

ОАО «Гомсельмаш»
Научно-технический
центр комбайностроения

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра

Сборник научных статей шестой международной
научно-практической конференции

2 ноября 2022 года
г. Гомель, Республика Беларусь



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

6-ая МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

2 ноября 2022 г.

**Сборник научных статей международной
научно-практической конференции**

Гомель, Республика Беларусь

УДК 631.3:620.22:001895

Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник научных статей 6-ой международной научно-практической конференции - Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2022. - 326 с.

ISBN 978-985-6477-59-4

В сборнике опубликованы научные статьи участников 6-ой международной научно-практической конференции **«Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра»**, посвященные состоянию, тенденциям и направлениям развития сельскохозяйственного машиностроения в области создания тракторов, универсальных энергетических средств, навесных и прицепных машин, машин для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов, новых материалов, методов проектирования с использованием компьютерных технологий, методов повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных машин, включая критерии надежности и безопасности.

СЕКЦИОННЫЕ СТАТЬИ

СЕКЦИЯ №1

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

УДК 631.35.008.94

СИНЕРГИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МЕТОДИК КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА 3D-МОДЕЛЕЙ. ВЕРИФИКАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

И.А. Кольцова¹, Н.В. Грудина²

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

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

Синергия — это процесс, в котором один фактор усиливается другим, третьим и следующими, а общий результат превосходит сумму воздействия всех факторов.

Синергией называют рост суммарной эффективности усилий двух или более участников некоего процесса в результате объединения этих усилий. Как правило, оно приводит к достижению намного лучшего результата, чем тот, который получился бы простым сложением этих усилий без их объединения ради общей цели.

Синергетический эффект - возрастание эффективности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет системного эффекта

Определение синергии для НТЦК ОАО «Гомсельмаш» (далее – НТЦК) рассматривается как результат консолидации и интеграции потенциалов, который связаны и усиливают друг друга, инструментов и методик контроля качества электронных 3D-моделей деталей и сборок, их состава и процесса проектирования, систем управления жизненным циклом изделия, испытаний с использованием современных информационных технологий; цифровых компетенций специалистов при использовании данных технологий.

Вместе с тем, синергия для НТЦК, состоит с мультидисциплинарных факторов: новых технологий трехмерного проектирования при постоянном повышении сложности проектов;

цифровых компетенций конструкторов при работе; контроля качества 3D-моделей; разработанных ТНПА и методик, групповой многопользовательской работы над проектами; знаний и усилия коллектива конструкторов для выполнения гениальной работы высокого уровня, которые могут организовываться, таким образом, что они взаимно усиливаются в процессе проектирования; в одном информационном пространстве, позволяющих выполнять качественное проектирование сельскохозяйственной техники и получать синергетический эффект от их взаимодействия.

Синергия находится в постоянной связи и взаимодействии технологий, сферы цифрового проектирования, методик контроля качества их использование в работе, исправления несоответствий, знаний, умения конструкторов, создающий синергетический эффект при создании новых образцов техники.

Проектирование сельскохозяйственной техники с использованием новых передовых информационных технологий - сложный, системный, творческий процесс создания, перенос родившейся идеи в жизнь, в металл. Качество 3D-моделей является одним из критериев «Индустрии 4.0» и базируется на использовании цифровых технологий.

Знания и усилия нескольких человек, обмен идеями и знаниями, компетенциями, обмен опытом (проектировщиков, дизайнеров, расчетчиков, испытателей) могут организовываться таким образом, что они взаимно усиливаются (приводит к синергетическому эффекту) поэтому сегодня важна многопользовательская групповая работа над проектами и корректировки несоответствий в процессе проектирования/модернизации конструкций.

Необходимо работать по правилам. Каждый проектировщик стремиться свою работу сделать как можно быстрее, практически не заботясь о качестве проекта, как единого целого; выполнять свой участок работы, свой по закреплению узел в строго определенные сроки. Несоответствия в процессе проектирования 3D-моделей, которые появляются, приводят к диссинергетическому эффекту (снижение эффективности функционирования системы в результате негативного воздействия друг на друга входящих в нее элементов) и влияют на сборку верхнего уровня.

