Но для эффективной его работы, при изменении толщины слоя соломы. Необходимо иметь возможность регулировать в автоматическом режиме кинематические параметры работы барабана, такие как окружную скорость, радиус и зазор между барабаном и соломотрясом.

УДК 621.89

# РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕ-ДАЧЕ С ТОЧЕЧНЫМ КОНТАКТОМ

#### В.Н. Пархоменко

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

В процессе работы зубчатой передачи (системы шестерня-колесо) зубья нагреваются, что влияет на распределение контактных давлений по площадке контакта. Пространственная контактная задача с учетом тепловыделения применительно к деталям машин и механизмов до сих пор является актуальной. Большое количество работ посвящено изучению данного вопроса.

Рассматривается термоупругая задача о контакте зубьев (шестерни и колеса) с начальным контактом в точке. При этом задаются радиусами кривизны контактирующих тел в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Двумерное интегральное уравнение контактной задачи термоупругости первого рода имеет вид

$$\delta - \frac{x_1^2}{2R_1} - \frac{x_2^2}{2R_2} = \frac{(g_1 + g_2)}{2\pi} \iint \frac{1}{R} p(y_1 y_2) dy_1 dy_2 -$$

$$- \frac{(\eta_1 + \mu_2)}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{1}{R} \theta_0(y_1 y_2) dy_1 dy_2, \qquad \text{ПРИ} \quad (x_1, x_2) \in \Omega.$$

$$(1)$$

Введем обозначение 
$$F(x_1, x_2) = (\theta_1 + \theta_2)P(x_1, x_2) - (\eta_1 + \eta_2)\theta_0(x_1, x_2)$$
 (2) Тогда уравнение (1) примет такой вид:

$$\frac{1}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{1}{R} F(y_1, y_2) dy_1 dy_2 = \delta - \frac{x_1^2}{2R_1} - \frac{x_2^2}{2R_2} \text{при } (x_1, x_2) \in \Omega.$$
 (3)

Из теории потенциала известно, что решение уравнения (3) должно обращаться в нуль на границе элемента Е.

$$E_0$$
:  $\frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} = 1$ , где  $a, b \ (a \ge b)$  - полуоси эллипса.

Решение уравнения (3), удовлетворяющее этому условию имеет вид:

$$F(x_1, x_2) = C \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right)^{1/2} , (x_1, x_2) \in \Omega.$$
 (4)

Условие равновесия 
$$P = \iint_{\Omega} P(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$
, (5)

где P - нормальная сила, прижимающая упругие тела.

На основании (2) и (4), имеем

$$C\left(1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2}\right)^{1/2} = (\theta_1 + \theta_2)P(x_1, x_2) - (\eta_1 + \eta_2)\theta_0(x_1, x_2)$$

Отсюда находим 
$$P(x_1, x_2) = \frac{C}{g_1 + g_2} \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right)^{1/2} + \frac{\eta_1 + \eta_2}{g_1 + g_2} \theta_0(x_1, x_2), (x_1, x_2) \in \Omega$$
 (6)

Подставляя (6) в условие равновесия (5), получаем

$$C = \frac{3}{2} \frac{1}{\pi a b} \left[ (\theta_1 + \theta_2) P - (\eta_1 + \eta_2) D \right]$$
 (7)

ГДе 
$$D = \iint_{\Omega} \theta_0(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$
 (8)

На основании (6) и (7), окончательно имеем

$$P(x_1, x_2) = \frac{3}{2\pi ab} (P - \gamma D) \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right)^{1/2} + \gamma \theta_0(x_1, x_2) \text{ при } (x_1, x_2) \in \Omega$$
 (9)

Формула (9) определяет распределение давления по эллиптической площади контакта. Здесь  $\gamma = \frac{\eta_1 + \eta_2}{g_1 + g_2}$ .

Исследуем влияние температуры на величину контактного давления и размеры области контакта. В основу исследования положим интегральное уравнение (1). Решение этого уравнения дается формулой (9). Для дальнейшего необходимо конкретизировать вид функции  $\theta_0(x_1, x_2)$ , входящей в формулу (9).

Известно, что функцию  $\theta_0(x_1, x_2)$  целесообразно принять в таком виде:

$$Q_0(x_1, x_2) = Q_0 \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right) \text{ при } (x_1, x_2) \in \Omega,$$
 (10)

где  $Q_0$  - температура в центре площадки контакта.

Подставляя (10) в (9), находим 
$$P(x_1, x_2) = \frac{3}{2} \left( P_c - \frac{1}{2} \gamma \theta_0 \right) \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right)^{1/2} +$$

$$+ \gamma \theta_0 \left( 1 - \frac{x_1^2}{a^2} - \frac{x_2^2}{b^2} \right) \text{ при } (x_1, x_2) \in \Omega.$$
(11)

Давление в центре области контакта 
$$P_{\text{max}} = \frac{3}{2} P_c + \frac{1}{4} \gamma \theta_0$$
, (12)

Значения расчетных контактных напряжений одинаковы для шестерни и колеса. Поэтому расчеты на прочность выполняют для того из колес пары, у которого меньшее допускаемое напряжение (чаще это бывает колесо, а не шестерня). Полученные выше формулы используют для проверочного расчета, когда все необходимые размеры и другие параметры зубчатой передачи известны.

По этим формулам можно вычислять давление в точках, расположенных на осях координат. В этих формулах давление  $P^T$  выражается в МПа.

Решена пространственная термоупругая контактная задача применительно к зубчатой передаче с первоначально точечным контактом. Получены формулы для определения контактных напряжений на площадке контакта.

УДК 631.365.4

# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ОЧИСТКИ САМОХОДНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В.Б. Попов, А.А. Новиков УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Используемая в зерноуборочных комбайнах "Полесье" система очистки (Рис.1) расположена в самоходной молотилке (СМ) и состоит их вентилятора, щнеков, элеватора, поддонов и механизма очистки (МО) включающего: маховик, шатуны, двуплечие рычаги, штанги, подвески и рабочие органы — стрясную доску, верхний и нижний решетные станы, шарнирно закрепленные на раме. Все известные двухстанные МО зерноуборочных комбайнов из ближнего и дальнего зарубежья в работе характеризуется неуравновешенностью движущихся в противофазе звеньев. Причем основное воздействие на раму МО оказывают силы инерции рабочих органов (РО), масса которых более чем на порядок выше массы остальных элементов МО. Колебания рамы очистки, в свою очередь, передаются на корпус СМ, что снижает эксплуатационную надежность разъемных соединений и в целом её несущей конструкции.

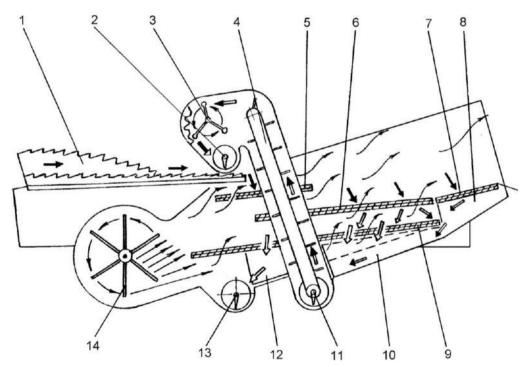


Рис.1. Схема работы системы очистки

1 — стрясная доска; 2 — шнек распределительный; 3 — устройство домолачивающее; 4 — элеватор колосовой; 5 — дополнительное решето; 6 — решето верхнее; 7 - удлинитель; 8 — поддон удлинителя; 9 — решето нижнее; 10 — поддон колосовой; 11 — шнек колосовой; 12 — поддон зерновой; 13 — шнек зерновой; 14 — вентилятор

В первом приближении, если массами шатунов и подвесок пренебречь или привести их к основным массам, МО представляет собой трехмассовую механическую систему [1]. Следует отметить, что каждый из рабочих органов представляет собой отработанную конструкцию со сложившимся относительным положением рабочих элементов, а также оптимальной амплитудой колебаний и траекториями движения характерных точек, варьировать которыми затруднительно, поскольку характер движения РО обусловлен требованиями качественного выполнения технологического процесса очистки.

Требования конкурентоспособности вынуждают увеличивать объём исследований на ранних этапах проектирования, время на доводку опытного образца сокращают за счёт исследования адекватной ФММ, позволяющий выполнить многовариантный анализ задачи.

Статическое уравновешивание МО реализуется только если центр масс будет оставаться неподвижным или двигаться равномерно и прямолинейно при работе механизма [2]. Последнее невозможно, так как центр масс МО за цикл (1 оборот ведущего звена - кривошипа) описывает криволинейную траекторию. Поэтому, синтезируя МО с учётом вышеупомянутых ограничений, приходится удовлетворяться его частичным уравновешиванием, выражающемся в сокращении площади фигуры, описываемой центром масс МО за цикл.

Постановка задачи кинетостатического анализа МО в соответствии с исходной 3D моделью ведёт к формированию сложной математической модели. Однако, учитывая некоторые особенности трехмерной схемы МО и идеализируя механические свойства его звеньев, например, симметрию схемы в продольной плоскости, параллельность между собой осей, проходящих через центры шарниров и несжимаемость звеньев, в проекции на продольную плоскость симметрии структура МО, идентифицируется плоским одноподвижным десятизвенным шарнирно-рычажным механизмом (Рис.2).

Структура МО по классификации Ассура - Артоболевского [4] следующая: механизм 1-го класса (звено  $l_1$ ), к которому последовательно присоединена группа Ассура 2-го класса, 1-го вида (звенья  $l_2$ - $l_3$ ), к которой, в свою очередь, параллельно присоединены 3 три группы Ассура 2-го класса 1-го вида (звенья  $l_4$ - $l_5$ ,  $l_6$ - $l_7$ ,  $l_8$ - $l_9$ ).

По результатам геометрического анализа были определены углы, образуемые подвижными звеньями МО в правой декартовой системе координат и координаты центров подвижных шарниров в зависимости от обобщенной координаты — угла кривошипа  $(l_1)$  за один его оборот.

Аналитические выражения угловых скоростей и ускорений подвижных звеньев были получены на основе дифференцирования по обобщенной координате выражений для соответствующих углов.

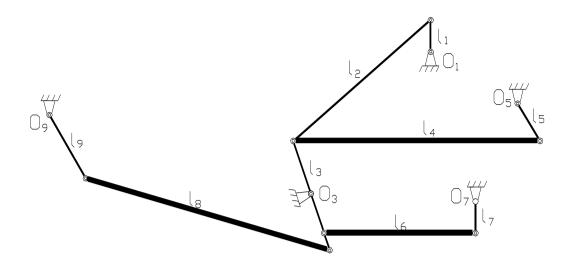


Рис. 2. Геометрическая модель механизма очистки зерноуборочного комбайна

На их основе были получены выражения для линейных скоростей и ускорений центров масс звеньев. Как геометрический, так и кинематический анализы МО были выполнены на основе метода замкнутых векторных контуров [3]. Для проверки правильности расчета кинематические характеристики определялись также по известным методам численного дифференцирования.

Силовой анализ МО выполнялся по группам Ассура в обратном порядке, с учетом влияния сил и моментов инерции, действующих на звенья. По результатам силового анализа были определены реакции в шарнирах МО, а затем и потери на трение. Предварительный анализ показал, что инерционные характеристики маховика и связанного с ним вентилятора оказывают существенное стабилизирующее влияние на колебание угловой скорости кривошипа за цикл.

Представленный здесь алгоритм расчета может быть использован для аналитических исследований МО аналогичной структуры. Программные модули могут при необходимости дополняться и составляют основу для программы параметрического синтеза МО.

- 1.Литвинов А.И, Мещеряков И.К., Курач А. И.. Уравновешенная очистка для зерноуборочного комбайна. «Тракторы и сельхозмашины», 1988, №3.
- 2. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. М.: Машиностроение. 1982.- 256с.: ил.
- 3. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др. Теория механизмов и машин М.: Высш. шк., 1987.- 496с.: ил.

УДК 658.512

# ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ «ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ» В САПР УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

В.Б. Попов<sup>1</sup>, О.В. Рехлицкий<sup>2</sup> <sup>1</sup>УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», <sup>2</sup>Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

С девяностых годов прошлого века прикладное математическое и программное обеспечения (ПО) автоматизированного проектирования комбайнов в ГСКБ формировались в условиях количественного преобладания не связанных друг с другом функциональных математических моделей (ФММ) и программ для выполнения соответствующих инженерных расчетов [1]. Первая декада нынешнего века сопровождалось улучшением характеристик ПЭВМ, расширением возможностей операционных систем и базового ПО, а также внедрением в практику конструирования сложных технических объектов (СТО) связей с Internet и локальными вычислительными системами (ЛВС) предприятий.

В условиях напряженной рыночной конкуренции для ускоренного продвижения на рынок новых изделий задача обеспечения надежного управления всем объемом разнородных данных, которые производились, хранились и использовались в разных информационных системах, сосуществование которых на предприятии связывалось с информационной поддержкой его продукции в течение ее жизненного цикла, была чрезвычайно актуальной. Для решения задач конструирования СТО необходимо было получать для дальнейшей обработки соответствующую информацию в нужное время, в нужном виде в конкретном месте ЛВС предприятия. Неоднократно делавшиеся попытки адаптировать разные версииAutoCAD к нуждам отечественных конструкторов, косвенно способствовали появлению в поле их зрения новых САПР.

Для решения такой задачи компания Parametric Technology Corp (РТС) - мировой лидер в области создания промышленных программных продуктов, предложила адекватное решение - систему Windchill [2]. Windchill — это инструмент, предназначенный для управления жизненным циклом изделия (РLМ - Product Lifecycle Management), организации совместной работы и автоматизации процессов управления данными об изделии в распределенной среде проектирования. РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» с 2009 года осуществляет эксплуатацию системы Windchill PDMLink.

Одной из трех крупнейших CAD/CAM/CAE-систем верхнего уровня, и весьма успешной, является система трехмерного проектирования CREOParametric (Pro/ENGINEER), которая является основным инструмен-

том в системе разработки изделий РТС. CREO (Pro/ENGINEER) объединяет в себе мощные инструменты проектирования и библиотеки эффективных специализированных модулей, поддерживающих подсистему "Инженерные расчеты" САПР уборочной техники.

В настоящее время в САПР (CAD, CAM, CAEsystems) разрабатывают СТО комплексно, начиная с формализации поставленной задачи и заканчивая получением конструкторской документации (КД) и программами для оборудования с числовым программным управлением.

Пакет интеграции Windchill Desktop Integration - это подключаемый модуль к приложениям Microsoft Office, который позволяет этим приложениям напрямую взаимодействовать с системой PDMLink, что важно для подготовки инженеров-конструкторов в ГГТУ им П.О. Сухого. После установки пакета интеграции в панели инструментов Microsoft Office появляется меню Windchill. Оно позволяет студентам управлять документами Microsoft Office в системе PDMLink, не выходя из создавшего их приложения. В настоящее время пакет интеграции работает с Microsoft Word, Excel и PowerPoint.

В НТЦК с использованием Windchill и прикладных программ, созданных в среде Mathcad 15, в системе CreO Parametric были разработаны следующие изделия:

- жатка для грубостебельных культур КВК-02;
- -жатка для трав КВК-05;
- комбайн полуприцепной картофелеуборочный КПБ-260 и его модификации;
  - комплекс высокопроизводительный кормоуборочный КВК-8060;
  - комбайн початкоуборочный самоходный КПС-6;
  - косилка самоходная КС-200
  - косилка самоходная КС-100
- комбайны зерноуборочные самоходные КЗС-1119, КЗС-1319, КЗС-1624-1 и другие машины.

В тоже время отсутствует привязка расчетов, выполненных с использованием прикладных программ, к конкретным двумерным чертежам и трехмерным моделям, выполненным с использованием CreO Parametric, что создает определенные трудности разработчику при поиске соответствующей информации и анализе жизненного цикла изделия с целью принятия решений о его модифицировании, улучшении или использовании в других разработках.

Необходимо более активно использовать возможности системы Windchill, предоставляющей информационную поддержку всех задач, возникающих на всех этапах жизненного цикла изделия и являющейся информационной платформой реализации CALS-технологий.

Благодаря модулю ProductView, пользователи всего предприятия «получают возможность отображать любые типы информации об изделии - от документов Microsoft Office до двумерных чертежей и трехмерных моделей. Все это делается с помощью привычного Web-браузера.

ProductView создает единую интегрированную среду для отображения моделей и изучения структуры изделия и связанных с ней данных» [3].

Упомянутые здесь программный комплексы, как и любые другие САПР, постоянно развивается и от версии к версии повышаются возможности моделирования все более сложных изделий, постоянно увеличивается количество библиотек, а их содержание совершенствуется, прибавляются разрабатываемые в НТЦ комбайностроения прикладные программы.

Применение Windchill PDMLinku Pro/ENGINEER обеспечивает превращение электронных данных о проектируемой с/х машине в важнейший бизнес-ресурс предприятия. Такой подход обеспечивает проектирование конкурентоспособной продукции и её сопровождение в течении всего жизненного цикла, одновременно сокращая время выхода с/х техники на рынок и снижая сопутствующие затраты на её производство и поддержку в процессе эксплуатации.

- 1.Попов В.Б. Формирование подсистемы инженерных расчетов из автономных прикладных программ / В.Б. Попов // Тракторы и сельскохозяйственные ашины 1990. №2 С. 14-15.
- 2. Использование Pro/ENGINEER Wildfire вместе с Windchill® Руководство по управлению данными Pro/ENGINEER в системе Windchill, 2005.
- 3. Климов В.Е. Windchill Web-технология для создания интегрированной информационной среды современного предприятия/ Климов В.Е., Клишин В.В.// САПР и графика-1999.-№11.- С.6-11.

УДК 621.793.7

# НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В УЗЛАХ СУХОГО ТРЕНИЯ СЕЛЬСКОХЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

#### А.В. Голопятин

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

Нанесение на рабочие поверхности деталей защитных покрытий являются одним из наиболее эффективных технологических примеров, используемых для повышения работоспособности узлов трения машин и механизмов. В последние годы во всех промышленно развитых странах интенсивно разрабатываются технологии создания композиционных материалов на основе полимеров и методы нанесения покрытия из них. Полимерные покрытия используются для защиты деталей от коррозии и изнашивания, электрической изоляции и герметизации соединений. Их способность гасить колебания и малая удельная масса используется при конструировании широкого спектра механических систем.

Выбор методов нанесения полимерных покрытий определяется геометрическими параметрами покрываемых деталей и изделий, их конструктивными и технологическими особенностями, условиями будущей эксплуатации, а также необходимой толщиной функционального полимерного слоя. Единственным фактором, объединяющим все имеющиеся способы, является термообработка (или термическое воздействие в процессе нанесения) полимерного слоя, необходимая для образования устойчивой адгезионной связи полимера с подложкой.

Нанесения покрытий полимерными порошками имеет следующие преимущества перед другими способами:

- наносимый порошковый материал находится в твердом состоянии, благодаря чему улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, и уменьшается пожароопасность процесса;
- возможно получение покрытий из широкого спектра полимерных материалов;
- обеспечивается достаточно высокая прочность сцепления покрытия с подложкой;
- покрытия не требуют сушки и окончания процесса нанесения могут сразу же подвергаться дополнительной термообработке;
- покрытия из порошков можно наносить из изделия любой конфигурации.

Наибольшее распространение в промышленности на сегодняшний день получили следующие способы нанесения покрытий из полимерных порошковых материалов: нанесение полимерного покрытия из псевдоожиженного слоя; электростатическое нанесение; термоструйное напыление.

Каждый из перечисленных выше методов обладает своими преимуществами и недостатками, определяющими его эффективную область применения, однако первые два способа могут быть реализованы только при изготовлении изделий и при наличии специальных камер, ванн и печей. Причём их применение ограничивается также энергетическими проблемами, возникающими при нагреве крупногабаритных деталей, поскольку требуемая плотность и адгезия достигаются последующей термообработкой сформированного слоя. Поэтому одними из наиболее экономичных и простых в реализации методов нанесения полимерных покрытий являются методы термоструйного (газотермическго) напыления. Позволяющие формировать и оплавлять слой в одной операции.

Термоструйные методы основаны на обработке поверхностей покрываемых изделий струёй нагретого до высокопластичного состояния или плавления дисперсного полимерного материала. К таким относятся: теплолучевое напыление, распыление расплава (пневмоэкструзионный), газопламенное напыление, плазменное напыление.

Сущность процесса газопламенного напыления заключаются в формировании на поверхности изделия слоя из частиц напыляемого материала, обладающих достаточным запасом тепловой и кинетической энергии в результате взаимодействия со струёй газового пламени. Струя пламени образуется в результате сгорания горючей смеси "окислитель — горючий газ", вытекающей из сопловых отверстий горелки с большой скоростью. Напыляемый материал подается в высокотемпературную зону пламени в виде полимерного порошка. Попадая в струю частицы порошкового материала нагреваются до высокопластичного состояния и приобретают скорость 20...40 м/с. Скорость полета частиц порошка зависит от соотношения окислителя и горючего газа в смеси количества обдувающего газа, расстояния от среза сопла, количества вводимого в пламя порошка и его плотности, гранулометрического состава и др.