Допущенные каждым проектировщиком даже не большие несоответствия, погрешности накапливаются в одном месте - в общей сборке - сборке верхнего уровня у ведущего по машине.

Для синергии контроля качества изделий и цифрового проектирования, для контроля правильности использования 3D-моделирования, для получения качественных проектов в НТЦК, взаимодействия в коллективе (со структурными подразделениями – конструкторскими отделами) разработан и применяется

многоступенчатый алгоритм (многоступенчатая методика далее по тексту – методика, алгоритм), который состоит из ряда последовательных действий:

1) Выявление несоответствий при цифровом проектировании.

Выявление несоответствий в процессе систематического контроля несоответствий в электронных 3D-моделях и атрибутах (параметрах) на основании разработанных методик.

2) Исправление, корректировка несоответствий при взаимодействии с конструкторами

3) Повторный контроль несоответствий. Выявление несоответствий. При наличии несоответствий, выявление их, корректировка.

4) Обратная связь с конструкторами в процессе проектирования и устранения несоответствий.

5) Обратная связь с информацией о несоответствиях.

6) Обратная связь с информацией, которая находится в программе модернизации серийной и разработки новой техники холдинга «ГОМСЕЛЬМАШ» на 2022-2024 годы. Согласно данной программе осуществляется выбор машин для проверки несоответствий, которые будут изготавливаться/модернизироваться согласно программе модернизации.

Цель выявить несоответствия в 3D-моделях, атрибутах (параметрах) и корректировка (ликвидация) несоответствий, проведения верификации 3D-моделей. Используется для поддержания данных проектирования в актуальном состоянии.

Верификация 3D-моделей - предоставление объективных факторов того, что данные 3D-модели отвечают указанным требованиям.

Для корректировки несоответствий разработаны методики, состоящие из этапов, наработан опыт работы с ними.

1) Этап 1. Контроль атрибутивной информации на 3D-моделях на основании разработанных ТНПА СТП 325-683 «Требования к электронной структуре изделия. Описание процессов разработки электронного изделия», ИН 325-2111 «Методика трехмерного проектирования с использованием программных средств Creo, Windchill».

2) Этап 2. Проверка качества 3D-моделей с применением методики - **«Методика контроля качества 3D-моделей»**, разработана в НТЦК КИО ВС.

3) Этап 3. Проверка качества 3D-моделей с применением методики по работе с внешними связями и зависимостями на основании **«Инструкции по устранению внешних связей»** разработана в НТЦК КИО ВС.

4) Этап 4. Выявление несоответствий в окне **«Центр уведомлений»** в САПР CREO.

Проверка качества 3D-моделей на основании данных, анализа информации в окне **«Центр уведомлений»** в CREO, в котором указаны несоответствия, сформированные системой САПР при регенерации 3D-моделей. Несоответствия следует выявить и откорректировать, устранить ошибки.

5) Этап 5. Проверка качества 3D-моделей на основании данных файла **TRAIL.TXT** в САПР CREO.

Исправление несоответствий на основании данных «Протокола сообщений» в САПР CREO, полученных при работе с файлом сообщений при регенерации моделей файл **TRAIL.TXT** в САПР CREO (все действия системы и в том числе несоответствия записываются в файл)

6) Этап 6. **Несоответствия ModelCHECK в САПР CREO.**

Ежедневное, систематическое, выявление самим конструктором несоответствий в процессе проектирования при использовании средств САПР. Для этого пользователям, следует, выполнить команду «Контроль ModelCHECK» в CREO. Смотреть сообщения о несоответствиях и их откорректировать.

Данная методика (данный алгоритм) уникальная/ый. Разработана на основе опыта КИО ВС НТЦК по работе с контролем качества электронных 3D-моделей при многопользовательской работой (больших групп конструкторов) над проектами не зависимо от формы собственности предприятия и территориального расположения предприятия.

Ценность данной методики (алгоритма), данного опыта, что ее рекомендуется применять для специалистов, которые работают с большими ответственными проектами (сборками) при работе с большими коллективами проектировщиков, не в зависимости в какой автоматизированной системе САПР выполняется проектирование.

Для качественной выполнения сборки изделия (деталей) и технологической подготовки производства, для максимальной скорости загрузки 3D-моделей при проектировании, взаимодействия конструкторов, требуется минимизировать количество несоответствий Регулярно выполнять контроль несоответствий по методике (алгоритму) проверок.

Перед всем коллективом НТЦК стоит задача получить синергетический эффект для ускорения процесса конструирования, сокращения унификации деталей узлов, для ускорения выпуска новой техники, при устранении несоответствий, получая при этом актуальные 3D-модели в одном информационном пространстве в PDM Windchill; ежедневно поддерживать актуальность 3D-моделей и их версии, оперативно исправлять несоответствия.

3D-модели актуальные с правильной геометрий и заполненными атрибутами деталей, сборок востребованы всеми подразделениями холдинга «Гомсельмаш» и внешними контрагентами. (Рис.1. Использование 3D-моделей подразделениями холдинга и внешними контрагентами).

Для того, чтобы факторы синергии приносили синергетический эффект надо выполнять: контроль, коррекцию, кураторство при работе с данными и 3D-моделями в процессе проектирования.

Для улучшения качества проектируемых 3D-моделей в НТЦК организовано проведение систематического контроля сборок, деталей, с использованием выше указанных методики (алгоритма) на стадиях проектирования. Контроль выполняется за день, за месяц, за квартал, за год. Отдельно выполняется систематический контроль больших сборок машин и их состава.



Рис.1 – Использование 3D-моделей подразделениями холдинга и внешними контрагентами

Составлено авторами

Профилактический контроль 3D-моделей направлен на систематическую проверку состава сборочных единиц (узлов), систематическое выявление несоответствий при проектировании деталей, сборочных единиц, повышение эффективности работы с большими сборками, получение правильной электронной структуры изделия. Качество проектирования обеспечивается предупреждением и своевременным выявлением несоответствий на всех этапах проектирования деталей, сборочных единиц, узлов (далее - ДСЕ).

Несоответствия (циклические ссылки, подавленные, сбойные элементы и др. несоответствия, следует исправить, так как они

переносятся (клонироваются) с одной модели в другую при выполнении команды «Сохранить как...».

Информацию о несоответствиях, доводят до конструкторов с однозначным указанием проблемного/ошибочного ДСЕ и исполнителя по закреплению для корректировки моделей, приведение их к надлежащему качеству.

На базе данной методики (алгоритма) выполнялся контроль несоответствий по 3D-моделям ДСЕ зерноуборочных комбайнов КЗС-1218, КЗК-1104, КЗК-2124, КЗК-1624, КЗС-810.

Синергия проектирования, развития цифровых технологий и коммуникаций, контроля несоответствий, знаний, компетенций конструкторов, многопользовательская работа над проектами обеспечивают усиливающий синергетический эффект при работе над новыми проектами выпускаемой техники и синергетический эффект контролируемости процесса проектирования, развития цифрового пространства и цифровых технологий, уменьшения количества несоответствий (ошибок), способствующей выпуску качественной продукции, качественной конструкторской документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-ресурс: https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/russian
2. СТП 325-683-2017 «Требования к электронной структуре изделия. Описание процессов разработки электронного изделия»
3. ИН 325-2111-2017 «Методика трехмерного проектирования с использованием программных средств Creo, Windchill»
4. Кольцова И.А., Козлов В.И., Грудина Н.В., Поздняков Е.П. «3D-модель, как основной источник данных при организации совместной работы при проектировании, технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации» // 4 международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе сегодня и завтра», Гомель, НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 4 ноября 2020г.-Гомель: НТЦК ОАО Гомсельмаш 2020. - С.81-90.
5. Логинов М.П. Развитие ипотечного комплекса России (синергетический подход) // Финансы и кредит.2009.№36(372)