К основным достоинствам газопламенного напыления покрытий относятся: возможность получения покрытий из большинства полимерных материалов; возможность регулирования газового режима работы горелки позволяет управлять химическим составом среды (восстановительная, нейтральная, окислительная); низкий уровень шума и излучений; легкость и простота обслуживания оборудования; гибкость технологии и мобильность оборудования, что позволяет производить напыление на месте без демонтажа изделий.

Метод газопламенного напыления полимерных покрытий может быть применён при проектировании и изготовлении деталей сложной конфигурации узлов сухого трения сельскохозяйственных машин.

УДК 631.354.2:339.137

## ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАССОВОГО БЕ-ЛОРУССКОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

А.С. Шантыко, С.А. Федорович, В.К. Липская Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Зерноуборочное комбайностроение относительно новое направление для сельскохозяйственного машиностроения Республики Беларусь, тем не менее, зерноуборочные комбайны отечественного производства поставляются сегодня не только на внутренний рынок, но и на рынки России, Украины, Казахстана, а также находят потребителей в странах дальнего зарубежья, таких как Китай, Аргентина, Узбекистан, Чехия, Иран и других.

ОАО «Гомсельмаш» выпускает широкую гамму зерноуборочных комбайнов, различающихся по классам пропускной способности, типам молотильно-сепарирующих устройств (МСУ), количеству и расположению барабанов, типу ходовой системы и др. Так, в настоящее время на предприятии серийно производятся комбайны следующих классов пропускной способности: КЗС-5 / КЗС-575 – 5–6 кг/с; КЗС-812 / КЗС-812С / КЗС-812К – 8 кг/с; КЗС-10К – 10 кг/с; КЗС-1218 / КЗС-1218А-1 / КЗС-2-1218Р – 12 кг/с; КЗС-1420 – 14 кг/с и КЗС-1624-1 – 16 кг/с. Величина пропускной способности машин указана для их работы в стандартных условиях, при нормативных требованиях к агрофону. Машины агрегатируются со специальными адаптерами для уборки различных зерновых и ряда других культур: зерновыми жатками и подборщиками, приспособлениями для уборки рапса, комплектами для уборки кукурузы на зерно, жатками для уборки подсолнечника и сои.

Такое многообразие машин и адаптеров к ним дает возможность потребителям осуществлять свой выбор в зависимости от имеющихся у них:

- видов убираемых культур или их соотношения;
- почвенно-климатических условий эксплуатации;
- размера посевных площадей;
- урожайности и контурности полей;
- характеристик убираемых культур (полеглость, влажность, засоренность и т.д.);
  - некоторых других особенностей уборки.

Следует отметить, что в настоящее время наиболее востребованными зерноуборочными комбайнами в Республике Беларусь и Российской Федерации остаются комбайны класса пропускной способности 11–12 кг/с. Это подтверждают данные об объемах закупаемых машин такого класса в названных странах.

Так, Российской Федерацией в 2015 г. было приобретено 4312 шт. зерноуборочных комбайнов, в 2016 г. – 5915 шт. [1, 2], из них около

30% белорусского производства [3], большая часть из которых ( $\approx 65\%$ ) комбайны K3C-1218 (класс пропускной способности 12 кг/с). В то же время в 2016 г. общее количество приобретенных машин в России, относящихся к классу 11-12 кг/с белорусского (K3C-1218) и российского производства («Acros-585» и «Acros-595 plus») составило около 50% от всех закупленных зерноуборочных комбайнов.

В то же время парк зерноуборочных комбайнов Республики Беларусь на 60 % состоит из машин пропускной способности 12 кг/с, в том числе 5352 ед. или 58 % составляют КЗС-1218, что делает этот комбайн массовой машиной для Беларуси и России.

В 2014—2016 гг. была проведена глубокая модернизация зерноуборочного комбайна КЗС-1218, в результате чего в 2016 г. на серию поставлена машина КЗС-1218А-1, обладающая целым рядом преимуществ, позволивших еще больше повысить ее привлекательность для потребителей и конкурентоспособность.

К основным изменениям, внесенным в конструкцию комбайна КЗС-1218А-1 по сравнению с КЗС-1218, относятся следующие:

- изменен внешний вид и эргономика комбайна применены боковые гибридно-пластиковые капоты и декоративные пластиковые ограждения на капоте соломотряса. Изменены транспортные фары, бампер и маски на подрамнике кабины, а также материал отделки внутри кабины;
- увеличен объем зернового бункера до 9 м<sup>3</sup> для обеспечения роста производительности за час сменного времени;
- установлено вибродно в бункере для выгрузки зерна повышенной влажности и исключения сводообразованя;
- опционально устанавливается воздушный фильтр повышенной пылеемкости MANN-HUMMAL позволяет увеличить время между техническим обслуживанием;
- возможность выбора двигателя различных производителей (Mercedes, Volvo Penta, ЯМЗ) и применения таких комплектующих как многофункциональный разъем STUCCHI (соединение зерновой жатки с молотилкой) и других гидравлических импортных комплектующих;
- изменена конструкция наклонной камеры (повышена ее надежность и удобство работы оператора комбайна) установлен пылеотсос, использованы транспортные цепи IVIS и приводная четырех ручьевая ременная передача;
- использована усиленная стрясная доска и тяги подвески для повышения надежности выполнения технологического процесса при уборке зерновых и кукурузы на зерно повышенной влажности.
- Проведенные в 2014-2016 гг. опытно-конструкторские работы позволили существенно повысить технический уровень массового белорусского зерноуборочного комбайна, сделав его еще более привлекательным для потребителей и конкурентоспособным на основных рынках сбыта.

- 1. Производство и рынок сельскохозяйственной техники в Российской Федерации // Ежемесячный информационный Российской ассоциации производителей сельхозтехники. -2015.-1000 м -2016.-1000 с.
- 2. Производство и рынок сельскохозяйственной техники Российской Федерации // Ежемесячный информационный Российской ассоциации производителей сельхозтехники. −2016. − №12. − 14 с.
- 3. Бутов А.М. Рынок сельскохозяйственных машин [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа: <a href="https://dcenter.hse.ru/data/2016/12/29/1114670197/%D0%A0%D1%8B%20201">https://dcenter.hse.ru/data/2016/12/29/1114670197/%D0%A0%D1%8B%20201</a> 6.pdf. Дата доступа: 01.08.2017.

УДК 631.35

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАВЕСНЫХ ВСПОМО-ГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕ-ГО ГАРМОНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

#### А.В. Воронин

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

В силу того, что элементы, отвечающие за работоспособность узла обеспечивающие вспомогательные функции, но не выполняющие основных функций машины представляют собой сосредоточенные массы, закрепленные на условно неподвижной раме на податливых элементах крепления, они превращаются в колебательные системы легко входящие в резонанс при наличии в непосредственной близости возбуждающего источника гармонической силы.

Поэтому для обеспечения работоспособности таких элементов основным проблемой является не обеспечение прочности, а обеспечение гарантированной отстройки собственных частот системы от частоты внешних гармонических возмущений.

Рассмотрим обеспечение работоспособности систем подобного типа на примере установки глушителя моторной установки одной из самоходных уборочных сельскохозяйственных машин.

Глушитель закреплен на каркасе из труб, которые в свою очередь закреплены на условно неподвижной раме. Прочность конструкции необходимо обеспечить от действия внешней силы от собственного веса и веса глушителя с учетом коэффициента динамики в вертикальной плоскости.

Процент «отстройки» от резонансной частоты (P) и динамический коэффициент усиления внешнего воздействия при приближении к зоне резонанса  $(k_d)$  можно рассчитать по формулам (1) и (2), приведенным в специальной технической литературе [1, 2].

$$P = \left(1 - \frac{\varphi}{\omega}\right) \cdot 100\% \tag{1}$$

$$k_d = \frac{1}{1 - \frac{\varphi^2}{\omega^2}} \tag{2}$$

где:  $\omega$  – собственная частота,  $\Gamma$ ц;  $\phi$  – частота возбуждающей силы (вынужденные колебания),  $\Gamma$ ц.

Величина отстройки и динамический коэффициент для форм собственных колебаний исходной конструкции представлены в Табл. 1

Табл. 1.Резу.	пьтаты расчёта	исходной конс	трукции
3.0 1	7	~ ~	

3.C 1	D.			
№ формы	Вынужденная	Собственная	Ототройно	Птина
собственных	частота коле-	частота ко-	Отстройка	Динамический
колебаний	баний (Гц)	лебаний	(%)	коэффициент
1		16,66	110	0,29
2	25	26,86	30	1,4
3	35	30,95	13	3,5
4		60,38	42	1,5

Опасной с точки зрения возможного возникновения резонанса является 3-я форма колебаний с частотой  $\nu_{3 \phi o p m b} = 30,95 \Gamma ц$ . Отстройка от частоты холостого хода двигателя  $\nu_{xx} = 35 \ \Gamma ц$  (2100 об/мин) и от возможного возникновения резонанса для нее составляет  $\Delta c_3 = 13$  %. Так как минимальная допустимая отстройка [ $\Delta$ ] = 20%, то исходная конструкция не удовлетворяет условию виброустойчивости.

Анализируя все вышеизложенное можно сделать вывод, что имея значительный запас прочности конструкция может оказаться не работоспособна по причине возникновения резонанса из-за приближения одной из собственных частот к частоте возбуждающей силы.

Как видно из таблицы 1, частота 3-й формы собственных колебаний опасна с точки зрения возникновения резонанса. Учитывая что частота 3-й формы приближается снижу к частоте двигателя, более грамотно опустить частоту собственных форм колебаний вниз. Для этого необходимо уменьшить жёсткость подвески глушителя. После изменения конструкции путём снижения жёсткость подвески частота третьей формы составила 28,7 Гц с отстройкой от резонанса 21%, что достаточно для обеспечения работоспособности конструкции.

#### Выводы

- 1. Для обеспечения работоспособности систем установки дополнительных элементов сельскохозяйственных машин, представляющих собой сосредоточенные массы подвешенные на условно неподвижной раме на упругой подвеске определяющим, как правило, является не условие прочности, а условие необходимой отстройки от возможного резонанса.
- 2. Для обеспечения требуемой отстройки от резонанса необходимо изменять жесткость подвески элементов, так как изменение конструкции самого элемента в большинстве случаев является не допустимым.

- 1. Штейнвольф Л.И. Динамические расчеты машин и механизмов/ Л.И. Штейнвольф. М.: Машгиз, 1961.
- 2. Дарков А.В. Сопротивление материалов/ А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. М.: Высшая школа, 1969. 734 с.

УДК 631.35

# ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА

## Д. Н. Иванов

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

В сельскохозяйственном комбайностроении важное место занимает процесс выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна. Не всегда возможен процесс выгрузки зерна из бункера во время движения. В этом случае необходимо остановить комбайн и провести выгрузку. Это приводит к увеличению общего времени на уборку урожая. Решение задачи снижения времени выгрузки зерна из бункера, с одной стороны приведёт к увеличению производительности выгрузной системы, что в свою очередь ускорит уборку зерновых культур. С другой стороны увеличение производительности выгрузной системы может привести к увеличению повреждаемости зерна и увеличению затрачиваемой мощности на привод шнеков системы выгрузки.

Исследование технологического процесса выгрузки экспериментальным путем трудно реализуемо из-за необходимости использовать дорогостоящее оборудование, и проведение дополнительных доработок конструкции зерноуборочного комбайна. При этом не представляется возможным определить нагруженность элементов конструкции. Применение же технологий имитационного моделирования позволяет проводить всесторонние исследования выгрузной системы, учесть геометрические параметры конструкции, оптимизировать технологический процесс, ставя цель повышения производительности, снижения энергоемкости, уменьшения микроповреждений зерна, а так же параллельно определить нагруженность системы.

В связи с вышеизложенным, в данной работе поставлена задача выявления требований к разработке адекватной имитационной модели системы выгрузки зерноуборочного комбайна, необходимой для проведения всестороннего анализа технологического процесса в выгрузных шнеках с помощью CFD системы.

Применяемый метод имитационного моделирования позволяет учесть геометрические и физико-механические характеристики зерна хлебных и крупяных культур. Одной из особенностей, которую нужно учитывать при создании имитационной моделей, является экспоненциальная зависимость времени, затрачиваемого на расчёт, от количества частиц, участвующих в расчёте. Поэтому необходимо избегать излишнего усложнения моделей.

Кратко проиллюстрируем результаты исследования одной из таких моделей. За основную культуру, принятую для исследования технологи-

ческого процесса, принято зерно ячменя. Визуализация результатов имитационного моделирования в виде полей скоростей представлена на Рис. 1.

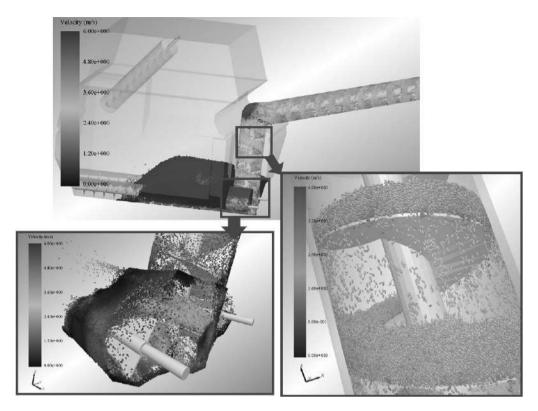


Рис. 1. Визуализация результатов моделирования в виде полей скоростей

Как следует из рисунка, в рассмотренной области перехода от горизонтальных шнеков к наклонному шнеку отсутствуют турбулентные завихрения масс и существенное снижение её скорости, что говорит об отсутствии паразитной мощности влияющей на энергоёмкость процесса выгрузки.

Для обеспечения неповреждаемости зерновой оболочки, скорость движения зерновой массы должна быть ниже критической скорости. Критическая скорость удара, при которой начинается деформация зерна, сопровождающаяся образованием внутренних и внешних трещин в зерне и их разрушение, для ячменя составляет 8.4 м/с. Полученные расчётные скорости зерновой массы ниже критической. Из этого следует, что для исследуемой выгрузной системы зерноуборочного комбайна имеется резерв для повышения её производительности, без увеличения повреждаемости зерен зерновой массы.

## Литература

Иванов Д.Н. Модернизация параметров системы выгрузки зерна самоходного зерноуборочного комбайна / Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов // Материалы XVII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработка в области машиностроения, энергетики и управления», Гомель 2017, С. 76–79.

УДК 621.85.058:631.35

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

А. А. Калиновский Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» Гомель, Беларусь

Широкое применение в сельскохозяйственном машиностроении получили ременные передачи, используемые в качестве элементов механической трансмиссии. Это обусловлено простотой конструкции, неприхотливостью к условиям эксплуатации, низкой динамической нагруженностью трансмиссии и другими факторами. Наиболее широкое применение получили клиноременные передачи благодаря клиновой форме рабочих поверхностей ремня.

Важнейшим достоинством ременных передач является возможность использования в одном приводе большого количества шкивов, произвольно расположенных в плоскости контура. Эта особенность ременных передач накладывает определенные специфические требования к подбору длины ремня, обеспечивающей требуемый охват каждого из задействованных в приводе шкивов, компенсацию натяжным устройством допустимой вытяжки и монтаж ремня без его упругой деформации. Для обеспечения всех этих условий при проектировании привода правильный выбор длины ремня не составит проблем, если воспользоваться построением ременного контура векторным способом, как описано в литературе [1].

Самым распространенным способом натяжения для ременных передач, применяемых на сельскохозяйственных машинах, является самонатяжение натяжным шкивом СНШ. Такой способ позволяет обеспечить в ведомой ветви ремня постоянное натяжение не зависимо от величины передаваемой нагрузки. В случае применения этого способа натяжения решение уравнения Эйлера для величины критической окружной силы, выше которой наступает буксование, имеет резко растущий экспоненциальный характер. Именно этим объясняется основное преимущество ременных передач с СНШ — наиболее благоприятное соотношение передаваемой окружной силы и силы предварительного натяжения ремня.

Разработка ременных передач с натяжением ремня подпружиненным шкивом осуществляется путем решения задачи правильного подбора размеров и расположения натяжного устройства. Для этого целесообразно воспользоваться векторным способом описания рычажных механизмов, описанным в литературе [2].

В вопросе обеспечения надежности натяжного устройства ременных передач с натяжением ремня подпружиненным шкивом можно выделить два основных аспекта: работоспособность шарнира качания и параметрическая надежность привода.

Работоспособность шарнира качания — обеспечение гарантированной и предусмотренной подвижности рабочих элементов натяжного устройства во времени с учетом влияния факторов агрессивной окружающей среды, в которой эксплуатируются сельскохозяйственные машины.

В сельскохозяйственном машиностроении широкое распространение в конструкции рычагов натяжения ременных передач получили шарниры скольжения с использованием антифрикционной пары материалов. Задача состоит в обеспечении в антифрикционной паре в шарнире скольжения рычага допустимой величины удельного давления, допустимой скорости скольжения и допустимой величины удельной энергии скольжения, являющейся произведением этих параметров. Определение давления в паре скольжения может быть осуществлено с применением векторного анализа в пространственной постановке [2]. Не смотря на то, что для каждого момента времени длина ремня имеет постоянное значение, рычаг механизма натяжения совершает движения в силу имеющегося непостоянства передаваемой нагрузки. Поэтому, требуется разработать методику определения скорости скольжения в паре трения шарнира.

Параметрическая надежность — это обеспечение механизмом натяжения постоянного напряжения в ведомой подпружиненной ветви для меняющейся длины ремня в пределах предусмотренной вытяжки. Для этого достаточно при проектировании привода провести правильный подбор параметров, в которой векторным способом описан ременной контур [1] и рычажный механизм натяжного устройства [2]. В этой задаче возникает необходимость в разработке метода целенаправленного поиска параметров упругого элемента по известным параметрам ременной передачи.

Для этого целесообразно воспользоваться энергетическим методом. Основой данного метода является вычисление необходимой величины изменения потенциальной энергии упругого элемента в заданном диапазоне его деформации. Для достижения теоретической возможности обеспечения постоянства натяжения ведомой ветви ремня эта энергия должна быть не меньше величины условной работы, совершаемой телом ремня при удлинении на заданную величину.

- 1. Чупрынин Ю.В. Алгоритм расчета геометрии ременного контура векторным способом / Ю.В. Чупрынин, А.А. Дюжев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. −2005. − №6. − С. 39-40.
- 2. Котов А.В. Применение векторного анализа при проектировании рычажных механизмов / А.В. Котов, Ю.В. Чупрынин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Мн. 2007. С. 32-37.

УДК 631.354.2.076

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС-1319 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ

И.А. Баран, С.В. Труханович Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

#### Введение

Для обеспечения качественного выделения зерна из зернового вороха в системе очистки зерноуборочного комбайна с одновременной минимизацией потерь зерна очень важно обеспечить оптимальное распределение параметров воздушного потока по всему объему системы очистки.

Скорость воздуха во всех точках не должна превышать скорость витания зерна конкретной убираемой культуры, но должна гарантированно превышать скорость витания половы, фрагментов колоса, соломы и других инородных примесей.

Распределение скоростей воздуха по объему очистки должно быть максимально равномерным без ярко выраженных провалов (локальное снижение скорости) и факелов (локальное повышение скорости) [1].

Общая скорость воздушного потока зависит от общего расхода вентилятора, который в свою очередь зависит от геометрических параметров вентилятора и его частоты вращения.

Параметры распределения скоростей воздушных потоков по объему очистки очень сильно зависят от геометрических параметров проточных областей [2].

В работе будут представлены результаты проведенного исследования расчетным путем изменения распределения воздушных потоков в системе очистки конкретной опытной модели зерноуборочного комбайна КЗС–1319 производства ОАО «Гомсельмаш» в зависимости от геометрических параметров проточных областей системы очистки.

Проведен расчет и сравнительный анализ расчетных параметров воздушного потока в системе очистки комбайна КЗС-1319 при различных конструктивных изменениях. Вращение роторов вентилятора с частотой 1000 об/мин. Решета находятся в среднем положении механизма системы очистки [3].

На основании проведенного анализа рассмотренных выше различных вариантов конструкции проточных частей системы очистки комбайна K3C-1319 можно сделать следующие выводы:

1. Введение элерона в нижний раструб вентилятора позволяет запустить воздушный поток в заднюю часть системы очистки и продуть реше-

то по длине, высотой расположения и формой элерона можно эффективно регулировать интенсивность воздушного потока под решетами.

- 2. Изменение формы передней части нижнего решета позволяет изменить распределение воздушных потоков под нижним решетом.
- 3. Изменение расхода воздуха в верхнем раструбе вентилятора путем введения регулируемой заслонки позволяет изменить характер распределения воздушного потока в верхней части системы очистки, что в свою очередь за счет эжекционного эффекта оказывает влияние на распределение воздушного потока в нижней части решет.

- 1. Снегирев А.В. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений. Учебное пособие БГТУ. Изд-во Политехн. ун-т, 2009.—143 с.
- 2. Минервина Е.Б. Компьютерное моделирование аэродинамических потоков в рабочей камере турбокомпрессора с использованием программного комплекса STAR-CD// Информатика. –2005. –№2(6). С. 15–24
- 3. Вырский А.Н., Баран И.А. «Внедрение в процесс проектирования новой техники методики компьютерного моделирования и анализа аэродинамический потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна» 17-19 октября 2012г г. Минск ОИМ НАН Беларуси, Международная научнотехническая конференция "Инновации в машиностроении 2012"

УДК 631.35

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТА УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС САМОХОДНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ

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

Одним из наиболее важных и ответственных узлов самоходной сельскохозяйственной машины, обеспечивающим ей необходимые ходовые свойства, является мост управляемых колес.

Первым этапом при проектировании моста управляемых колес самоходной сельскохозяйственной машины является выбор схемы и составление математической модели механизма поворота колес, исследование и корректировка ее параметров с целью обеспечения функциональных показателей сельскохозяйственной машины. Это - обеспечение заданного минимального радиуса поворота, обеспечение гарантированного поворота колес на месте при максимальной эксплуатационной массе, согласованный поворот правого и левого колес на необходимый угол для движения по криволинейной траектории с минимальным уводом, обеспечение прочностных свойств моста с минимизацией материалоемкости конструкции.

Достижение согласованности углов поворота и обеспечение гарантированного поворота колес на месте обеспечивается за счет правильного подбора геометрических параметров рулевой трапеции, параметров выбранных гидроцилиндров и установка их в габаритах моста с оптимальным взаимным расположением в пространстве. Для выполнения оптимизации параметров механизма поворота колес необходимо максимально точно составить математическую модель механизма, учитывающую кинематику движения всех точек механизма. Для этого составляется расчетная схема механизма, задаются основные входные параметры и требуемые показатели, такие как статический радиус и ширина колес, ширина колеи, планируемые к установке типоразмер гидроцилиндров и пр. Для составления математической модели используется векторный способ, который описан нами в литературе [1].

Для проведения силового анализа необходимо найти передаточные функции между обобщенной координатой и всеми элементами механизма, к которым приложены все внешние силовые факторы (и движущие и сопротивления) в направлении действия этих факторов. Эти передаточные функции являются аналогами скоростей в направлении приложения силовых факторов, которые наиболее удобно находить путем численного дифференцирования. Далее находится момент сопротивления повороту колеса и определяется потребное для поворота давление в гидросистеме для одноцилиндровой или двухцилиндровой схем механизма [1].

Следующий этап — проведение прочностного расчета и анализ напряженно-деформированного состояния конструкции моста управляемых колес [2]. Для проведения прочностного расчета необходимо правильно сформировать режимы нагружения, учитывающие максимальные нагрузки в элементах конструкции, которым может подвергаться мост во время эксплуатации. 1. Нагружение, соответствующее движению комбайна по дороге либо по пересеченной местности, при котором на управляемый мост действует часть веса машины с динамическим догружением. 2. Нагружение моста колес силами от гидроцилиндров, реализующих силы по максимальному давлению предохранительного клапана гидросистемы. 3. В случае, когда на управляемом мосту используются бортовые редукторы либо рабочие тормоза, обязательно необходима проверка прочности элементов моста при реализации максимальной касательной силы тяги.

На всех этапах исследования следует выделить следующие особенности, на которые стоит обратить внимание. Перед началом проектирования механизма поворота колес целесообразно провести его оценку по потребной работе. Для обеспечения качения всех колес машины при повороте без бокового скольжения необходимо, проверить механизм по критерию увода колес. При выборе схемы механизма поворота колес необходимо учесть, что одноцилиндровая схема с расположением ГЦ на одной стороне отличается простотой и лаконичностью, но при этом для обеспечения работоспособности в силу существенной нестабильности потребного давления приходится применять ГЦ больших габаритов. При использовании двухцилиндровой схемы давление во всем диапазоне стабилизируется, но необходимо выполнять проверку схемы на замыкание рулевой трапеции для минимизации паразитных нагрузок.

Результаты анализа существующих конструкций и разработанная методика исследования успешно используются в «НТЦК» ОАО «Гомсельмаш» при проектировании и модернизации зерноуборочных, кормоуборочных самоходных косилок и другой сельскохозяйственной техники.

- 1. Джасов Д.В. Математическое описание механизма поворота колес самоходной сельскохозяйственной машины/ Д.В. Джасов, О.В. Рехлицкий, Ю.В. Чупрынин // Механика машин, механизмов и материалов. 2014. №2 (27)
- 2. Кондрашова А. Н. Оптимизация конструкции моста управляемых колес косилки самоходной на основе анализа его твердотельной модели/А. Н. Кондрашова, Д. В. Джасов, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. 2016.  $\mathbb{N}$  4. С. 35–40. (РБ, рецензируемое.).

# СЕКЦИЯ № 2

# «ТРАКТОРЫ, МОБИЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИЦЕПНЫЕ И НАВЕСНЫЕ АГРЕГАТЫ»

УДК 658.512.011.56: 519.8: 004.42: 621.8

# АВТОМАТИЗАЦИЯ АВАНПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ

Н.Н. Гущинский, Г.М. Левин Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Трансмиссии относятся к важнейшим системам многих машиностроительных объектов различного назначения. Проектирование трансмиссий является достаточно сложной, трудоемкой и многоплановой задачей, требующей для своего решения специалистов высокой квалификации. Проблемам автоматизации отдельных аспектов ее решения традиционно уделяется большое внимание. Большинство работ в этой области посвящено автоматизации проектных и проверочных расчетов основных элементов трансмиссий. В ряде работ исследуются вопросы автоматизации проектирования отдельных узлов трансмиссий.

В докладе рассматривается разработанный в ОИПИ НАН Беларуси совместно со специалистами ПО "МТЗ", ОАО "АМКОДОР" и ОАО "МЗКТ" комплекс программно-методических средств поддержки принятия проектных решений при аванпроектировании механических (МТ) и гидромеханических (ГМТ) трансмиссий сложной структуры. Этот этап проектирования, пожалуй, наиболее сложный и ответственный, поскольку во многом предопределяет проектные решения, развиваемые на последующих этапах.

Комплекс ориентирован на трансмиссии, которые могут включать гидротрансформатор (для ГМТ), вальную или планетарную коробку передач, а также механические передачи различных типов, передающие движение на исполнительные органы. Элементная база трансмиссии состоит из прямозубых и косозубых цилиндрических и конических зубчатых передач, планетарных зубчатых передач типа 2 k-h, конических дифференциальных механизмов, валов, соединительных муфт. Предполагается, что принципиальная структурная схема трансмиссии и расчетные режимы ее функционирования уже определены на предыдущих этапах проектирования.

Комплекс обеспечивает выработку рекомендаций по рациональным значениям следующих проектных параметров трансмиссии как единой комплексной системы:

- распределение режимов функционирования по кинематическим цепям;

- общие передаточные отношения кинематических цепей и распределение этих отношений по передачам;
- основные рабочие параметры элементов трансмиссии (типы, диаметры и ширины зубчатых венцов, модули и числа зубьев передач; наружные диаметры валов; типоразмеры подшипниковых узлов).

Учитываются следующие основные кинематические, прочностные, конструктивные и эксплуатационные факторы:

- характеристики и условия функционирования пары "двигательгидротрансформатор";
- предельно допустимые значения передаточных отношений кинематических цепей и передач;
  - предельно допустимые частоты вращения валов;
- нагрузки и общие продолжительности работы трансмиссии на каждом из заданных режимов ее эксплуатации;
  - прочностные характеристики материалов элементов;
  - требуемые межцентровые расстояния.

Критериями качества допустимых проектных решений приняты:

- усредненные (за весь период эксплуатации) производительность изделия и расход топлива (или КПД трансмиссии);
- долговечность трансмиссии в целом или вероятность ее невыхода из строя в течение заданного периода эксплуатации с учетом контактной и изгибной выносливости зубчатых передач и статической прочности валов;
  - оценка суммарной массы зубчатых передач и валов.

Комплекс обеспечивает последовательное выполнение в интерактивном режиме следующих основных проектных процедур:

- формирование задания на рассматриваемый этап проектирования;
- предварительный кинематический расчет трансмиссии с распределением режимов функционирования по кинематическим цепям и оптимизацией их общих передаточных отношений;
  - предварительный прочностной расчет трансмиссии;
  - уточненный прочностной расчет трансмиссии;
  - подбор подшипников.

В основу указанных процедур положен набор специально разработанных математических моделей и методов[1-3]. Предполагается активное участие квалифицированных специалистов на основных этапах принятия проектных решений.

- 1. Гущинский Н.Н. Поддержка принятия решений при проектировании силовых трансмиссий // Н.Н. Гущинский, Г.М. Левин, А.Б. Долгий /. Минск: Белорус.наука, 2006, 262 с.
- 2. Dolgui A. Decision making and support tools for design of transmission systems / A. Dolgui, N. Guschinsky, G. Levin // Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies / Information Science Reference; ed. F. Adam, P. Humpreys. –NY, 2008. Vol. 1. –P.165–175.

3. Левин Г.М. Система поддержки принятия решений при проектировании гидромеханических трансмиссий с вальной коробкой передач / Г.М. Левин [и др.] // Сб. «Информационные технологии программы Союзного государства «ТРИАДА»: основные результаты и перспективы» Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2010. С. 48-67.

УДК 621.74.047

# ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

В.П. Груша, В.Ф. Бевза ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Могилев, Беларусь

Одним из путей увеличения ресурса работы деталей является создание принципиально новых методов литья, обеспечивающих повышение физико-механических свойств и придание качественно новых характеристик уже известным недорогим материалам. Существенно повысить качество деталей из чугуна и их эксплуатационные свойства можно не только легированием, модифицированием, внешним воздействием на кристаллизующийся расплав, но также за счет создания оптимальных условий затвердевания металла и управления процессом структурообразования.

Цель работы заключалась в разработке ресурсосберегающей технологии изготовления высококачественных полых цилиндрических заготовок из серого чугуна.

В Институте технологии металлов НАН Беларуси разработан метод непрерывно-циклического литья полых цилиндрических заготовок намораживанием без применения стержня, в основу которого заложен принцип направленности затвердевания металла за счет одностороннего теплоотвода и исключения дефицита жидкой фазы в течение всего времени формирования отливки [1]. Сущность его заключается в следующем. Жидкий металл через сифонную литниковую систему подают в полость металлической водоохлаждаемой формы. После заполнения делают выдержку для формирования отливки с заданной толщиной стенки. Затем отливку полностью извлекают из расплава и стационарного кристаллизатора. Подвижная часть кристаллизатора возвращается в исходное положение, в форму подают новую порцию расплава и намораживают следующую отливку. При этом наружная поверхность отливки формируется металлической водоохлаждаемой формой – кристаллизатором, а внутренняя определяется только фронтом затвердевания и получается непосредственно из расплава. Затвердевание металла в пристеночной зоне кристаллизатора происходит непрерывно в течение всего времени разливки, а извлечение отливок осуществляют циклически с заданным периодом.

Следует отметить, что в осевой зоне кристаллизатора в течение всего времени литья находится жидкий металл, который периодически обновляется после извлечения каждой отливки. Это принципиальное отличие нового метода от всех существующих по условиям организации фазового перехода металла из жидкого состояния в твердое. Именно эти условия при интенсивном одностороннем теплоотводе способствуют получению

плотной мелкодисперсной металлической матрицы, что обеспечивают высокое качество материала.

Еще одной отличительной особенностью нового метода является то, что в момент извлечения из кристаллизатора наружная поверхность отливки составляет около  $1000^{0}$ С, а внутренняя имеет температуру солидуса. Это позволяет за счет создания определенного режима охлаждения получать заданную структуру чугуна, а также снизить термические напряжения в отливке. Причем, указанные операции проводятся либо полностью без применения внешних источников энергии, либо со значительным снижением ее расхода, за счет использования первичного тепла самих отливок.

Таким образом, основными принципиальными преимуществами нового метода являются:

- сочетание интенсивного одностороннего теплоотвода с постоянным избыточным питанием фронта затвердевания перегретым расплавом в течение всего времени формирования отливки, определяющее получение плотной мелкодисперсной структуры и исключающее появление усадочной и газовой пористости, раковин и т.п.;
- возможность управления процессом структурообразования чугуна вне формы за счет использования первичного тепла отливки;
- отсутствие внутреннего стержня определяет свободную усадку затвердевающей и охлаждающейся отливки и исключает возникновение больших напряжений и брак по горячим трещинам;
- высокая производительность процесса литья за счет большой скорости затвердевания металла и получения заготовок мерной длины без операции порезки в условиях непрерывной разливки.

Описанная литейно-термическая технология с успехом используется на опытно-экспериментальном участке ИТМ НАН Беларуси для производства высококачественных изделий из чугунов с пластинчатым графитом. Структура отливок из чугуна перлитного класса в максимальной степени соответствует требованиям, предъявляемым к деталям ответственного назначения. Материал отливок имеет высокую дисперсность металлической основы и благоприятное строение графитовой фазы. Прочностные характеристики чугуна на 25-30% выше по сравнению с аналогами, получаемыми в традиционными способами литья.

## Литература

1. Марукович Е.И., Бевза В.Ф., Груша В.П., Красный В.А. Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования. // «Двигателестроение». - 2015г. - №1 (259). — С. 35-40.

УДК 66.018.64.001

# ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЛЬНЯНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ШУМОПОНИЖАЮЩИХ КОН-СТРУКЦИЙ КАБИН АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

С.Н. Бухаров, В.П. Сергиенко, А.С. Тулейко Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь

Одним из требований, предъявляемых к конструкции кабин автотранспорта, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, является достаточная обзорность, что определяет высокую степень остекления кабины и, как следствие, уменьшение площади звукопоглощающих конструкций. Этим обуславливается необходимость повышения акустической эффективности шумопонижающих деталей интерьера кабины в широком диапазоне частот.

При разработке шумопонижающих многослойных конструкций необходимо учесть большое количество факторов. Это требования условий эксплуатации: декоративность, прочность, термостойкость, влагостойкость, биостойкость, а также ограничения по толщине, массе и стоимости.

В ИММС НАН Беларуси разработаны звукопоглощающие композиционные материалы на основе льняных и полимерных волокон. По результатам разработок освоено производство современных звукопоглощающих композиционных материалов, в том числе, слоистых шумопонижающих конструкций из данных материалов, а также сложнопрофильных термоформованных деталей (Рис. 1) интерьера кабин и салонов для транспортных средств различных типов (локомотивы, тракдр). Достигнутые акустические торы, автобусы механические характеристики разработанных композитов отвечают европейским стандартам безопасности (отсутствие канцерогенной и токсичной пыли, острых краев при разрыве, изгибе, растрескивании, вредных или токсичных летучих веществ при лучевом и конвективном нагреве и акустического комфорта.

Экологические преимущества разрабатываемых композитов заключается в отсутствии канцерогенной и токсичной пыли с острыми краями при разрыве, изгибе, растрескивании конструкций; в возможности вторичной переработки и отсутствии санитарных ограничений по использованию для технических нужд; в повышении комфорта за счет низкой теплопроводности материала; в отсутствии каких-либо вредных или токсичных летучих веществ при лучевом и конвективном нагреве. Основным преимуществом является частичная биоразлагаемость разрабатываемых композитов (около 50% массы) и переход материала из

объемной монолитной в сыпучую волокнистую форму, что также существенно упрощает его утилизацию.

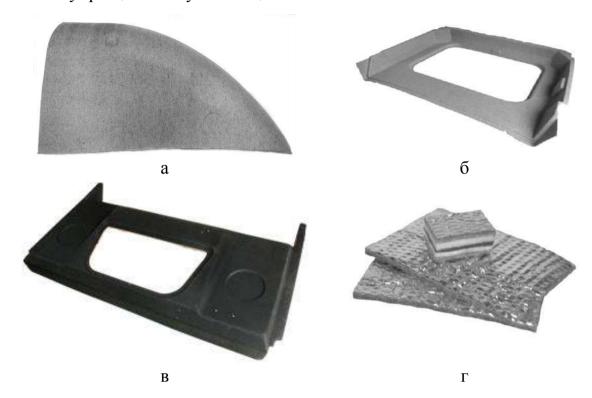


Рис. 1. Образцы деталей интерьера из разработанных звукопоглощающих композитов: а - деталь обшивки колёсных ниш кабины трактора «Беларус», б, в - элементы потолка кабины трактора «Беларус», г - многослойная шумопонижающая конструкция для кабин локомотивов железнодорожного транспорта

УДК 669.13.018

#### ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН МАРКИ ВЧТГ: МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

П.С. Дробышевский, А.А. Новиков, С.А. Тюрин ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Уровень прочности современных высокопрочных чугунов ADI ( $\sigma_{\text{в}} \sim 1000...1600$  МПа) является вполне конкурентоспособным по сравнению с конструкционной сталью. Но у всех известных высокопрочных чугунов есть один фундаментальный недостаток: повышение прочности неизбежно сопровождается значительным охрупчиванием металла. Так, при росте предела прочности в 1,5–2 раза относительное удлинение при разрыве уменьшается в 9–11 раз. Кроме того, сопротивление усталости чугунов меньше, чем у стали – как при контактном нагружении, так и при изгибе.

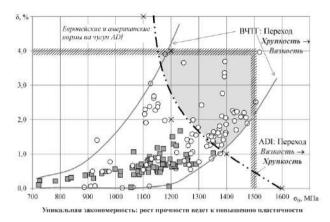
Однако у высокопрочных чугунов имеются и существенные достоинства по сравнению со сталью, а именно хорошие антифрикционные свойства, способность быстро гасить вибрации и резонансные колебания, повышенные, по сравнению со сталью, литейные и технологические свойства, хорошая обрабатываемость резанием и др.

Специалистами ОАО «Гомсельмаш» и ООО «НПО ТРИБОФАТИ-КА» разработан новый конструкционный материал – высокопрочный чугун с шаровидным графитом (марки ВЧТГ) с особыми свойствами и высоким сопротивлением усталости (патент РБ 15617). Главное его достоинство состоит в том, что он обнаруживает оригинальную и уникальную совокупность свойств: прочность на уровне современных легированных термоупрочненных сталей и одновременно технологические и служебные свойства как у современных высокопрочных чугунов с шаровидным графитом («два в одном»). Служебные свойства ВЧТГ хорошо регулируются путем соответствующего подбора режимов термообработки. Возникают широкие перспективы использования этого материала для решения задач импортозамещения и повышения конкурентоспособности наиболее ответственных узлов машин и оборудования путем замены высокозатратных и энергоемких кузнечно-прессовых и сварных технологий на современные экономичные технологии литья с обеспечением требуемой эксплуатационной надежности.

ВЧТГ как новый конструкционный материал обнаруживает неожидаемые и нетрадиционные особенности и свойства.

Диаграмма прочность—пластичность (Рис. 1) не имеет аналогов среди черных и цветных металлов и характеризуется неожидаемой закономерностью: с ростом прочности ВЧТГ теряет хрупкость; другими словами, повышение предела прочности адекватно росту относительного удлинения при разрыве.

Пластические свойства ВЧТГ в высокопрочном состоянии хорошо иллюстрирует диаграмма растяжения (Рис. 2): это плавная кривая, для которой интервал  $\sigma_{\scriptscriptstyle B} - \sigma_{\scriptscriptstyle T} = \Delta \sigma \sim 300$  МПа составляет  $\sim 35\%$  от величины  $\sigma_{\scriptscriptstyle T}$ .



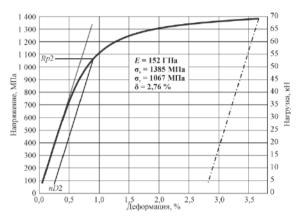


Рис. 1. Диаграммы прочностьпластичность для ADI и ВЧТГ

Рис. 2. Типичная диаграмма растяжения ВЧТГ

Диаграмма твердость—прочность (Рис. 3) нетрадиционна: с ростом прочности твердость ВЧТГ может либо пропорционально повышаться, либо, наоборот, соответственно снижаться в зависимости от условий термообработки. Это свойство можно практически использовать для поиска оптимального соотношения прочность / твердость.

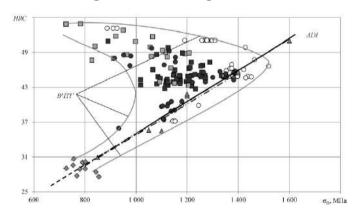


Рис. 3. Диаграммы прочность-твердость для ADI и ВЧТГ

По сопротивлению изгибной усталости ВЧТГ превосходит современные чугуны и приближается к термоупрочненной стали. По характеристикам трещиностойкости ВЧТГ, по меньшей мере, не уступает катаной стали.

Таким образом, чугун ВЧТГ обладает уникальным комплексом механических (прочность, пластичность, твердость, трещиностойкость), служебных (сопротивление механической и контактной усталости, износостойкость), технологических (жидкотекучесть, обрабатываемость резанием и др.), эксплуатационных (демпфирующая способность, самосмазываемость и др.) и физических (плотность, модуль Юнга, теплопроводность и др.) свойств. Естественно ожидать, что такой материал ожидает широкое и эффективное применение.

УДК 622.432

#### СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕ-СКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ И ГИДРО-СТАТИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИИ

Д.А. Жданко, Д.И. Сушко УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь

**Введение.** В статье рассмотрены вопросы определения эффективной мощности двигателей мобильных энергетических средств и ее потерь в гидростатической трансмиссии путем создания тормозного момента на коленчатом валу двигателя с использованием насоса собственной гидростатической трансмиссии и дополнительного дросселя постоянного сечения.

**Основная часть.** В мобильных энергетических средствах кроме падения эффективной мощности двигателя из-за его неисправности имеют место потери мощности в трансмиссии в связи с износом деталей насоса и мотора, что выражается снижением её объёмного КПД.