УДК 631.35.008.94

СИНЕРГИЯ В ВОПРОСАХ КАЧЕСТВА 3D-МОДЕЛЕЙ

И.А. Кольцова¹, Н.В. Грудина²

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

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

Цифровые технологии формируют наше настоящее. Тот, кто предвосхищает их и вовремя внедряет, обгоняет своих конкурентов.

Термин «синергия» - обозначает взаимное усиление, содействие, взаимное сотрудничество.

Синергия:

- 1) энергия или сила, создаваемая в процессе совместной работы различных частей или процессов;
- 2) польза, полученная от комбинирования двух и более элементов таким образом, что продуктивность этой комбинации выше, чем сумма ее отдельных факторов;
- 3) сотрудничество, содружество, совместное действие, а также взаимодействие различных видов энергии в целостном действии, которые вступают в партнерство друг с другом;
- 4) совместное и однородное функционирование элементов системы;
- 5) условие, состоящее в том, что общий результат превосходит сумму сложенных эффектов

Синергетический эффект - возрастание эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет так называемого системного эффекта (эмерджентности).

Для синергии контроля качества 3D-моделей и технологии цифрового проектирования, для выполнения технологии электронного бизнес-согласования, для контроля правильности использования 3D-моделирования, для получения качественных проектов в НТЦК, взаимодействия в коллективе (со структурными подразделениями – конструкторскими отделами), для сокращения числа несоответствий (ошибок) разработана методика (алгоритм), который может применяться для разных САПР. Используется для поддержания данных проектирования в актуальном состоянии.

Для корректировки несоответствий разработаны методики, (методический инструментарий), наработан опыт работы с ними. Синергетический эффект в качестве получается за счет применения методик по устранению несоответствий (ошибок) описанных в этапе 1-этапе 6, при этом охватывается все больше конструкторов для проверки несоответствий и охватывается для проверки большое количество 3D-моделей. Основная цель - сокращение количества ошибок (несоответствий) в конструкциях.

При проверке несоответствий (ошибок) данные этапы можно применять последовательно и по-отдельности.

1) Этап 1. Контроль атрибутивной информации на соответствие ТНПА.

Выполняется проверка атрибутивной информации (параметров) на 3D-моделях на основании разработанных ТНПА СТП 325-683 «Требования к электронной структуре изделия. Описание процессов разработки электронного изделия», ИН 325-2111 «Методика трехмерного проектирования с использованием программных средств Creo, Windchill».

2) Этап 2. Проверка качества 3D-моделей с применением методики – **«Методика контроля качества 3D-моделей»**, разработана в НТЦК КИО ВС.

3) Этап 3. Проверка качества 3D-моделей с применением методики по работе с внешними связями и зависимостями на основании **«Инструкции по устранению внешних связей»** разработана в НТЦК КИО ВС.

4) Этап 4. Выявление несоответствий в окне **«Центр уведомлений»**. Проверка качества 3D-моделей на основании данных, анализа информации в окне **«Центр уведомлений»** в CREO.

5) Этап 5. Проверка качества 3D-моделей на основании данных файла в САПР CREO TRAIL.TXT.

6) Этап 6. **Несоответствия ModelCHECK в САПР CREO.**

Особенно важно устранение несоответствий на этапе 2.

Описание этапа 2.

Устранение несоответствий по «Методике контроля качества 3D-моделей. Верификация 3D-моделей».

Цель методики - устранение несоответствий в 3D- моделях деталей, сборочных единицах (далее - ДСЕ).