Из известных методов определения эффективной мощности двигателя и диагностирования аксиально-плунжерного насоса гидростатической трансмиссии наиболее точным является статопараметрический метод [2], т.е. с помощью их торможения.

Для создания тормозного момента на коленчатом валу двигателя авторами предлагается использовать собственный регулируемый аксиально-плунжерный насос гидростатической трансмиссии МЭС путем дросселирования создаваемого им потока рабочей жидкости с помощью дросселя постоянного сечения или, как вариант, - с помощью нагрузочного клапана. Особенностью такого предложения является то, что оно позволяет не только определить эффективную мощность двигателя, не снимая его с МЭС, но и значительно снизить трудозатраты на организацию процесса торможения. Торможение двигателя и гидронасоса МЭС с помощью дросселя постоянного сечения возможно в силу использования в гидростатической трансмиссии МЭС регулируемого аксиально-плунжерного насоса. Конструкция насоса позволяет при максимальной частоте вращения его вала иметь нулевую подачу рабочей жидкости и увеличивать её постепенно от нуля до максимума. Использование такого предложения позволяет заменить сложное измерительное устройство дроссель-расходомер на нерегулируемый дроссель, представляющий собой отверстие определенного диаметра в стальной пластине. Применение дросселя постоянного сечения более предпочтительно в сравнении с нагрузочным клапаном, как с точки зрения снижения материалоемкости, так и с точки зрения его простоты, а, следовательно, стоимости и удобства монтажа.

Для получения максимального тормозного момента на приводном валу гидронасоса необходимо знать диаметр дросселя постоянного сечения, который определяется по выражению (1) [4, 5].

$$d_{\text{offT}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{omax}} n_{\text{H}} \eta_{\text{o}}}{\pi \mu \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{\text{HOM}} - p_{1})}}}$$
(1)

где,  $V_{\rm omax}$  — максимальный рабочий объем насоса, м³;  $n_{\rm H}$  — частота вращения вала насоса, с¹;  $\eta_{\rm o}$  — объемный КПД насоса;  $\mu$  — коэффициент расхода;  $p_{\rm hom}$  — номинальное давление насоса, Па;  $\rho$  — плотность рабочей жидкости, кг/м³;  $p_{\rm I}$  — давление за дросселем, Па.

Значение тормозного момента, создаваемого регулируемым аксиально-плунжерным насосом гидростатической трансмиссии на валу двигателя дросселированием потока рабочей жидкости, определяется по (2) [4].

$$M_{\rm H} = 0.125\kappa \frac{d_{onm}^2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p^3 (1 + \beta_{\rm T} (T - T_1))}{\rho_1}}}{n_{\rm H}}$$
(2)

где,  $\kappa$  – коэффициент взаимовлияния;  $\beta_{\rm T}$  – коэффициент объемного расширения,  ${\rm K}^{\text{-}1}$ . Для минеральных масел  $\beta_{\rm T}$  =  $8\cdot 10^{\text{-}4}~{\rm K}^{\text{-}1}$ ;  $\rho_{\rm I}$  – плотность жидкости при температуре  $T_{\rm I}$ , кг/м $^{3}$ .

Коэффициент взаимовлияния  $\kappa$ при создании нагрузки дросселированием потока жидкости, позволяет учесть изменение коэффициента расхода  $\mu$  и КПД насоса  $\eta_{_{\rm H}}$  и повысить точность определения тормозного момента на валу двигателя [6].

$$\kappa = \frac{\mu}{\eta_{_{\rm H}}} \tag{3}$$

где,  $\eta_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$  – КПД насоса.

Если рассматривать процесс дросселирования потока рабочей жидкости как турбулентный режим истечения из затопленного цилиндрического насадка, то выражение (3) запишется в виде.

$$\kappa = \frac{1}{\eta_{\text{H}}(1,23 + \frac{58lv}{d^2\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}})\sqrt{1 + \frac{0,03}{1,23 + \frac{58lv}{d^2\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}}}}$$
(4)

где, l – длина дросселя, м.

Техническое состояние насоса гидростатической трансмиссии оценивается по значению объемного КПД, определяемого по развиваемому им

давлению при торможении путем дросселирования рабочей жидкости [2, 3]

$$\eta_o = \frac{\mu S_o}{V_{o,H} n_H} \sqrt{\frac{2p_H (1 + \beta_T (T - T_1))}{\rho_1}}$$
 (5)

Состояние насоса удовлетворяет техническим требованиям, т.е. он исправен, если значение его объемного КПД не ниже 0,75 [2, 3].

Подставляя полученное значение объёмного КПД в зависимость (2), определяется тормозной момент на коленчатом валу двигателя.

Техническое состояние двигателя оценивается по значению тормозного момента на его коленчатом валу, возникающим в результате дросселирования потока рабочей жидкости создаваемого диагностируемым регулируемым аксиально-плунжерным насосом, т.е. собственным насосом гидростатической трансмиссии МЭС, и частоте вращения коленчатого вала.

Сравнивая полученные значения тормозного момента и частоты вращения коленчатого вала двигателя с соответствующими их значениями внешней скоростной характеристики двигателя, можно сделать заключение о техническом состоянии двигателя.

Заключение. Определить фактическое состояние двигателя представляется возможным либо путем определения его мощности по полученным авторами зависимостям (2, 3), либо по предварительно построенной, на основании полученных зависимостей (1-3), номограмме, на которой должна быть представлена зависимость мощности двигателя МЭС в функции давления дросселирования потока рабочей жидкости при постоянной площади сечения дросселя.

#### Литература

- 1. Добыш Г.Ф. Потенциальные резервы экономии топливноэнергетических ресурсов в агропромышленном комплексе/ Г.Ф. Добыш [и др.] – Мн. : ГУ «Учебно-методический центр Минсельхозпрода», 2005. – 137 с.
- 2. Тимошенко В.Я. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Е.С. Некрашевич // Агропанорама. -2009.- N = 1.- C.44-48.
- 3. Столяров А.В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. канд. техн. наук. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2009. 18 с.
- 4. Жданко Д.А. Теоретическое обоснование параметров гидравлического тормозного устройства обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Агропанорама. -2009. -№ 3. C. 38–42.
- 5. Жданко Д.А. Обоснование параметров дросселя постоянного сечения как нагрузочного элемента электрогидравлического обкаточнотормозного стенда / Д.А. Жданко // Межведом. сб. «Механизация и электрогидравлического обкаточно-

трификация сельского хозяйства» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – 2009. - N = 43. - C. 139-143.

6. Тимошенко В.Я. Обоснование необходимости модернизации обкаточно-тормозных стендов мотороремонтных предприятий / В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, А.В. Новиков, В.Б. Ловкис, И.В. Загородских // Вестник БГСХА.  $-2013.- \mathbb{N} 2.- \mathbb{C}.144-149.$ 

УДК 621.22(075.8)

#### МЕТОДИКА РАСЧЕТА УТЕЧКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО УЗЛА ГИДРОЦИЛИНДРОВ

А.С. Давыдов, Ю.А. Андреевец УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Гидравлические цилиндры широко используются в сельскохозяйственной технике, в частности в комбайнах различного назначения и прицепной технике. Появление новых видов уплотнений и совершенствование уплотнительных узлов изменяет требования к конструкции и производству гидроцилиндров, причем решающее значение имеют надежность действия и долговечность гидравлических устройств. Уплотнительные устройства являются одним из основных элементов, от которых зависит надежность действия и дальнейшее развитие гидравлических машин и механизмов [1-3].

В гидроцилиндрах подвижное соединение букса-шток уплотняется целым комплектом уплотнений, каждое из которых выполняет определенные функции [4]. Непосредственно предотвращение утечки рабочей жидкости из внутренней полости цилиндра достигается двумя уплотнениями: составным уплотнением штока (Рис. 1 а) и манжетой (Рис. 1 б).



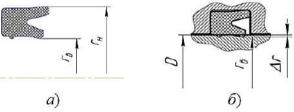


Рис.2. Расчетные схемы манжеты: а) радиусы; б) схема предварительного поджатия

Составное уплотнение штока (рис. 1, а) состоит из: резинового кольца в качестве усилительного элемента и профильного кольца из политетрафторэтилена (РТFE) наполненного бронзой для улучшения физикомеханических свойств [5]. Манжета (рис. 1, б) изготавливается из полиуретана (РU), который широко используется в уплотнительных элементах благодаря улучшенной усадке при сжатии [5].

В соответствии с методикой определения утечек [2] величина утечки при использовании манжет фирмы Kastas [5] при скорости движения штока 0.2 м/с давлении 16 МПа составляет  $Q_{\rm y} = 3.2752 \cdot 10^{-11}$  м³/с или при-

ходящийся на 1 м² поверхности штока  $Q_S = 1,291 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3/\text{м}^2$ . Что удовлетворяет требованиям, указанным в методике проведения приемо-сдаточных испытаний (0,3 см³/м²) [6]. Экспериментально определенная утечка, приходящаяся на 1 м² поверхности штока, составляет  $Q_{S'\text{эксп}} = 1,356 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3/\text{м}^2$ .

На Рис.3 представлены графики зависимости утечки, определенной теоретически и экспериментально в зависимости от давления жидкости.

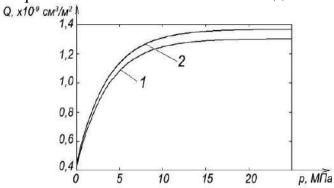


Рис. 3. – Зависимость утечки от давления: 1 – теоретическая; 2 - экспериментальная

Таким образом, можно сделать вывод, что экспериментальная утечка незначительно превышает расчетную, т.к. в расчетной формуле нельзя учесть все факторы, влияющие на величину утечки (например, шероховатость штока, резкое изменение скорости штока в начале и в конце хода и т.д.). Современные уплотнительные материалы имеют удовлетворительные эксплуатационные параметры, что проявляется, прежде всего в уменьшенных величинах утечек жидкости. Применение данных материалов при производстве гидроцилиндров различного назначения увеличивает долговечность и надежность, что играет немаловажную роль при использовании гидродвигателей возвратно-поступательного движения в энергонасыщенной сельскохозяйственной технике.

#### Литература

- 1. Кондаков Л. А. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник [Текст]/ под общ.ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986.-464 с.
- 2. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства. [Текст] Г.В. Макаров / Л., «Машиностроение», 1973-232 с.
- 3. Буренин В.В. Уплотнения из резины и других материалов для соединений с возвратно-поступательным движением машин и механизмов [Текст] / В.В. Буренин; ЦНИИТЭНефтехим, 1993. 80 с.
- 4. Гидравлические и пневматические уплотнения Kastas. Технический каталог. [Электронный ресурс] (Режим доступа: <a href="http://www.kastas.com.trimages2/img/1980/File/Kastas\_TechnicalCatalogue\_R">http://www.kastas.com.trimages2/img/1980/File/Kastas\_TechnicalCatalogue\_R</a> U.pdf)

- 5. Обзор материалов Kastas. Электронный ресурс (Режим доступа: <a href="http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/TPU%20Overview\_2015\_07.pdf">http://www.kastas.com.tr/images2/img/1980/File/TPU%20Overview\_2015\_07.pdf</a>)
- 6. ГОСТ 18464-96. Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний [Текст] М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 2001. 12 с.

УДК 62-531

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ РЕГУЛЯТОРА РАЗНО-СТИ ДАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ПОРШНЕВОГО НАСОСА

М. И. Дорох, Д. Л. Стасенко УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

В настоящее время одним из важных направлений развития мобильной техники является повышение ее энергоэффективности. Во многих сельскохозяйственных машинах вопрос энергоэффективности следует решать с учетом необходимости управления несколькими гидродвигателями с обеспечением стабильных скоростей рабочих органов. Для этого в качестве источника энергии можно применять регулируемый аксиальнопоршневой гидронасос (АПГН) с автоматической адаптацией к нагрузке. Схема такой насосной установки представлена на Рис. 1.

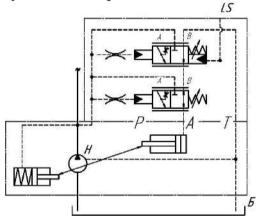


Рис. 1. Схема насосной установки

В настоящее время на территории РБ производятся гидрофицированные машины с гидросистемами с адаптацией к нагрузке, но АПГН с регуляторами разности давления — не производятся, а закупаются за рубежом. Таким образом, исследования в области регулируемых АПГН с регуляторами разности давления являются востребованными для отечественных предприятий, выпускающих АПГН.

Для исследования регулятора разности давления была разработана лабораторно-испытательная установка (Рис. 2).

Принцип работы испытательного стенда заключается в следующем: рабочая жидкость поступает от насосной станции (Рис. 2 б) к регулятору разности давления и в первую полость гидроцилиндра. На напорной линии ставится датчик давления и механический манометр (Рис. 2 а). От регулятора разности давления жидкость поступает во вторую полость гидроцилиндра, противодействуя силе жидкости в первой полости, таким образом, получая значение перемещения гидроцилиндра с помощью индикатора перемещения. От манометра, датчиков давления, а также индикатора пере-

мещения, сигналы датчиков поступают в цифро-аналоговый/аналогоцифровой порт (Рис. 2 a) с последующей оцифровкой и передачей на персональный компьютер.

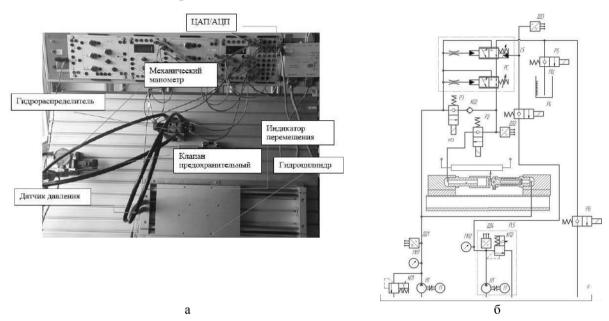


Рис. 2. Лабораторно-испытательная установка (a) и ее принципиальная схема (b)

Для снятий и обработки показаний был создан виртуальный инструмент в программном пакете LabWiev, который позволяет сохранять показания и строить графики зависимостей.

В результате проведения лабораторных испытаний была получена перепадно-расходная характеристика регулятора разности давления представленная на Рис. 3.

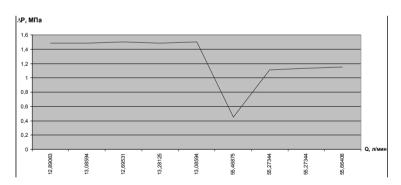


Рис. 3. Расходно-перепадная характеристика

#### Заключение.

В результате исследования регулятора разности давления регулируемого аксиально-поршневого гидронасоса была разработана лабораторно-испытательная установка с программным обеспечением LabView, получена расходно-перепадная характеристика регулятора разности давления из которой следует, что при возрастании давления на исполнительном органе происходит изменение расхода жидкости от 13 л/мин до 55 л/мин, давление падает на величину до 1 МПа, но затем возвращается в нормальные свои значения.

УДК 631.355(043)

#### МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОСИСТЕМЫ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Е.М. Чуб

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

Гидравлический привод находит широкое применение в различных отраслях машиностроения в качестве исполнительных органов систем управления и автоматизации производственных процессов, приводов рабочих органов машин и оборудования различного назначения.

Применения гидравлических приводов в различных отраслях говорит о том, что надежность находится на высоком уровне. Отсюда следует, что одним из основных требований, предъявляемых к гидравлическим приводам, является их надежность.

Для оценки надежности гидравлического привода необходимо иметь информацию о техническом состоянии его элементов в период эксплуатации. Эта информация составляется на основе сбора и анализа статистических данных об отказах элементов в процессе эксплуатации. Отказы гидравлических приводов, происходящие в процессе эксплуатации машин, являются актуальной задачей для машиностроения.

Решение задач с изменением технического состояния и прогнозирование отказов гидравлических приводов машин может быть получено на основе комплексных теоретических и экспериментальных исследований множества состояний, в которых может находиться привод при эксплуатации. Такие исследования наиболее удобно проводить с помощью аналитических описаний или графоаналитических представлений основных свойств гидравлических приводов как объектов диагностирования, которые называют диагностическими моделями.

Широкое применение при исследовании гидравлических приводов и их элементов нашли аналитические модели, показывающие связь между выходными параметрами гидравлического агрегата, находящегося в исправном состоянии, и внешними воздействиями в определенный момент времени. Но так как гидравлические привода современных машин представляют собой сложные гидромеханические системы с распределенными параметрами, их аналитическое описание настолько усложняется, что применение аналитических моделей в качестве диагностических во многих случаях становится нецелесообразным и более приемлемым является использование структурно-функциональных схем с применением для их анализа методов алгебры-логики и теории графов.

Специфические особенности работы сложных систем гидроприводов современных машин существенно затрудняют применение методов алгебры-логики в качестве диагностических моделей.

Затруднения такого типа могут быть устранены при использовании графов причинно-следственных связей.[1].

Для того чтобы по графу причинно-следственных связей можно было выполнить строго формальное заключение относительно технического состояния соответствующего объекта диагностирования, должны быть справедливы основные предпосылки, которые принимаются при построении логических моделей. При этих условиях во многих случаях от графа причинно-следственных связей системы можно перейти к логической модели, и наоборот.

Рассмотрим модель построения графа причинно-следственных связей на примере гидросистемы кормоуборочного комбайна. На Рис. 1 представлен граф причинно-следственных связей гидросистемы рабочих органов и рулевого управления кормоуборочного комбайна КВК-800. Граф состоит из звеньев, представляющими собой рабочие органы, соединенные между собой связями. Проанализировав отказы, возникшие в работе гидросистемы, можно сделать вывод, что наиболее выходящим из строя элементом гидросистемы является гидроцилиндр навески (16 случаев).

При работе над исследованием типовых отказов гидросистемы комбайна использовалась статистика об отказах выпускаемой техники ОАО «Гомсельмаш» за период с 01.05.2015 до 01.12.2015. Количество сообщений об отказах в статистике 89. Всего отказов за весь период 95 на 70 машинах, среднее количество дней простоя составляет 1,21.

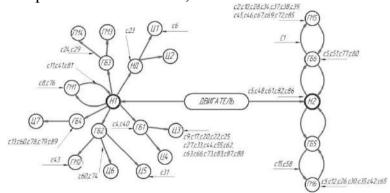


Рис. 1. – Граф причинно-следственных связей гидросистемы кормоуборочного комбайна КВК-800

Такая диагностическая модель позволяет обеспечить высокую точность определения места отказа гидросистемы комбайна. Кроме того, модель даёт возможность наглядного определить наиболее часто выходящие из строя компоненты гидросистемы (в графическом виде). Диагностическая модель позволит уменьшить время поиска места отказа в гидросистеме, а так же вычислить часто выходящий из строя компонент гидросистемы, что позволит сэкономить денежные средства, а так же даст возможность отсеивать изначально низкокачественные компоненты гидросистемы.

#### Литература

- 1. Башта Т. М. Техническая диагностика гидравлических приводов/ Т.В. Алексева, В.Д. Бабанская, Т.М. Башта и др.; Под общ. ред. Т.М. Башты. -М.: Машиностроение, 1989.-264 с.
- 2. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. М.: МГТУ, 2007. 312 с.

УДК 631.3:621.9

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ОДНОСТУПЕНЧАТОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ

И.И. Суторьма

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

Центробежные насосы имеют достаточно широкую область применения в технике, в том числе сельскохозяйственного назначения. Анализ литературных и статистических данных свидетельствует о том, что в последнее время наметилась тенденция использования одновременно как насосов нормального, так и насосов высокого давления. При этом комплектация мобильных машин, как правило, осуществляется комбинированными насосными установками, характерной особенностью которых является наличие 2-х последовательно включаемых рабочих ступеней: нормального и высокого давления. В первом режиме центробежный насос нормального давления создает напор до 1,0 – 1,5 МПа при подаче до 0,04 – 0,06 м³/с. Второй режим реализуется последовательным включением 2-го насоса высокого давления, создающего напор до 4,0 МПа столба при подаче прядка 0,003 – 0,005м³/с. Таким образом, комбинированный насос – это по существу 2 насоса.

Однако, применение на современных мобильных машинах отечественного и зарубежного производства двигателей большой мощности, позволяет реализовать оба режима работы одной центробежной ступенью.

В данной работе осуществлено моделирование геометрических параметров центробежных насосов в условиях возможности отбора мощности до 300 кВт. Получены области значений гидродинамических характеристик, обеспечивающих режимы нормального и высокого давления при одинаковых геометрических параметрах рабочего колеса, входа в насос и выхода из него.

УДК 621.92

#### ВЫСОКОПОРИСТЫЕ АБРАЗИВНЫЕ КРУГИ

М.П. Купреев УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

Для чистовой обработки поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов все большее применение находят высокопористые абразивные круги с повышенными номерами структуры. В этой связи проблема создания и применения отечественного прецизионного абразивного инструмента, который бы по эффективности не уступал, а по возможности превосходил зарубежные аналоги, является актуальной. На сегодняшний день одним из ведущих изготовителей прецизионного абразивного инструмента является международная компания под названием «Meister-Для его изготовления используется формокорунд, Abrasives». абразивы, кубитрон и др. Эти абразивные материалы, состоят из микрочастиц корунда (менее 5мкм), получаемые методами золь-гель технологии или корундовой спеченной керамики. Они отличаются высокой режущей способностью и самозатачиваемостью. Однако, «спечённые абразивы» чрезвычайно дороги и абразивный инструмент с их использованием, как правило, применяется на прецизионных операциях. Так, на ОАО "САЛЕО-ГОМЕЛЬ" для высокоточной шлифовки нажимного диска и других деталей используются высокопористые прецизионные шлифовальные круги этой фирмы с параметрами IG45x10x21/M12 по цене 41,06 евро за шт. Эти круги изготовлены из эльбора со средним размером частиц 50 мкм, закрепленных частицами белого электрокорунда со средним размером 45 мкм. Структура круга пористая, размер пор 0.14 - 0.20 мм. Керамическая связка прочная, но круг в процессе работы не засаливается.

Целью работы является разработка технологии изготовления высокопористого прецизионного абразивного инструмента повышенного качества, не уступающего по свойствам импортным аналогам.

Наибольший интерес для промышленности представляют крупнопористые абразивные инструменты, общая объемная пористость которых может быть от 35 % до 70 %, а величина пор от 0,15 мм и более. В связи с этим для исследования выбран порошок электрокорунда зернистостью F180 (60 мкм) и F230 (М50) (50 мкм), а в качестве выгорающего наполнителя — новый органический наполнитель с размером частиц 320-630 мкм и 200-320 мкм (рис.1). Размеры частиц наполнителя превышают размер абразивного зерна в 3...10 раз, что позволяет получить высокопористый абразивный материал.

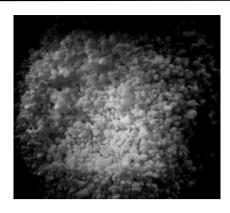


Рис. 1. Новый органический порообразующий наполнитель с размерами частиц 0,32 – 0,63 мм



Рис. 2. Экспериментальные прецизионные шлифовальные круги 45 x 10 x 21 из белого электрокорунда

На рисунке 2 представлен экспериментальный образец шлифовальных прецизионных кругов размером 45 х 10 х 21, изготовленных из белого электрокорунда A25 зернистостью F180 (60 мкм) и F230 (М50 - 50 мкм). Для создания высокой пористости в формовочную массу вводилось 20 % (по массе) представленного на рисунке 1 порообразующего органического наполнителя с размером частиц 320-630 мкм и 200 – 320 мкм. Твердость всех кругов ниже F, номер структуры 14 - 15. В результате микроскопических исследований установлено, что при содержании наполнителя в формовочной массе в пределах 15 -20 % по массе после его выгорания абразивный материал приобретает очень развитую губчатую структуру.

Изготовлена экспериментальная партия высокопористых кругов различной твердости из белого электрокорунда A25 зернистостью F180 (60 мкм) и F230 (М50 - 50 мкм). Эти круги используются на ОАО "САЛЕОГОМЕЛЬ" взамен дорогостоящих импортных кругов из эльбора. Они обеспечивают требуемую высокую чистоту обработки поверхности деталей, не «сыпятся» и не «засаливаются». Их режущая способность значительно выше обычных среднепористых кругов и соответствует импортным аналогам.

По аналогичной технологии нами массово изготавливаются высокопористые круги из более крупного зерна электрокорунда для других предприятий РБ (СООО «Дозатор-плюс», ОАО «МАЗ», СООО «Арвитавто»). Они используются для обработки легированных сталей и резины.

Разработка имеет импортозамещающий и экспорт ориентированный характер. В процессе исследований решен комплекс технологических задач, необходимых для изготовления качественного прецизионного абразивного инструмента с высокими режущими свойствами, связанный с использованием нового порообразующего органического наполнителя. Область применения — машиностроение.

УДК 62-83-52

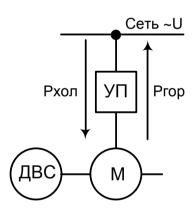
#### ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СТЕНДЫДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

М.Н. Погуляев, В.А. Савельев, И.В. Дорощенко УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

При всем разнообразии электромеханических испытательных стендов их можно разделить на несколько групп, основными из которых являются:

1. Стенды для испытаний двигателей внутреннего сгорания

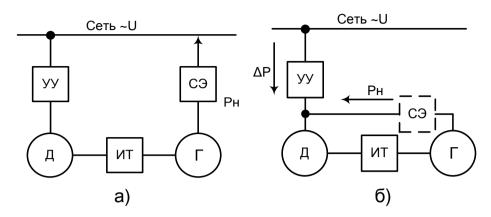
Стенд обеспечивает два режима: холодной обкатки, в этом случае машина постоянного тока работает в двигательном режиме, и горячей обкатки — машина работает в генераторном режиме, нагружая испытуемый ДВС. Управляемый преобразователь обеспечивает регулирование и стабилизацию технических и технологических показателей работы стенда при холодной и горячей обкатке, причем в последнем случае обеспечивая рекуперацию генерируемой электрической энергии в сеть.



ДВС – испытуемый двигатель внутреннего сгорания; М – машина постоянного тока; УП– управляемый преобразователь,  $P_{\text{хол}}$  – мощность в режиме холодной обкатки;  $P_{\text{гор}}$  – мощность в режиме горячей обкатки

Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда на базе электрической машины постоянного тока

2. Стенды для испытания трансмиссий и редукторов Стенды такого типа строят в основном по двум схемам (Рис. 2).



УУ – управляющее устройство, Д – приводной двигатель,  $\Gamma$  – нагружающий генератор,  $C\Theta$  – согласующий элемент,  $U\Gamma$  – испытуемая трансмиссия

Рис. 2. Структурные схемы стендов для испытания трансмиссий и редукторов

Вариант по схеме (Рис. 2, б)(взаимная нагрузка электрических машин) предпочтителен, поскольку из сети потребляется лишь часть нагружаемой мощности, равная потерям мощности ΔРв двигателе, генераторе испытуемой трансмиссии и согласующих элементах. В этом случае, номинальная мощность управляющего устройства (УУ) выбирается исходя из суммарных потерь мощности в элементах стенда, и для ряда схем, например, ДПТ – ГПТ, согласующий элемент (СЭ) не требуется.

3. Стенды для испытания электрических двигателей и генераторов Стенды имеют такую же структурную схему (Рис. 3), что и для испытания трансмиссий, которая в данном случае выполняет роль элемента, согласующего механические параметры электрических машин.

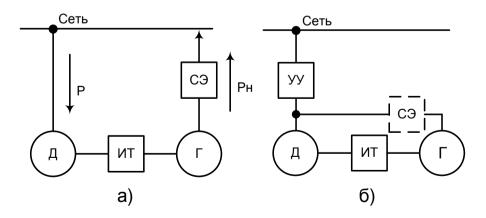


Рис. 3. Структурные схемы стендов для испытания электродвигателей и генераторов

УДК 62-82:620.1.051

#### НАГРУЖАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ

В.А. Савельев, В.Б. Попов, В.В. Тодарев УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Условия и режимы работы сельскохозяйственной техники имеют широкий спектр, при этом на валу двигателя могут присутствовать различные типы моментов сопротивления.

Для проведения научных исследований, работ по наладке и испытаниям приводов и механизмов в условиях, максимально приближенных к реальным условиям их эксплуатации в состав испытательного комплекса входит устройство для физического моделирования нагрузок, способное воспроизводить на валу испытуемого двигателя широкий спектр характерных нагрузочных воздействий или сочетать несколько видов нагрузок.

Такими нагрузками могут быть:

- момент, не зависящий от координат движения  $M_{\rm c} = {\rm const};$
- момент, зависящий от угла поворота (пройденного пути)  $M_{\rm C} = f(\varphi);$
- момент, зависящий от скорости вращения  $M_{\rm c}=f(\omega)$  к этому моменту относятся момент сухого трения  $M_{\rm c}=M\cdot{\rm sign}(\omega)$ , момент вязкого трения  $M_{\rm c}={\rm k}\cdot\omega$ , вентиляторный момент  $M_{\rm c}=k\cdot\omega^2$ ;
- момент, зависящий от ускорения (динамический момент)  $M_{_{\rm I\! I}}=f(\epsilon);$ 
  - момент, зависящий от времени  $M_{c} = f(t)$ .

Например, при движении техники по ровной поверхности с постоянной скоростью двигатель преодолевает нагрузку типа сухого трения, величина которой зависит от массы техники, а знак — от направления движения.

При ускорении и замедлении техники, в соответствии с уравнением движения, двигатель испытывает динамическую нагрузку, величина которой пропорциональна ускорению (замедлению) и моменту инерции на валу двигателя.

С целью приближения условий проведения лабораторных исследований и стендовых испытаний к реальным условиям эксплуатации приводов и механизмов на кафедре «Автоматизированный электропривод» УО ГГТУ им. П.О. Сухого разработано устройство, позволяющее воспроизводить на валу исследуемого привода вращательного движения требуемый характер нагрузки - физическую модель нагрузки.

Разработанное нагружающее устройство представляет собой систему автоматического управления статическими и динамическими меха-

ническими параметрами нагрузки. Упрощенная функциональная схема устройства (Рис. 1)рассматривается как система стабилизации заданной функции момента. При этом частота вращения испытываемого приводного механизма выступает в качестве возмущающего воздействия, поскольку она препятствует поддержанию требуемого закона изменения момента нагрузки. Сигнал задания момента  $u_{\rm 3M}$ , соответствующий требуемому виду нагрузки, формируется управляющим блоком на основании поступающей в него информации (скорость, пройденный путь, время и т.п.).

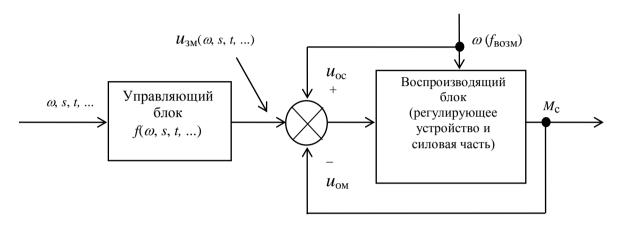


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема нагружающего устройства

Основными требованиями для такого устройства являются минимальное перерегулирование, максимальное быстродействие, высокие статическая и динамическая точность. Силовая часть воспроизводящегоблока может быть построена по системе «широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока», либо по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Для повышения статической и динамической точности применяется принцип инвариантности по отношению к возмущающему воздействию – скорости вращения вала во всем диапазоне нагрузок.

Ещё одним отличием стендов, разрабатываемых на кафедре «Автоматизированный электропривод» УО ГГТУ им. П.О. Сухого, является автоматизация испытаний, что позволяет ускорить процесс испытаний и обработку их результатов.

#### Литература

1. Луковников В.И., Захаренко С.И., Захаренко В.С., Савельев В.А. Инвариантный электромеханический стенд испытания трансмиссий // Известия вузов. Энергетика. 1999. N1. c. 33-37.

УДК 621.869.4: 658

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВА-НИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА И ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

В.Б. Попов, П.В. Авраменко УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Фронтальные погрузчики по компоновке механизмов агрегатирования с рабочим орудием (машиной) незначительно отличаются друг от друга. Проектирование и модернизация механизма подъема стрелы (МПС) и механизма поворота траверсы (МПТ) для соответствующих мобильных агрегатов носит автоматизированный характер и базируется на математическом моделировании их рабочих функций.

Упомянутые механизмы представляют основные структурные компоненты подъемно-навесного устройства (ПНУ), причем их структура и параметры определяют характер взаимодействия фронтального погрузчика с монтируемым на траверсе рабочим орудием и качество выполнения рабочих операций. Другой структурный компонент ПНУ - силовые гидроцилиндры, входящие в состав гидропривода приводят в движение расположенные симметрично относительно продольной плоскости симметрии погрузчика МПС и МПТ.

Для понижения порядка функциональной математической модели (ФММ), без ущерба для существа решаемой задачи, анализируются плоские механизмы. Известно, что плоский аналог механизма из пространственной геометрической модели получают проецированием его характерных точек (центров шарниров) на продольную плоскость симметрии погрузчика. В результате структурного анализа замкнутых кинематических цепей по методике, изложенной в [1] получим четырех- (МПС) и шестизвенный (МПТ) механизмы, изменение обобщенных координат которых однозначно связано с положением рабочего орудия (ковша) относительно корпуса самого фронтального погрузчика. Для упомянутой структуры механизмов были разработаны ФММ для их геометрического, кинематического и силового анализа.

ФММ геометрического, кинематического и силового анализа представляются алгебраическими зависимостями и системами уравнений, описывающими установившийся режим подъема ковша. Геометрический и кинематический анализ МПС и МПТ выполнялись по методу замкнутых векторных контуров [1]. Геометрический анализ выполнялся, исходя из предположения о несжимаемости рабочей жидкости в ГЦ и абсолютной жесткости звеньев механизмов в правой декартовой системе координат.

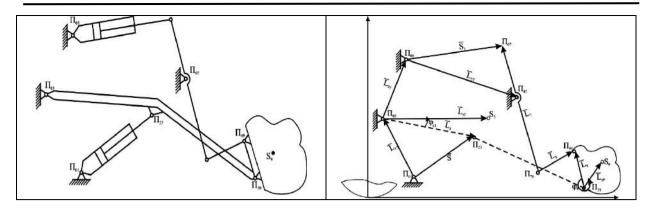


Рис. 1. МПС и МПТ и векторная интерпретация их работы

В результате геометрического анализа определяются: координаты центра тяжести и оси подвеса стрелы, её максимальная высота подъема и вылет, а также угол поворота траверсы. В результате кинематического анализа были получены аналитические выражения для аналогов угловых скоростей звеньев механизмов и их передаточных чисел (ПЧ) [2], а также для грузоподъемности ПНУ:

$$I_{09}(S) = \varphi_3'(S) \cdot L_{39} \cdot \cos(\varphi_{39}(S))$$

где  $\varphi_3'(S)$  - аналог угловой скорости стрелы;  $I_{09}(S)$  – аналог вертикальной скорости (ПЧ) оси подвеса стрелы; S - обобщенная координата МПС.

Из анализа приведенных выражений следует, что ПЧ полностью зависит от внутренних параметров механизма. Приведенная к ГЦ полезная нагрузка определяется как произведение соответствующего веса (Р) на ПЧ.

Силовой анализ выполнялся по группам Ассура в обратном порядке с учетом веса стрелы и рабочего орудия, вес других звеньев и их инерция не учитывались. Расчет приведенной к штоку ГЦ МПС силы трения выполнялся, считая ее равной отношению от деления суммы мгновенных мощностей трения, затрачиваемых в шарнирах МПС на  $\dot{S}$  плюс трение манжеты поршня о гильзу ГЦ ( $F_{mvu}$ ):

$$F_{mp}^{np}(S) = F_{mpu} + r \cdot f_m \cdot [R_{01}(S) \cdot \varphi'_{12}(S) + R_{23}(S) \cdot (\varphi'_{12}(S) + \varphi'_{3}(S)) + R_{03}(S) \cdot \varphi'_{3}(S)]$$

где r – радиус шарниров МПС;  $f_m$  – коэффициент трения металла о металл (пальца шарнира о его втулку);  $R_{ii}(S)$  - сила реакции в шарнире.

#### Литература

- 1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб.для втузов.- М.: Наука, 1988.- 640с.
- 2. Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестник ГГТУ им.П.О. Сухого 2000, №2, сс. 25-29.

УДК 681.532.6

## К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В.В. Пинчук, В.Б. Попов УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Схемы дроссельного регулирования скорости гидродвигателя в гидроприводе (ГП) являются на сегодняшний день наиболее распространенными. Однако, в настоящее время все больше увеличивается количество технологических машин, к ГП которых предъявляются требования одновременного перемещения с регулируемыми скоростями нескольких рабочих органов.

Основной проблемой вышеуказанных ГП является чрезмерный уровень энергетических потерь и недопустимо низкий КПД (достигает 5-10% и менее). Дело в том, что в таком ГП входное давление  $p_0$  постоянно является максимальным и не зависит от нагрузки на рабочих органах, определяющей величины давлений в поршневых полостях исполнительных органов. Энергетику такой системы можно наглядно представить в виде диаграммы, построенной в координатах «давление-расход» (Рис. 1).

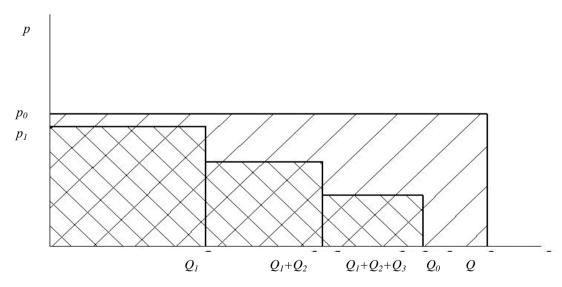


Рис. 1. Диаграмма «давление-расход»

На этой диаграмме потребляемая мощность численно равна площади большого прямоугольника, полезная мощность — сумме площадей малых прямоугольников (двойная штриховка), а площадь участка, заштрихованного однократной штриховкой, численно равна величине энергетических потерь в системе. Очевидно, величина потерь мощности ( $\Delta N$ ) оказывается непосредственно зависящей от разности рабочих давлений на раз-

личных исполнительных органах, которая обусловлена характером работы последних и носит в известной степени случайный характер.

На практике в современном объемном ГП задача одновременного, точного и независимого дроссельного управления несколькими исполнительными органами в большинстве случаев решается за счет использования специального схемотехнического принципа, известного как адаптация гидропривода к нагрузке. Использование этого принципа позволяет снизить разность  $p_0 - p_1$  до приемлемого уровня.

Суть принципа адаптации ГП к нагрузке заключается в том, что регулирование входного давления системы по давлению на наиболее нагруженном исполнительном органе, позволяет обеспечить возможность независимого одновременного управления рабочими органами при приемлемом уровне энергетических потерь. Однако, необходимо отметить, что само по себе применение принципа адаптации к нагрузке отнюдь не гарантирует обеспечения приемлемого уровня КПД и энергетических потерь ГП. Максимальный же КПД привода, близкий к единице, обеспечивается при равенстве давлений на исполнительных органах, что может быть достигнуто соответствующим выбором их параметров.

Рациональный выбор типоразмера исполнительного органа, осуществляемый по критерию приблизительного равенства давлений на исполнительных органах, позволяет существенно снизить уровень энергетических потерь гидропривода. Требования по максимально допустимому уровню давлений на исполнительных органах определяют критерий выбора параметров исполнительных органов гидропривода с адаптацией к нагрузке, обеспечивающий минимум энергетических потерь в системе. На практике выбор значений параметров исполнительных органов должен осуществляться, исходя из ограниченного дискретного набора их возможных значений, определяемых стандартами, регламентирующими ряды диаметров гильз и штоков гидроцилиндров и рабочих объемов гидромашин.

Таким образом, при проектировании ГП, основанного на принципе адаптации к нагрузке, разработчик должен предпринимать конструктивные меры, обеспечивающие приблизительное равенство давлений на исполнительных органах в течение всего, или хотя бы, большей части рабочего цикла машины. В первую очередь, по этому критерию должны выбираться типоразмеры исполнительных органов (рабочие объемы гидромоторов или диаметры штоков и поршней гидроцилиндров. Помимо этого, при разработке ГП следует обеспечивать достаточно высокий уровень рабочих давлений за счет соответствующего выбора его элементной базы, в первую очередь, насосной группы, гидроаппаратуры и исполнительных органов. Практика показывает, что формирование ГП с адаптацией к нагрузке с рабочими давлениями меньшими 10 МПа является нежелательным.

УДК 681.532.6

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ, АДАПТИРО-ВАННОГО К НАГРУЗКЕ ГИДРОПРИВОДА

Д.Л. Стасенко, В.Б. Попов УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

В настоящее время в энергонасыщенных тракторах широкое распространение получил гидропривод (ГП), в основу создания которого заложен принцип адаптации или чувствительности к нагрузке (LS - адаптация). В отличие от известных ГП постоянной производительности, в состав такого ГП, помимо прочего, входят насос переменной производительности и регулятор потока (Рис.1). По сравнению с ГП, включающем шестеренный насос, адаптированный к нагрузке ГП обладает существенным пречимуществом: разность между мгновенными максимальными значениями давления на выходе из гидронасоса (ГН) и в напорной полости гидроцилиндра (ГЦ) минимальна и может быть заложена уже на ранней стадии проектирования ГП.

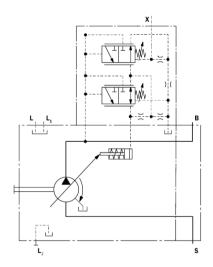


Рис. 1. Схема LS-регулятора аксиально-поршневого насоса фирмы Bosch-Rexroth

Функциональная математическая модель (ФММ) ГП с шестеренным насосом, нагруженным со стороны механизма навески трактора "Беларус-1523" имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{p}_{1} = \frac{E_{np}}{V_{0} + F_{c} \cdot (S - S_{0})} \cdot Q - \frac{F_{c} \cdot E_{np}}{V_{0} + F_{c} \cdot (S - S_{0})} \cdot \dot{S} \\ p_{2} = p_{1} - \left(a_{1} \cdot \ddot{S} + a_{2} \cdot \dot{S} + a_{3} \cdot \dot{S}^{2}\right) \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^{2} = p_{2} \cdot F_{c} - \left[F(S) + F_{mp}^{np}(S)\right] \end{cases}$$

$$(1)$$

где  $F_c$  – площадь поршня ГЦ;  $\dot{p}_1$  – скорость изменения давления у ГН; Q - подача ГН с учетом утечек;  $V_0$  – начальный объем жидкости;  $E_{np}$  –

приведенный модуль объемной упругости гидроцепи;  $p_2$ - давление у ГЦ;  $a_1$  – коэффициент, учитывающий инерцию жидкости;  $a_2$  – коэффициент, учитывающий ламинарный характер течения жидкости;  $a_3$  – коэффициент, учитывающий турбулентный характер течения жидкости и местные гидравлические сопротивления; m(S), m'(S) – соответственно приведенная масса и её производная по обобщенной координате; F(S)- полезная нагрузка на рабочих гидроцилиндрах;  $F_{mp}^{np}(S)$ - сила трения.

Попробуем доработать ФММ с шестеренным насосом - (1), получив ФММ для насоса переменной производительности, анализируя схему LS-регулирования аксиально-поршневого насоса (АПН) (Рис.1).

В отличие от шестеренного насоса объемный расход рабочей жидкости Q, поступающий в напорную магистраль от АПН, затрачивается не только на перемещение поршня ГЦ -  $Q_{nep}$ , деформацию рабочей жидкости и самой гидромагистрали -  $Q_{cm}$ , но и на управление гидроцилиндрами, регулирующими наклон опорной шайбы -  $Q_{v}$ .

$$Q = Q_{\textit{nep}} + Q_{\textit{csc}} + Q_{\textit{y}} \;\; \text{ИЛИ} \;\; Q \; = F_{\textit{c}} \cdot \dot{S} + \dot{p}_{1} \cdot \frac{V_{\textit{sc}}}{E_{\textit{np}}} + Q_{\textit{y}} \; , \;\; Q = q \cdot n \cdot \eta_{0} \; , \label{eq:Q_exp}$$

где  $q, n, \eta_0$  – соответственно объемная подача за оборот вала гидронасоса, а также его частота вращения и объемный КПД.

$$Q_{v} = Q_{o,\partial} + Q_{LS} + Q_{\partial p}$$
.

где  $Q_{o,o}$  - расход через ограничитель давления,  $Q_{LS}$  - расход через LS золотник,  $Q_{o,o}$  - расход через дроссель.

При регулировании подачи АПН расход через ограничитель давления  $Q_{o.\partial} = 0$ , а расход через LS - золотник равен расходу через дроссель (см. рис.1). Связь между расходами через золотник управления и затрачиваемым на перемещения рабочего гидроцилиндра (без учета сжимаемости жидкости и потерь в "качательном" узле АПН) принимает вид:

$$Q_{nep} = n \cdot \eta_o \cdot 1,57 \cdot d_n^2 \cdot z \cdot R \cdot tg \left( \frac{y_{\text{max}} - \frac{Q_{LS}}{f_{u,y.}} \cdot t}{R} \right)$$
 (2)

где  $y_{\text{max}}$  — максимальное значение параметра регулирования АПН соответствующее  $q_{max}$ ; R — радиус опорной шайбы насоса;  $d_{\scriptscriptstyle n}$  - диаметр поршня АПН, z - число поршней АПН;  $f_{{\scriptscriptstyle U},{\scriptscriptstyle Y}}$  — площадь цилиндра управления АПН, t — время регулирования.

Таким образом, заменив в системе уравнений (1) Q на  $Q_{nep}$  в выражении (2) получим модифицированную систему уравнений, учитывающую переменный характер подачи рабочей жидкости.

Адаптированный к нагрузке ГП обладает относительно высокой степенью защиты от перегрузок, что достигается различными техническими средствами, к которым относится:

наличие в LS-регуляторе насоса гидрораспределителя, настроенного на максимальное допустимое давление в системе;
 наличие в узле управления подачей рабочей жидкости в рабочие гидроцилиндры подъемно-навесного устройства ограничителя давления и предохранительного клапана.

УДК 631.354:33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ДНИЩА НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ ОЧЕСЕ

В.В. Никитин<sup>1</sup>, В.Б. Попов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», Брянск, Россия

<sup>2</sup>УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь

Представлены результаты лабораторного эксперимента по определению оптимальной длины днища наклонной камеры зерноуборочного комбайна при работе с очесывающим адаптером.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн; очес; наклонная камера; решетчатое днище; предварительная сепарация очесанного зернового вороха.

Одним из наиболее перспективных направлений уборки, как зерновых, так и зернобобовых культур является очесывание растений на корню [1, 2]. Это обусловлено тем, что при такой технологии уменьшается поступление хлебной массы в комбайн в 1,5-2 раза, что приводит к экономии до 70% энергии, которую современная уборочная машина тратит на деформацию соломы в молотилке. В результате этого, производительность комбайна повышается в 1,7-2 раза, а расход топлива снижается на 20-25% [3]. Себестоимость зерна уменьшается при этом на 25-30% [4].

Однако при кажущейся отработке всех вопросов указанной технологии остается не решенным большой количество задач и проблем. Так, например, хлебная масса, полученная в результате очеса, содержит до 80% свободного зерна[5]. Поступление его в молотильную камеру затрудняет процесс дальнейшего обмолота оставшейся колосовой части урожая, а также снижает пропускную способность устройства. Кроме того, наблюдается повышенное дробление, обрушивание и микроповреждение (суммарное значение которых составляет порядка 14%) свободного зерна рабочими органами молотилки[6]. Это приводит к снижению его всхожести и стойкости при хранении, а также ограничивает применение зерна сугубо как фуражное. Таким образом, изыскание технических возможностей по минимизации дробления свободно зерна рабочими органами молотилки (при очесе растений на корню) является актуальной научной задачей.

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что одной из наиболее удачных попыток решить проблему дробления свободного зерна рабочими органами молотилки оказалось снабжение наклонной камеры зерноуборочного комбайна сепарирующим устройством, представляющее собой прутково-планчатое решето [7]. Практическая реализация

такого технического решения на опытном образце зерноуборочного комбайна позволила исключить повторное воздействие рабочих органов молотильного устройства на свободное зерно и направить его на очистку, минуя молотильную камеру. При этом оптимальными параметрами устройства, обеспечивающие максимальную сепарацию (порядка 85%) свободного зерна из очесанного зернового вороха, являются: расстояние между планками решета 36 мм и между прутками – 32 мм.

Между тем, несмотря на ряд положительных моментов, автором отмечено, что при таких параметрах отверстий сепарирующей решетки сквозь нее беспрепятственно проходит как свободное зерно, так оставшаяся колосовая часть урожая. Это существенным образом увеличивает нагрузку на домолачивающее устройство, лимитируя его пропускную способность, в то время как молотилка наоборот остается недогруженной и фактически работает «в холостую». Следовательно, проблема повышения эффективности работы сепарирующего устройства в наклонной камере зерноуборочного комбайна остается не до конца решенной.

Улучшить работу устройства для предварительной сепарации свободного зерна в наклонной камере возможно за счет гарантированного разделения очесанного зернового вороха на две раздельные фракции (свободное зерно и оставшаяся колосовая часть урожая) до его поступления в молотильную камеру. С этой целью нами была разработана экспериментальная установка, имитирующая работу скребкового плавающего транспортера наклонной камеры зерноуборочного комбайна (Рис. 1). Она состоит из корпуса 1, скребкового транспортера 2, решетчатого днища 3 и емкости 4 для сбора свободного зерна 5. Привод установки осуществлялся от электродвигателя 6 посредством цепной передачей 7. Регулировка скорости транспортера выполнялась при помощи частотного преобразователя 8 «Веспер» Е2-8300.

Все исследования проводились на пшенице сорта «Московская 56». Влажность зерна находилась в пределах 12% (определялась весовым методом в межкафедральной лаборатории Брянского ГАУ). Скорость движения транспортера (3  $\mathit{m/c}$ ) и угол его наклона к горизонту (45°) соответствовали аналогичным параметрам работы для большинства современных зерноуборочных комбайнов. Подача вороха составляла  $10 \, \mathit{кe/c}$  при содержании в нем 80% свободного зерна. Длина съемного решетчатого днища равнялась 0,95  $\mathit{m}$ .

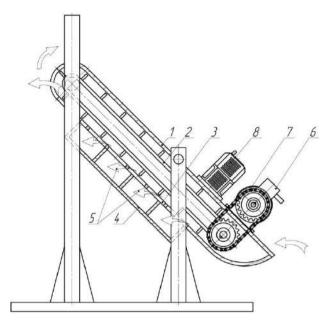


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Опыт был спланирован как полнофакторный (типа  $3^2$ ) с тремя уровнями варьирования прямоугольных отверстий решетчатого днища (Табл. 1), выполненными в виде последовательно расположенных рядов. В качестве выходного параметра было принято количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища экспериментальной установки. Для исключения влияния на выходной параметр эксперимента площади «живого сечения» отверстий решетчатого днища, отклонение ее величины не превышало 0.5%.

Табл. 1. Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал
натуральный вид	кодированный вид	-1	0	+1	варьиро- вания
Длина отверстия, мм	L	120	160	200	40
Ширина отверстия ,мм	В	6	8	10	2

Каждый вариант опыта был проведен с десятикратной повторностью. Таким образом, всего было учтено и обработано 90 опытов.

Полученные данные были обработаны в программе «Excel»и «STATISTICA». По ним построена поверхность отклика, характеризующая зависимость доли свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища от параметров процесса (рис. 2).

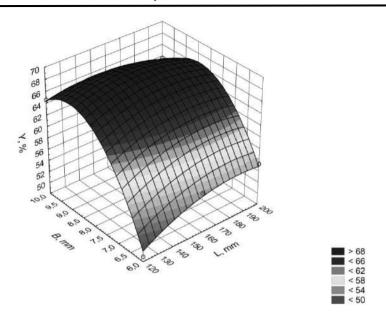


Рис. 2. Влияние длины и ширины отверстий решетчатого днища на проход свободного зерна

Уравнение регрессии, наиболее адекватно отражающее характер зависимостей (с коэффициентом детерминации  $R^2$ =0,958), представляет полином второго порядка

$$Y = -140, +9 + 0.593 \cdot L + 37.2 \cdot B - 0.00123 \cdot L^2 - 0.0229 \cdot L \cdot B - 1.93 \cdot B^2$$
 (1)

где Y — доля свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, %;

L – длина отверстия, мм;

B — ширина отверстия, *мм*.

Анализ уравнения регрессии (1) показывает, что основное влияние на выделение свободного зерна из вороха оказывает ширина отверстий решетчатого днища. При этом оптимальными размерами прямоугольных отверстий решетчатого днища экспериментальной установки является длина 160 *мм* и ширина 8 *мм*, обеспечивающие максимальную сепарацию свободного зерна, равную 68,7%. При этом прохождение колосовой части урожая сквозь отверстия сепарирующей решетки во всех сериях эксперимента не наблюдалось.

Регистрация процесса сепарации свободного зерна осуществлялась на четырех контрольных участках решетчатого днища (рис. 3).При этом его стопроцентное значение находилось в момент начала проведения эксперимента, то есть при отсутствии перемещения. Расчет количества свободного зерна, поступившего на второй контрольный участок (81%), определен разницей между предыдущим значение (100%) и количеством свободного зерна, прошедшим сквозь отверстия на первом контрольном участке (19%). Аналогичным образом были получены и остальные значения (65,7; 47,64; и 31,3% соответственно).

Уравнение регрессии, наиболее полно отражающее характер зависимостей ( $R^2$ =0,9823) имеет прямолинейный вид

$$y = -80,424 \cdot x + 95,045 \tag{2},$$

где y — текущий остаток зерна в ворохе, в процентах от ее исходной массы, имевшейся в начале процесса сепарации;

x – расстояние от начала сепарирующей решетки, m.

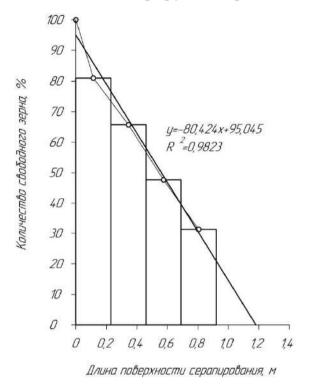


Рис. 3. Убывание свободного зерна из очесанного зернового вороха в зависимости от длины поверхности сепарирования

Наличие 31,3% свободного зерна на выходе из установки говорит о том, что длины сепарирующей решетки при проведении серии экспериментов оказалось не достаточно. Следовательно, для достижения желаемого результата: исключение поступления свободного зерна в молотильную камеру зерноуборочного комбайна, необходимы и достаточным является ее увеличение длины.

Для этого приравняв уравнение (2) к нулю и решив его, получим, что длина решетчатого днища, обеспечивающая полное выделение зерна из вороха, должна быть не менее x=1,18 m. Такое техническое решение может быть реализовано, например, в наклонной камере зерноуборочного комбайна K3C-1218 «Полесье GS-12», имеющей длину порядка 1,3 m. При этом зерновой ворох (свободное зерно и мелкие примеси), прошедший сквозь отверстия решетчатого днища целесообразно направить на транспортную доску либо посредством шнека [8], либо посредством скребкового транспортера.

Аналогичные исследования были проведены на экспериментальном устройстве при отсутствии легких примесей в ворохе. В этом случае длина сепарирующей решетки, обеспечивающей полное выделение свободного зерна, составляет порядка 1,12 м. Отделение легких примесей из очесанного зернового вороха может происходить непосредственно в корпусе адаптера, за счет снабжения его задней стенки жалюзийной решеткой [9].

Это позволить интенсифицировать сепарацию оставшейся хлебной массы в наклонной камере зерноуборочного комбайна.

Таким образом, в отличие от рассмотренного аналога, нам удалось существенным образом улучшить работу устройства для предварительной сепарации за счет разделения компонентов очесанного вороха на две раздельные фракции. Использование предложенного технического решения позволит надежно исключить вероятность поступления свободного зерна в молотильную камеру и прохождение оставшейся колосовой части урожая сквозь отверстия решетки. При этом для обеспечения полного прохода свободного зерна длина сепарирующей поверхности должна быть не менее 1,18 м, а отверстия иметь размеры 160×8 мм. Дальнейшие исследования необходимо сосредоточить на определении дробления свободного зерна рабочими органами молотилки и его сепарации в наклонной камере применительно в полевых условиях.

#### Литература

- 1. Бурьянов М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Зерноград, 2011. 20 с.
- 2. Алдошин Н.В., Лылин Н.А., Мосяков М.А. Уборка зернобобовых культур методом очеса // Дальневосточный аграрный вестник. -2017. -№ 1. С. 67-73.
- 3. Жалнин Э.В. Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект // АгроСнабФорум. 2017.  $N_2$  3 (151). С. 14.
- 4. Кравченко Н.П. Обоснование приоритетных инноваций в растениеводстве и оценка их эффективности: Автореф. дисс. д.э.н. Майкоп, 2011.-46 с.
- 5. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Игнатов В.Д. Адаптация зерноуборочного комбайна к работе с очесанным зерновым ворохом // Техника в сельском хозяйстве. -2013. - № 6. - C. 5-7.
- 6. Шабанов Н.П. Разработка и обоснование устройства для сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере зерноуборочного комбайна: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Симферополь, 1997. 26 с.
- 7. Шабанов П.А., Шабанов Н.П. Обмолот на корню дальнейшее развитие двухфазного способа обмолота зерновых культур // Достижения науки и техники в АПК. 2006. No. 8. С. 8-10.
- 8. Пат. № 2577892 РФ, МПК<sup>7</sup> А01D41/12. Наклонная камера зерноуборочного комбайна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. — Заявка № 2014145875/13 от 14.11.2014; опубл. 2016, бюл. № 8.
- 9. Пат. № 2566017 РФ, МПК $^7$ А01D 41/08. Устройство для обмолота растений на корню / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. Заявка № 2014130712/13 от 24.07.2014; опубл. 2015, бюл. № 29.

УДК 631.372, УДК 621.866-82

# О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЛИЧИЯ В ПАРКЕ РБ И РФ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ "БЮДЖЕТНОГО" ВАРИАНТА УЭС-350, УНИФИЦИРОВАННОГО С УЭС-2-280A

### В.А. Шуринов

Научно-технический центр комбайностроения ОАО Гомсельмаш, Гомель, Беларусь

Планируемые и фактические объёмы заготовки силоса и сенажа в РБ в 2017г составили, соответственно, 16,129/18,081 млн. т и 12,527/11,966 млн. т. [1].

Фактический парк кормоуборочных комбайнов (далее КУК) составляет около 4457 шт. [2], в том числе импортных комбайнов - 718 шт. энэргонасыщенностью от 428 до 815 л.с.; энергонасыщенность одного условного усреднённого комбайна в парке РБ составляет около 345л.с. (приложение №1), из чего следует, что при суммарной мощности существующего парка исправных комбайнов (приложения №1 и №2) при коэффициенте использования эксплуатационного времени (далее Кэ) =0,6 расчётные сроки заготовки планового объёма силоса и сенажа должны составлять около 140ч, в 2 раза меньше нормативной годовой загрузки КУК, равной 280ч (приложение №3)+[3].

Фактические сроки заготовки годового объёма силоса и сенажа по данным МСХ РБ составляют более 700ч., в 2,5 раза больше нормативного агросрока [3].

При подконтрольной эксплуатацией 275 КУК Ягуар-870 и Ягуар-850 на заготовке силоса показали производительность от 33 до 39 т/ч сменного времени, а на заготовке сенажа - от 23 до 27 т/ч., в 2,4 - 2,5 раза ниже их расчётной производительности за час эксплуатационного времени при Кэ=0,7 (приложение№2).

Фактический коэффициент использования эксплуатационного времени по 275-ти импортным комбайнам составил Кэ=0,28 (приложения №2 и №4), из чего следует, что непроизводительные потери рабочего времени составили более 70%; не лучше этот показатель и по 168 подконтрольным комбайнам КВК-800.

Очевидно, что основная причина таких огромных потерь рабочего времени как импортных, так и отечественных комбайнов кроется не в их технической и технологической надёжности, тем более что в РБ время на оперативное устранение отказов по отечественным комбайнам контролируется государством.

Главная причина, по которой КУК не могут реализовать заложенный в них потенциал, кроется в том, что парк тракторных прицепов для

отвозки измельчённых кормов в РБ составляет около 6448 шт. [5], в среднем около 1,5 прицепа на один комбайн со средним объёмом кузова не более 40 куб. метров, грузовместимость которого при перевозки измельчённой кукурузы на силос составляет около 10т., а измельченных трав на сенаж - около 6,8т (приложение №5). Аналогичные выводы о причинах низкой годовой наработки высокопроизводительных кормоуборочных и зерноуборочных комбайнов в Украине сообщил мне заместитель директора УкрНИИПИТ имени В.В. Погорелого.

Результаты расчётов (приложения №2, №6 и №7) показывают, что (для заготовки в нормативные агросроки планового объёма силоса и сенажа при указанном в технологической карте МСХ РБ среднестатистическом расстоянии от поля до силосной траншеи - 7 км [5], скорости транспортировки не более 25 км/ч [12]+ (приложение №5), Кэ=0,6 (он не может быть принят выше, чем у агрегатируемого с прицепом комбайна) потребность в прицепах с объёмом кузова  $40 \text{ м}^3$  составляет около 15 тыс. шт., в 2,3 раза больше существующего парка прицепов.

При определении потребного парка прицепов для перевозки силоса и сенажа учтено, что грузовместимость кузова прицепа, при заполнении его измельчённой сенажной массой, в 1,4-1,5 раза меньше, чем при заполнении измельчённой кукурузой, в связи с чем, парк прицепов определён по их потребности для перевозки сенажной массы.

Кроме недостаточного парка прицепов возможны вопросы по агрегатируемым с прицепами тракторам класса тяги не менее 30 кH, тяжёлым трамбовщикам силосных траншей и другой техники для упаковки в башни и рукава силосносенажной массы.

Учитывая, что при нормативной годовой загрузке КУК энэргонасыщенностью 350-360 л.с. с Кэ=0,6 его производительность (приложение№2), на заготовке силоса и сенажа составит соответственно около 57 и 40 т/ч эксплуатационного временив, в 1,4-2,4 раза больше [4]+(приложение №4), чем фактическая средняя часовая производительность отечественных и импортных комбайнов энэргонасыщенностью от 428 до 530 л.с., считаю целесообразным возобновить ОКР по кормоуборочному комплексу на базе "бюджетного" варианта УЭС-350, унифицированного с серийно выпускаемым УЭС-2-280A, и навесного а него комбайна КНК-4200, адаптировав к комбайну серийно выпускаемые жатки, подборщик, косилку-плющилку КПР-9 и широкозахватную косилку сплошного среза захватом 9м, а в перспективе - и другие адаптеры.

По результатам экспертной оценки унификация "бюджетного" УЭС-350 с УЭС-2-280А составит около 93% (приложение №8), а КНК-4200 с жатками и подборщиком - около 70%.

Следует отметить, что по результатам испытаний в 2002г "бюджетный" вариант УЭС-350 в агрегате с КНК-4200 на заготовке силоса из кукурузы восковой спелости при затратах мощности на ВОМ 296,1 л.с. показал производительность 138,2 т/ч основного времени [6], а на заготовке сенажа

влажностью 67% - 105,4 т/ч основного времени при затратах мощности на рабочие органы -241 л.с.[7].

Немаловажно и то, что:

-производительность за час эксплуатационного времени КНК-4200 в агрегате с "бюджетным" УЭС-350 позволяет одним комбайном за нормативную смену загружать стандартную силосную траншею (Проект 811-29) объёмом 2 тыс. т. с выполнением агротехнических нормативов МСХ РБ [5] как по времени ежесуточной загрузки в траншею слоя толщиной 0,8 м, так и по суммарному времени для полного завершения её загрузки;

- комбайн КНК-4200 в дальнейшим может стать базовым для проектируемого мобильного энергетического средства МС-350 с гидромеханической трансмиссией, предназначенного для выполнения энергоёмких с/х операций, требующих тягового усилия до 60 Кн.

Заключение: В условиях значительного снижения покупательской способности аграриев РБ, РФ и других стран ЕАЭС "бюджетный" вариант предлагаемого кормоуборочного комплекса (на базе УЭС-350 и агрегатируемых с ним комбайна КНК-4200 и косилок) будет конкурентоспособен на рынках этих стран, в связи с чем считаю целесообразным возобновить ОКР по этому комплексу.

УДК 669.715

#### ПРИМЕНЕНИЕ СИЛУМИНА С ГЛОБУЛЯРНЫМ КРЕМНИЕМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

А.М. Брановицкий, В.Ю. Стеценко, А.П. Гутев, К.Н. Баранов ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Могилев, Беларусь

В настоящее время в агропромышленном комплексе для изготовления деталей, работающих в узлах трения, применяются различные антифрикционные бронзы (БрОЦС5-5-5, БрАЖ9-4 и др.), латуни и баббиты. Их главными недостатками являются относительно высокая стоимость, большой удельный вес и импортное производство. Поэтому разработка и внедрение более дешевого, легкого и отечественного заменителя антифрикционных бронз является актуальной задачей. Разработанный в Институте технологии металлов НАН Беларуси силумин с глобулярным кремнием (СГК) обладает относительно низким удельным весом, высокими антифрикционными свойствами, не уступающими бронзам. Заготовки из СГКв два раза дешевле аналогичных из бронз и применяются для изготовления таких деталей, как: подшипники скольжения, муфта предохранительная фрикционная, втулки балансиров и шарнирных соединений, вкладыши люнета токарных станков, прессов и гильотин, втулки сателлитов дифференциалов и сальниковых букс, поршни гидроцилиндров, шестерни червячных колес редукторов, направляющие втулки и другие детали узлов технологического оборудования (Рис. 1).



Рис. 1. Детали машиностроения из СГК

В 2014 году ОАО «Гомсельмаш» были успешно проведены стендовые испытания колец из СГК в муфтах свободного хода КВК 0124300/300-01, с положительным результатом по геометрическим параметрам и физи-

ко-механическим свойствам. В настоящее время заготовки из СГК поставляются на завод для изготовления деталей «Муфтапредохранительная обгона 04.142.000» для кормоуборочных комбайнов КПК3000 и КДП3000 и «Муфта предохранительная фрикционная 04.141.000А; КВК 0214100/014; КВК 0214300/01» для ротационной жатки ЖГР-4,5-1.

В ОАО «Амкодор-Дзержинск» совместно с хозяйством ОАО «Нёманский» проводились полевые испытания втулок, изготовленных из СГК и установленных на отделителе силоса 352С.45.45.000 для отделения сенажа, с удельной плотностью не менее 700 кг/м³ и влажностью не менее 70%. Опытные втулки были установлены на осях поворота (угол поворота 53°) отделителя 352С.45.45.200 взамен аналогичных из бронзы ВМZ/L 6090 DIN1494/ISO3547 со смазкой Литол-24. По прошествии года эксплуатации отклонений и люфтов в сочленении узлов не выявлено, работоспособность соответствовала требованиям.

На предприятии ОАО«Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» проводились испытания втулок балансиров ходовой системы машины для внесения твердых органический удобрений МТУ-24, изготовленных из СГК, взамен аналогичных из антифрикционного материала АСП-6 ТУ РБ 29026859.001-2003, при работе машины на внесении твердых органических удобрений. Во время планового ремонта машины, при визуальном осмотре опытных втулок видимых разрушений не выявлено. По результатам контрольного обмера втулок, установлено, что износ опытных втулок из СГК меньше, чем серийных. Установлено, что втулки балансиров ходовой системы машин для внесения твердых органический удобрений МТУ-24 из СГК, полученные по технологии ГНУ «ИТМ НАН Беларуси», по износостойкости превосходят серийные из АСП-6 и рекомендованы в качестве заменителя серийных в ходовых системах сельскохозяйственной техники.

Таким образом, по результатам производственных испытаний установлено, что применение СГК на сельскохозяйственной технике взамен тяжелых и дорогостоящих бронз и других антифрикционных материалов, позволяет увеличить срок эксплуатации деталей в узлах трения и снизить их стоимость.

УДК 621.74

### ПОЛУЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЛИТЬЁМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Е.И. Марукович, А.М. Брановицкий, А.А. Круглов ГНУ«Институт технологии металлов НАН Беларуси», Могилёв, Беларусь.

Разработана технология производства отливок деталей роторного двигателя из алюминиевого сплава АК12М2. Организован участок литья по газифицируемым моделям в экспериментальном цехе института.

**Ключевые слова:** литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ), качество моделей, пенополистирол, модельный блок.

Изготовление отливок сложной конфигурации, имеющих скрытые полости и требующих применения более двух сложных стержней, является трудной задачей. Детали роторного двигателя: крышка передняя, коллектор, статор (Рис. 1) являются достаточно сложными по конфигурации деталями, имеющими скрытые полости, сложную ступенчатую поверхность и карманы охлаждения. В отличие от традиционных методов литья при ЛГМ модель не извлекается из формы перед заливкой, а использование в качестве формовочного материала различного рода огнеупорных наполнителей без связующих позволяет получать отливки сложной конфигурации с меньшими трудозатратами по сравнению с традиционными методами литья.



Рис. 1. Отливки деталей роторного двигателя: а – крышка передняя; б – коллектор; в – статор

В ИТМ НАН Беларуси создан участок литья по газифицируемым моделям. Процесс ЛГМ включает этапы получения моделей на участке изготовления пенополистироловых моделей (Рис. 2) и изготовления отливок на формовочно-заливочном участке (Рис. 3).



Рис. 2. Участок изготовления пенополистироловых моделей

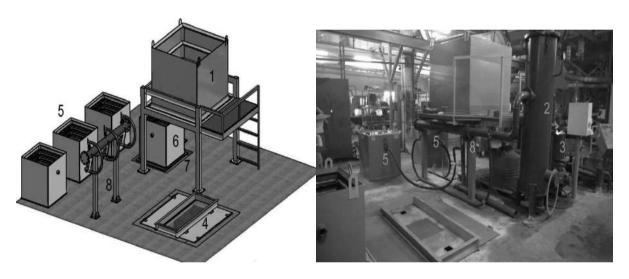


Рис. 3. Формовочно-заливочный участок: а — схема; б — фотография; 1 — сменный раздаточный бункер; 2 — вакуумный аккумулятор; 3 — вакуумный водокольцевой насос; 4 — приямок; 5 — опоки под монорельсом заливочного ковша; 6 — опока на вибростоле; 7 — вибростол; 8 — стенд вакуумирования

Весь технологический процесс изготовления моделей разделяется на два этапа: предварительная переработка суспензионного полистирола и изготовление моделей в замкнутом объеме пресс-формы. Важным фактором, обеспечивающим качество и характеристики отливки, является материал модели. При изготовлении моделей используются специальные виды полистирола с повышенным содержанием порообразователя. Экспериментально установлена насыпная плотность пенополистирола, дающая наилучшее качество поверхности отливок.

Данная технология может быть применена для изготовления широкого спектра деталей агропромышленного комплекса из черных и цветных металлов.

УДК 629.01

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ, СТЕНДОВЫХ И ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС 4118 КС ГАЗОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

О.В. Рехлицкий, Г.В. Ермольчик Научно-технический центр комбайностроения ОАО Гомсельмаш, Гомель, Беларусь

Применение газового топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) имеет давнюю историю. В 1915-1916 годах впервые в качестве газомоторного топлива был применен природный газ (метан). За прошедшее время данное направление получило свое развитие в создании почти всеми лидерами в области двигателестроения (МАN, Caterpillar, Liebherr, Cummins, Deutz, Weichai, MWN и др.) двигателей внутреннего сгорания, использующих природный газ в качестве моторного топлива для автомобильной техники, промышленных силовых насосных и генераторных установок [1, 2, 3].

Преимущества использования природного газа на сегодняшний день неоспоримы: в первую очередь, это колоссальные геологические запасы метана, во-вторую - метан является возобновляемым природным ресурсом, в-третьих - природный газ можно использовать в качестве моторного топлива без какой — либо предварительной обработки, в-четвертых — газомоторное топливо обеспечивает высокие экологические требования эмиссии выхлопных газов без применения дорогостоящих, технически сложных систем. Указанные преимущества дополняются гораздо более низкой стоимостью природного газа по сравнению с другими моторными топливами, такими как бензин, дизельное топливо, этиловый спирт.

Несмотря на широкое распространение газодизельных и газовых двигателей в автомобильной технике, в производстве автономных генераторных установок, создание в течение последних десятилетий газодизельных модификаций популярных моделей тракторов, использование газовых двигателей для комплектации зерноуборочных комбайнов, кроме теоретических исследований [4], на практике не предпринималось.

С целью создания инновационного продукта, обеспечивающего явное конкурентное преимущество по сравнению с техникой основных производителей (CLAAS, CNH, JohnDeere, AGCO) на рынках дальнего зарубежья и ОАО КЗ «Ростсельмаш» на рынках СНГ, НТЦК ОАО «Гомсельмаш» проведена научно-исследовательская работа «Разработать, изготовить и испытать экспериментальный образец перспективного зерноуборочного комбайна на газовом топливе»(договор с Гомельским областным исполнительным комитетом от 15.08. 16 г. № 2016/1).

В ходе выполнения данной темы осуществлена разработка конструкторской документации комбайна зерноуборочного самоходного КЗС-4118 К, по технологической части и ходовой системе унифицированного с комбайном КЗС-1218А-1, с вновь разработанной моторной установкой, включающей: установку двигателя в шасси самоходной молотилки, систему питания двигателя воздухом, систему выпуска отработанных газов, систему охлаждения двигателя, механизмов привода вентилятора блока радиаторов и съема мощности с носка коленчатого вала двигателя, газобаллонного оборудования (ГБО), капотов верхнего строения, включая защитно-декоративные элементы, предохраняющие баллоны с газом от перегрева, УФ-излучения и воздействия других природных факторов; электрооборудования и комплекта электронных устройств. На технические решения, примененные в конструкции комбайна КЗС-4118К поданы две заявки на полезные модели.

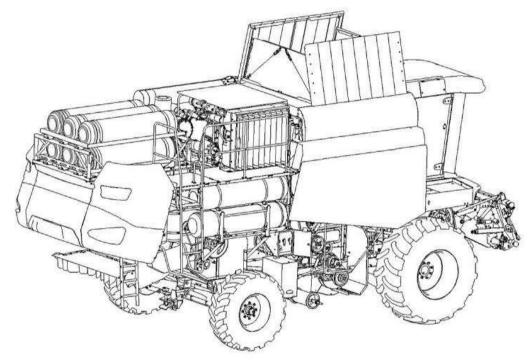


Рис. 1. Концепция ГБО согласно полезным моделям №U20170261 и №U20170262

В соответствии с разработанной КД в Экспериментальном производстве НТЦК ОАО «Гомсельмаш» изготовлен экспериментальный образец КЗС-4118К №0001 (Рис. 2) с газовым двигателем GSM-IS12G-350 производства ф. "Cummins".

Проведены стендовые испытания экспериментального образца зерноуборочного комбайна с силовой установкой на газовом топливе КЗС-4118К по определению температурного состояния моторной установки и гидросистемы комбайна (Рис. 3).



Рис. 2. Комбайн КЗС-4118К №0001 на VII Петербургском Международном Газовом Форуме



Рис. 3. Экспериментальный образец зерноуборочного комбайна с силовой установкой на газовом топливе КЗС-4118К в стендовом зале КСИДМ

Условия проведения испытаний приведены в таблицах 1,2.

Табл. 1. Значения факторов внешней среды

таол. т. эначени	T T T	Марка примененного двигателя					
Наименование фактора внешней среды	Д-3067-01	TAD853VE	ЯМЗ-238ДЕ-22	OM 936 LA	SC9DF330G3	AM3-65853-05	GSM-IS12G-350
	Значения факторов внешней среды						
атмосферное давление, кПа	99,3	99,4	-	102	99,7	100,5	100,5
относительная влажность воздуха, %	71	79	84	71	60	66	70
температура окружаю- щего воздуха, °С	2324	2526	10	1314	910	1516	22

Табл. 2. Условия нагружения двигателя

		Марка примененного двигателя						
Место подключения нагружателя	Д-3067-01	TAD853VE	ЯМЗ-238ДЕ-22	OM 936 LA	SC9DF330G3	AM3-65853-05	GSM-IS12G-350	
			Тормоз	вная мощнос	сть, л.с.			
Гидромотор ГСТ	8081	8082	7981	7981	7980	7981	2627 <sup>1)</sup>	
Вал привода жатки	3233	3032	3132	3940	3032	3132	2627	
Вал привода соломоизмельчителя	3435	3234	3334	3436	3234	3334	3940	
Вал ускорителя	9495	6365	8890	5052	8788	8890	109111	
Суммарный отбор	240	205	231	202	228	231	200	
мощности	244	213	237	209	234	237	205 <sup>2)</sup>	
Частота вращения ко-	1970	1960	1960	1990	1950	1960	1800	
ленвала, об/мин	1980	1980	1980	2000	1960	1980	1850	

<sup>1)</sup> Со стороны вала битера отбойного

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Согласно показаниям терминального блока комбайна K3C-4118K загрузка двигателя составляла 98...100 %.

Прочие условия испытаний (подготовка объекта к испытаниям, применяемые средства измерений, длительность испытаний и др.) выполнялись согласно утверждённой "Программе-методике испытаний и исследований на тепловой режим моторных установок универсальных энергетических средств, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов" № 013-10С от 26.01.10 г.

Результаты проведенных испытаний в Табл. 3 указаны в сравнении с результатами стендовых испытаний модификаций комбайна КЗС 1218 с моторными установками, оснащенными дизельными двигателями: Д-3067-01 производства ОАО "АМЗ", РФ, TAD853VE производства ф. "Volvo Penta", Швеция, ЯМЗ-65853-05 производства ОАО "Автодизель", РФ, SC9DF330G3 производства «SHANGHAI DIESEL ENGINE Co., Ltd.», КНР, ЯМЗ-238ДЕ-22 производства ОАО "Автодизель", РФ, ОМ 936 LA экологического класса Stage 4 производства МТU, Германия, проведенными в период с 2014 по 2017 год.

Табл. 3. Результаты испытаний моторных установок на тепловой режим

таол. э. гезульта		Марка примененного двигателя					
Измеряемая температура	Д-3067-01 <sup>1)</sup>	${ m TAD853VE}^2$	ЯМЗ-238ДЕ-22 <sup>1)</sup>	OM 936 LA <sup>1)</sup>	SC9DF330G3 <sup>3)</sup>	ЯМЗ-65853-05 <sup>2)</sup>	GSM-IS12G-350 <sup>1)</sup>
	Предпол	Предполагаемое значение при температуре окружающего воздуха 40 °C					
Охлаждающая жидкость на входе в радиатор	9495	8283	9091	8990	8182	9495	7778
Охлаждающая жидкость на выходе из радиатора	8889	7879	8586	8384	7677	9091	7273
Воздух питания двигателя на входе в радиатор	155 156	219 220	141 142	204 205	171 176	156 157	152 153
Воздух питания двигателя на выходе из радиатора	5556	4748	6061	5254	5051	5253	5455
Воздух питания двигателя на входе в турбокомпрессор	5556	5051	4849	4748	5354	5859	5152

<sup>3)</sup> С блоком радиаторов БР-300.1301.000 производства ООО "Оренбургский радиатор"

<sup>4)</sup> С блоком радиаторов Б 1218К.004.0000 производства ОсОО "Автомаш-Радиатор"

<sup>5)</sup> С блоком радиаторов В8890-00 производства КНР

При проведении стендовых испытаний выявлена завышенная частота вращения холостого хода двигателя (более 2300 об/мин) и нестабильность частоты вращения коленвала в процессе нагружения, в связи, с чем ее установка производилась по следующей методике:

- устанавливалась частота вращения коленвала двигателя 1800...1850 об/мин;
- производилось плавное повышение нагрузки на двигатель до режима, приведенного в Табл. 2. В случае снижения частоты вращения коленвала двигателя менее 1780 об/мин регулятором оборотов производилось ее увеличение до 1800...1850 об/мин.

Анализ полученных результатов показывает высвобождение значительного запаса мощности радиатора по сравнению с дизельным аналогом, что связано с особенностью компоновки газового двигателя в конструкции молотилки. Данный запас уверенно гарантирует безотказную работу систем моторной установки и ГБО при выполнении техпроцесса на максимальной мощности и температуре окружающего воздуха до 40°C.

Учитывая положительные результаты стендовых испытаний на тепловой режим моторной установки, зерноуборочный комбайн КЗК-4118К был направлен на полевые испытания в хозяйства Гомельской области.



Рис. 4. Комбайн КЗС-4118К на уборке зерновых культур [5]

Исследования экспериментального образца проводились в сезон полевых работ с 26 июля по 22 ноября 2017 года в реальных условиях эксплуатации на уборке зерновых колосовых культур и кукурузы на зерно в хозяйствах Гомельской области: ОАО «Комбинат «Восток» Гомельского района, СПК «Кривск» Буда-Кошелевского района, ОАО «Агрокомбинат «Южный» Гомельского района, ОАО «Днепр-Агро» Буда-Кошелевского района, СООО «Вахавяк» Буда-Кошелевского района (Рис.4).

По состоянию на 23.11.2017 общая наработка комбайна составила 220,8 часов сменного времени (при нормативе годовой загрузки 130 часов), за которые с площади 287 га было убрано 1143,2т зерна, в том числе на уборке зерновых колосовых 478т и на уборке кукурузы на зерно 665,2т.

Основным аргументом противников широкого применения газовых двигателей является недостаточная развитость инфраструктуры заправочных газовых станций в местах эксплуатации сельскохозяйственной техники. При проведении натурных испытаний комбайна заправка баллонов природным газом осуществлялась передвижным автогазозаправщиком (ПАГЗ), принадлежащим филиалу «Гомельское УМГ». Следует отметить, что заправка производилась в полевых условиях точно в назначенное время, не зависимо от места расположения комбайна в пределах Гомельской области. Что отражает заинтересованность ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» в создании и широком продвижении подобной техники в сельское хозяйство.



Рис. 5. Заправка природным газом комбайна КЗС-4118К в полевых условиях передвижным автогазозаправщиком (ПАГЗ).

В ходе испытаний были отработаны различные варианты заправки комбайна компримированным природным газом в поле (Рис. 5), средняя продолжительность заправки газомоторного комбайна в поле составила 17 мин. Наработка комбайна на одной заправке не менее 8 ч.

Компоненты экспериментального образца комбайна показали надежность выполняемого технологического процесса. Однако в ходе полевых испытаний были отмечены особенности эксплуатации комбайна КЗС-4118К с газовым двигателем. Значительные отличия по управлению оборотами газового двигателя от дизельного при выполнении технологи-

ческого процесса комбайном приводило к неустойчивой работе двигателя Cummins IS12G-350 в экспериментальном исполнении.

На различных режимах работы в результате колебаний момента сопротивления рабочих органов и ГСТ происходит изменение угловой скорости коленчатого вала [6, 7], что требует производить настройку топливных карт двигателя с целью ограничения амплитуды и частоты ее колебаний.

В тоже время отмечено, что при выполнении выскоконагруженной уборки, с использованием доизмельчителя соломы, падение оборотов двигателя (при загрузке более 80%) не наблюдается. Повышение оборотов двигателя происходит при уменьшении нагрузки на рабочих органах и ГСТ ходовой части.

Согласно данным, полученным в ходе испытаний самоходного зерноуборочного комбайна КЗС-4118К период колебаний частоты вращения коленвала двигателя составляет 1,324с, следовательно, частота коррекции регулятора оборотов двигателя имеет значение 0,7558 Гц. Указанная частота колебаний не оказывает вредного влияния на выполнение технологического процесса, а также, согласно «Типовой методике испытания сельскохозяйственной техники М29.020.86», на конструктивные элементы машины и здоровье оператора.

В ходе проведенных исследований определен экономический эффект от применения газового комбайна в сравнении с комбайнами с дизельными двигателями: с близким по пропускной способности КЗС-2221 и с КЗС-1218А-1, имеющим идентичный технологический тракт, в части снижения затрат на топливо в расчете на 1 тонну убранного зерна (Табл. 4).

Табл. 4. Расчет затрат на топливо комбайна зерноуборочного самоходного GS4118K в сравнении с комбайнами K3C -1218A-1 и K3C-2221

	Уборка пше	еницы озимой	Уборка кукурузы на зер-		
Наименование показателя			но		
	КЗС-4118	K3C-1218A-1	КЗС-4118	КЗС-2221	
Урожайность культуры, ц/га	42,0	45,0 <sup>1)</sup>	80	85	
Производительность, т/ч	12,3	15,7 <sup>1)</sup>	25,1	27,3	
Удельный расход топлива, м <sup>3</sup> /т, л/т	$5,0^{2)}$	3,11)	$4.0^{2)}$	$2,8^{2)}$	
Стоимость топлива, руб.	0,50	1,29	0.50	1.29	
Затраты на топливо при уборке 1-й					
тонны зерна, руб.	2,50	4,0	2.0	3,62	
Экономия средств при уборке 1-й					
тонны зерна, %	40	-	45	-	

<sup>1) -</sup> по данным результатов испытаний комбайна на ГУ «Бел МИС»

<sup>2) -</sup> по данным результатов испытаний комбайна в д. Синичино

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Замещение традиционных видов топлива природным газом позволяет сократить расходы сельхоз предприятий на горюче-смазочные материалы, а так же снизить уровень вредных выбросов и, соответственно снизить темпы деградации почвы.

Экономия денежных средств при уборке зерновых и зернобобовых культур за время проведения испытаний на уровне 40-45% свидетельствует о значительном технологическом прорыве на рынке зерноуборочных комбайнов, так как в настоящий момент не существует прочих технических решений, позволяющих снизить затраты на комбайнирование более, чем на 10%.

- 2. Незначительное увеличение веса комбайна (4.5%), за счёт применения сверхлёгких баллонов 4 класса, позволило сохранить агротехнические характеристики комбайна КЗС-4118К на уровне серийно выпускаемого комбайна КЗС-1218А-1.
- 3. Положительные результаты, полученные в ходе стендовых испытаний, свидетельствуют о правильном выборе компонентов системы газобаллонного оборудования и систем питания двигателя.
- 4. Техническая надежность газового двигателя и ГБО в пределах достигнутой наработки (убрано более 1100 тонн зерновых, зернобобовых культур и кукурузы на зерно с площади 287 га) характеризуется наработкой на отказ свыше 220 часов.
- 5. За время проведения полевых исследований и испытаний отработана заправка газомоторного зерноуборочного комбайна КЗС-4118К мобильным комплексом ПАГЗ. Время заправки составило 17-20мин, что значительно снижает затраты на транспортировку топлива к месту уборки. Повышается безопасность передачи газомоторного топлива из емкостей хранения ПАГЗ в емкости КЗС-4118К, так как отсутствуют испарения топлива в зоне заправки, в сравнении со способом заправки дизельным топливом.

Проведенные исследования экспериментального образца зерноуборочного комбайна КЗС-4118К подтвердили возможность создания зерноуборочного самоходного комбайна с газовым двигателем, работающим на компримированном природном газе, и сформировать исходные данные для проведения ОКР по созданию опытного образца комбайна с последующим представлением его на предварительные и приемочные испытания.

#### Литература:

- 1. https://www.liebherr.com
- 2. <a href="https://www.cat.com">https://www.cat.com</a>
- 3. <a href="https://cumminsengines.com">https://cumminsengines.com</a>

- 4. Иванов А.С., Обоснование перевода зерноуборочного комбайна на газовое топливо/ А.С.Иванов, Е.М.Чикишев Е.М., И.А.Анисимов Газовая промышленность. № 10,-2014., с.104-106.
  - 5. <a href="http://www.btg.by/press/kaleidoscope/2017/08/">http://www.btg.by/press/kaleidoscope/2017/08/</a>
- 6. Анилович В.Я., Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов/В.Я. Анилович, Ю.Т. Водолажченко; Под ред. Б.П. Кошуба. М.: Машиностроение, 1966. 520 с.
- 7. Тракторы: Теория:Учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы»/В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова.-М.: Машиностроение, 1988.-376 с.: ил.

УДК 66.018.64.001

## ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ ТОРМОЗОВ И ТРАНСМИССИЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХ-НИКИ

В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, И.Ю. Симонюк Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь

В сельскохозяйственной технике фрикционные материалы (ФМ) применяются для изготовления тормозных дисков, эксплуатируемых в режиме сухого трения без смазки, накладок муфт сцепления, эластичных накладок тормозной ленты вала отбора мощности (ВОМ), фрикционных дисков муфт трансмиссий, в частности, фрикционных дисков гидромеханической коробки перемены передач (ГМКПП) и узла ВОМ, дисков тормозных, предназначенных для работы в среде масла, фрикционных дисков муфт сцепления, работающих в масле, фрикционных шайб, фрикционных дисков стояночных тормозов и фрикционных дисков муфты блокировки дифференциала.

Фрикционные материалы, используемые в конструкциях кормоуборочной техники и тракторов, подвергаются воздействию самых неблагоприятных эксплуатационных факторов — высоким и знакопеременным температурным и динамическим нагрузкам, большим скоростям скольжения при высоких удельных нагрузках, интенсивному износу, зачастую в присутствии различных абразивных и агрессивных сред (солевых растворов, нефтепродуктов, кислот и т.д.) [1].

Условия работы и технические параметры сельскохозяйственной техники, в которую устанавливаются компоненты, содержащие фрикционные материалы, определяют совокупность требований, предъявляемых к этим материалам: необходимость обеспечения заданной величины и стабильности коэффициента трения, независимость характера трения скольжения от условий эксплуатации и метеорологических условий, отсутствие ударных нагрузок в агрегатах трансмиссии при переходных процессах, комфортность торможения и достаточный запас (не менее 25%) тормозного пути по отношению к допустимому Европейскими директивами при заданных скоростях движения. Фрикционные материалы должны хорошо прирабатываться к контртелу, не изнашивать и не схватываться с ним, обладать достаточной механической прочностью, высокой износостойкостью, иметь соответствующие теплофизические свойства и высокую фрикционную теплостойкость, быть коррозионностойкими, негорючими, обладать улучшенными виброакустическими характеристиками и способностью к гашению автоколебаний. Кроме того, ФМ должны быть экологически чистыми, технологичными, иметь приемлемую стоимость и доступную сырьевую базу [2].

Для поддержания конкурентоспособности сельскохозяйственной техники на мировом рынке и обеспечения экспорта своей продукции в связи с решением ряда международных организаций, в т.ч. Генеральной Ассамблеи ООН о запрете использования асбеста, Минский тракторный завод первым среди предприятий отрасли начал использовать безасбестовые фрикционные материалы в тормозах и трансмиссиях (1992г).

В настоящее время в автотракторостроении для комплектации фрикционных узлов сухого трения используются два класса фрикционных материалов: композиты с органической матрицей и металлокерамические. Внутри каждого из этих классов разработано большое количество рецептур фрикционных материалов, соответствующих конкреттребованиям и условиям эксплуатации. Для фрикционных устройств, работающих в условиях без смазочного материала, основным критерием выбора того или иного класса ФМ является тепловой режим работы пары трения. Применение полимерных фрикционных материалов ограничено объемной температурой  $9_v = (570-620)$  К и средней температурой поверхности трения  $9_s = (670-695)$  К. Металлокерамические ФМ используются при тепловых режимах, для которых характерны  $9_v = (870-970)$  К и  $9_s = (1070-1270)$  К, однако по мере роста температуры фрикционная эффективность металлокерамики существенно снижается. В целом, на мировом рынке фрикционных материалов, сохраняется устойчивая тенденции роста объемов производства и использования полимерных ФМ [3].

Несмотря на постоянное совершенствование компонентного состава и свойств ФМ, задача увеличения мощности трения фрикционных устройств и снижения ударных нагрузок в узлах трения автотракторной техники при переходных процессах не нашла своего решения до настоящего времени. В связи с этим разработка новых ФМ, предназначенных для работы в среде масла, является актуальной научно-технической задачей. В маслоохлаждаемых фрикционных устройствах в настоящее время используются пять классов материалов: металлокерамические, прессованные композиты с органической матрицей, углеродные, листовые (фрикционная бумага) и металлические фрикционные покрытия. Для ФМ, предназначенных для работы в масле, тепловой режим работы пары трения не является определяющим, поскольку температура эксплуатации таких материалов ограничена термостойкостью масла.

Эффективность маслоохлаждаемых фрикционных узлов во многом определяется структурой материалов и геометрией поверхности трения [4], а также свойствами смазочного материала, его реологическими характеристиками и скоростью прокачки масла через объем, ограничивающий многодисковые пары трения. Значительную зависи-

мость от указанных параметров смазочного материала имеют спеченные, дисперсионно спеченные, молибденовые, углеродные материалы, а также фрикционная бумага. Менее чувствительными к свойствам масла и интенсивности теплоотвода из зоны трения металлокерамические материалы на основе железа и прессованные фрикционные композиты с полимерной матрицей [5]. Этот факт имеет важное значение, ибо в сельхозмашинах различные фрикционные устройства (ГМКПП, фрикцион ВОМ, тормоза) работают в общей смазочно-охлаждающей системе трансмиссии.

Одной из причин динамического удара в агрегатах трансмиссии и тормозов, сопровождающегося вибрацией и шумом в момент трогания или остановки транспортного средства, является значительное неравенство коэффициентов статического и динамического трения применяемых ФМ. Именно по этой причине металлокерамические фрикционные материалы не обеспечивают плавность включения узлов трения. вследствие чего ухудшается динамика переходных процессов в машинах. Повышение уровня вибрации и шума (NVH-характеристики) существенно снижает надежность и долговечность машин, ибо эти характеристики являются, по сути, параметрами их качества [5,6]. Шум, генерируемый при фрикционном взаимодействии, особенно при нестационарных режимах трения, является одной из наиболее трудноразрешимых проблем снижения шумов в транспортной индустрии. Устранению перечисленных недостатков способствуют материалы с улучшенными демпфирующими свойствами, например, фрикционная бумага и ФМ с полимерной матрицей. Нами разработаны высокопрочные термостойкие полимерные структуры ФМ, обеспечивающие жидкостной режим трения фрикционно-взаимодействующих твердых тел с близкими коэффициентами статического и динамического трения независимо от вязкости жидкостной среды. Примером таких ФМ, снижающих вероятность срыва масляной пленки на контактной поверхности и переход к режиму трения без смазки, могут быть материалы с микропористой или ортогонально-армированной структурой [6]. Для разработанных ФМ с полимерной матрицей достигнут технический эффект в снижении шума дисковых тормозов колесных тракторов на 4-6 дБА. В настоящее время ведутся работы по созданию листовых (бумажных) фрикционных материалов на основе базальтовых и целлюлозных волокон для узлов трения автотракторной техники. Основные триботехнические характеристики разработанных материалов представлены в таблице. Изделия, для комплектации различных узлов и агрегатов тракторов "Беларус", изготовленные из разработанных материалов, представлены на Рис. 1.



Рис. 1. Фрикционные изделия, предназначенные для работы в узлах трения колесных тракторов

Изделия для фрикционных узлов стационарного трения представлены на Рис.2. Фрикционные втулки ПКК 0108009 датчика камнедетектора кормоуборочной техники «ПАЛЕССЕ», поставки которых осуществляет ИММС НАН Беларуси на ОАО «Гомсельмаш», представлены на Рис.3.



Рис. 2. Фрикционные композиционные материалы на фторполимерной матрице для узлов стационарного трения



Рис.3. Фрикционные втулки ПКК 0108009 датчика камнедетектора кормоуборочной техники «ПАЛЕССЕ»

Таким образом, в области разработки фрикционных материалов для комплектации сельскохозяйственной техники можно выделить ряд проблем, отражающих современные тенденции в машиностроении, решение которых необходимо для обеспечения технического прогресса в этой области. Это создание материалов и конструкций, позволяющих существенно повысить мощность и надежность работы фрикционных устройств, обеспечивающих снижение динамических нагрузок в узлах трения сельхоз машин при переходных процессах и существенное улучшение NVH-характеристик тормозов и трансмиссий, что позволит улучшить виброакустические характеристики тракторов и кормоуборочной техники.

#### Литература.

- 1. Composition, Function and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives [Electronic resource]. Mode of access: <a href="http://www.osti.gov">http://www.osti.gov</a>.
- 2. Плескачевский Ю.М., Сергиенко В.П. Фрикционные материалы с полимерной матрицей: перспективы исследования, достигнутый уровень, рынок. Наука и инновации. 2005, № 5, с. 47-53
- 3. Sergienko V.P., Zhuk V.V., Leshchev V.A., Kupreev A.V., Fadin V.I. The analisys of triboingineering processes on the frictional oil-cooled contact //Proc. of the 6-th Int. Symp. On tribology of friction materials. Yaroslavl, Rassia. 2006. P.1-6/
- 4. Проспекты фирм: Horbiger Antriebstechnik GmbH, Germany; Miba Frictec GmbH, Austria; Wellman Products Group, USA; Raybestos Products Company, USA.

- 5. Сергиенко В.П. Снижение шума и вибрации транспортных средств / С.Н. Бухаров, И.В. Колесников и др. М.: Машиностроение, 2014.-334c.
- 6. Sergienko V.P. Noise and Vibration in Friction Systems /V.P. Sergienko, S.N. Bukharov. Switzerland: Springer, 2015. 251 p.

# СОДЕРЖАНИЕ

## Пленарное заседание

ПРОДУКЦИЯ ГОМСЕЛЬМАШ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННО- ГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А. И. Камко
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕН- ТОСПОСОБНОСТИ УБОРОЧНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НОЙ ТЕХНИКИ А.С. Шантыко.
СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА – ОСНОВА ВНЕДРЕНИЯ ИННО- ВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ С.А. Федорович
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ ПО- ВЕРХНОСТИ В СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОЕНИИ П.А. Витязь, В.И. Жорник.
<b>ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ АПК</b> А.Ф. Ильющенко, М.А. Андреев, Е.Д. Манойло
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬХОЗТРАКТО- РОСТРОЕНИЯ П.А. Амельченко, Д.А. Дубовик, А.В. Ващула
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ» И.В. Волков, Н.П. Насекайло
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗЕР- НОУБОРОНЫХ КОМБАНОВ В.П. Чеботарев.
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН
В Б. Попов. Т.А. Трохова

С.В. Михолап	
Секционные ооклиоы	
Секция № 1 «Уборочная техника и научно-техническое сотрудничество»	
КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОЕКТИРО- ВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯ- ТИЯХ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «БЕ- ЛАГРОСЕРВИС»	
А.Г. Гривачевский, Р.Л. Кулик, Б.М. Штейн	44
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН АГРО- ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	46
В.В. Петренко	40
ТЕРМОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ПО- КРЫТИЯ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК К.Б. Подболотов	49
К.Б. 110д00л010В	1,7
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНО- СТИДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОМБАЙНОВ М.А. Белоцерковский, В.А. Шуринов, Н.Ф. Соловей, А.В. Сосновский	52
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИОННОЙ ХИМИКО- ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ КОРМОУБО- РОЧНОЙ ТЕХНИКИ	
М.Н. Босяков.	54
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕР- МООБРАБОТКИ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМ- ПЛЕКСА	
И.И. Вегера, А.И. Михлюк	57
ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ПРИ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКЕ	
А.В. Клочков, В.В. Гусаров, В.Ф. Ковалевский.	59

АКТИВНОЕ КОПИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОЛЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
Е.Я Строк, Л.Д. Бельчик, А.А. Ананчиков	62
КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМО- ПЛАСТИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НОЙ ТЕХНИКИ С.С. Песецкий, В.Н.Коваль.	63
С.С. ПСССЦКИИ, В.П.ПОВШВ	U.
<b>СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ГЛАЗАМИ МЕХАНИЗАТОРОВ</b> В.В. Гусаров	65
РЕМЕННОЙ АКТИВАТОР СОЛОМОТРЯСА ЗЕРНОУБОРОЧ- НОГО КОМБАЙНА	
В.В. Носко, Д.С. Праженик, Д.А. Малявский	67
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ ТЕХНОЛО- ГИЧЕСКОГО ТРАКТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА П.В. Авраменко, М.М. Дечко, А.В. Захаревский	69
ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ ФОРСУНКИ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ НА КОРМОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ П.В. Авраменко, Д.А. Жданко, В.Б. Попов.	71
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ОЧИСТКИ ЗЕР- НОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС-1218 А.А. Новиков, В.А. Шуринов, Д.А. Дубовик, В.И. Прибыльский	73
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ ИЗ- МЕЛЬЧАЮЩИМ АППАРАТОМ БАРАБАННОГО ТИПА П.Е. Родзевич.	75
<b>РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИСПЫТА- НИЙ СЛОЖНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ</b> В.В. Тодарев, В.Б. Попов, М.Н. Погуляев.	77
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОИЗВОДИ- ТЕЛЬНОСТИ КЛАВИШНОГО СОЛОМОТРЯСА С ПРИМЕНЕ- НИЕМ АКТИВАТОРА БАРАБАННОГО ТИПА С. И. Кирилюк.	70

РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ- ТЕРМОУПРУГОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕ- ДАЧЕ С ТОЧЕЧНЫМ КОНТАКТОМ В.Н. Пархоменко	81
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХА- НИЗМА ОЧИСТКИ САМОХОДНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
В.Б. Попов, А.А. Новиков	83
ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ «ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ» В САПР УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В.Б. Попов, О.В. Рехлицкий.	86
<b>НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В УЗЛАХ СУХОГО ТРЕНИЯ СЕЛЬСКОХЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН</b> А.В. Голопятин.	89
ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАССОВОГО БЕЛОРУССКОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА А.С. Шантыко, С.А. Федорович, В.К. Липская	91
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАВЕСНЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО ГАРМОНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ А.В. Воронин.	94
ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ ЗЕРНА	0.6
Д.Н. Иванов	96 98
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗ- ДУШНЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБО- РОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС-1319 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕО- МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ И.А. Баран, С.В. Труханович.	100

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТА УПРАВЛЯЕ-	
МЫХ КОЛЕС САМОХОДНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ	
МАШИНЫ	
Д.В. Джасов, А.Н. Кондрашова	102
Секция № 2 «Тракторы, мобильные энергетические средст	ва,
прицепные и навесные агрегаты»	ŕ
АВТОМАТИЗАЦИЯ АВАНПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕ-	
СКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ	
Н.Н. Гущинский, Г.М. Левин	104
11.11. 1 y 14.11. 1.11.	104
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ ПОЛЫХ ЦИЛИН-	
ДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА	
В.П. Груша, В.Ф. Бевза	107
ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЛЬНЯ- НЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ШУМОПОНИЖАЮ-	
ЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАБИН АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	
С.Н. Бухаров, В.П. Сергиенко, А.С. Тулейко	109
e.ii. Byhapob, B.ii. cepi heimo, ii.c. Tyheimo	109
ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН МАРКИ ВЧТГ: МЕХАНИЧЕСКИЕ	
СВОЙСТВА	
П.С. Дробышевский, А.А. Новиков, С.А. Тюрин	111
СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕ-	
ТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ И	
ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИИ	
Д.А. Жданко, Д.И. Сушко	113
МЕТОДИКА РАСЧЕТА УТЕЧКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ	
УПЛОТНИТЕЛЬНОГО УЗЛА ГИДРОЦИЛИНДРОВ	
А.С.Давыдов, Ю.А. Андреевец	117
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ РЕГУЛЯТОРА	
РАЗНОСТИ ДАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ПОРШНЕВОГО	
HACOCA	
М.И. Дорох, Д.Л. Стасенко	120
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	
ГИДРОСИСТЕМЫ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА Е.М. Чуб	122
17.191. 7190	1//

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ОД- НОСТУПЕНЧАТОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ	
И.И. Суторьма	12.
<b>ВЫСОКОПОРИСТЫЕ АБРАЗИВНЫЕ КРУГИ</b> М.П. Купреев.	12
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СТЕНДЫДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ М.Н. Погуляев, В.А. Савельев, И.В. Дорощенко	12
НАГРУЖАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕН- ДОВ	
В.А. Савельев, В.Б. Попов, В.В. Тодарев	13
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРО- ВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА И ПОВОРОТА ТРАВЕРСЫ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА	
В.Б. Попов, П.В. Авраменко	13
К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НЫХ МАШИН В.В. Пинчук, В.Б. Попов	13
2.2. 11.11. 1j.x, 2.2. 110102	15
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ, АДАПТИ- РОВАННОГО К НАГРУЗКЕ ГИДРОПРИВОДА</b> Д.Л. Стасенко, В.Б. Попов.	13
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ДНИЩА НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ ОЧЕСЕ В.В. Никитин, В.Б. Попов.	13
О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЛИЧИЯ В ПАРКЕ РБ И РФ КОРМОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА БА-ЗЕ "БЮДЖЕТНОГО" ВАРИАНТА УЭС-350, УНИФИЦИРО-ВАННОГО С УЭС-2-280А В.А. Шуринов.	_
ПРИМЕНЕНИЕ СИЛУМИНА С ГЛОБУЛЯРНЫМ КРЕМНИЕМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	14
А.М. Брановицкий, В.Ю. Стеценко, А.П. Гутев, К.Н. Баранов	14

Е.И. Марукович, А.М. Брановицкий, А.А. Круглов	150
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ, СТЕНДОВЫХ И ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КЗС 4118 К С ГАЗОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	
	152
ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИ- ЦЕЙ ДЛЯ ТОРМОЗОВ И ТРАНСМИССИЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, И.Ю. Симонюк	162