Основные типы несоответствий, по мнению авторов, (табл.1. Перечень основных несоответствий на 3D-моделях), согласно методике/алгоритму, на которые конструктор следует обращать внимание и исправлять несоответствия в процессе проектирования/модернизации. Проверка 3D-модели сборки в ракурсе «согласованности актуальных данных».

Согласно данной методике, чтобы иметь качественную, актуальную 3D-модель, актуальной версии и для повышения качества проектирования за счет увеличения числа анализируемых конструкторских решений, конструктору в процессе проектирования/модернизации, в процессе контроля качества 3D-моделей ДСЕ, работой с несоответствиями необходимо устранять, корректировать ошибки на 3D-модели и атрибуты (параметры).

Таблица 1. Перечень основных несоответствий на 3D-моделях

№ п/п	Типы несоответствий
1	Циклические ссылки
2	Зависимые компоненты
3	Несоответствия, вызванные привязками - сбойные компоненты; - отсутствующие компоненты; - незакрепленные компоненты
4	Не регенерируемые компоненты Компоненты, которые не проходят регенерацию или с долгим временем регенерации
5	Устаревшие компоненты: - устаревшая модель; - устаревшие массовые свойства; - устаревшая версия PDM; - устаревшее размещение или конструктивные элементы
6	Подавленные компоненты. Подавленные конструктивные элементы (линии, эскизы, отверстия и прочие);
7	Погрешности привязок. Не корректные привязки
8	Зафиксированные компоненты
9	Частично закрепленные компоненты
10	Скрытые компоненты. Скрытые ДСЕ на слоях
11	Запрещенные. Компоненты, ДСЕ со статусом «Запрещено к применению»
12	Дублирующие компоненты, дублирующие компоненты на скрытых слоях
13	Заполнение атрибутов и параметров (материал, плотность, Таблица гибов для листовых 3D-деталей)
14	Внешние компоненты, внешние связи, внешние зависимости

Составлено авторами

1. Несоответствия «циклические ссылки».

Необходимо выявить и устранить несоответствия «Циклические ссылки» в сборках, узлах верхнего уровня. Если на модели, есть циклические ссылки, то не возможно, осуществлять дальнейшее проектирование. При выполнении команды «Сохранить как...» при наличии «Циклических ссылок» PDM Windchill не допускает создание новых объектов; конструктор для дальнейшей правильной работы, должен откорректировать несоответствия «Циклические ссылки»

2. Несоответствия подавленные, сбойные и др..

Выявить и устранить несоответствия в сборках, которые в дальнейшем влияют на качество конструкции, которые следует корректировать:

- подавленные компоненты и их потомки;
- сбойные компоненты и их потомки;
- неудавшийся элементы и потомки неудавшегося; (неудавшийся элементы (Failed) – по англ.переводу - (неисправный, неисправности, ошибки, неработанные, ошибочные, не удачные, неотработанные; элементы которые не удалось выполнить) и потомки неудавшегося - неработанные дочерние компоненты, ошибочные элементы, неисправные дочерние элементы;)
- замороженные конструктивные элементы и их потомки;
- устаревшие конструктивные элементы и их потомки;
- не регенерируемые компоненты и прочие.

Большое влияние на качество сборки влияют привязки (как правильно собраны компоненты) в сборке. Погрешности привязок:

- элементы привязок не найдены;
- ошибочные привязки (незакрепленные, их разновидность, частично закрепленные, неразмещенные, зафиксированные).

Несоответствия по привязкам следует устранить - перепривязать ДСЕ, сделать регенерацию моделей.

Поиск несоответствий. Для того , что бы найти все выше указанные несоответствия , можно по команде «ПОИСК» CREO , подробно, найти подавленные компоненты, сбойные компоненты, замороженные и их потомки, не генерируемые, устаревшие, неудавшиеся и т.д.)

Несоответствия «сбойных компонентов». На качество сборки влияют сбойные (в «Дереве моделей» выделены красным цветом) конструктивные элементы влияют на качество конструкции. Данный тип несоответствий следует проектировщикам обязательно устранять.

Сбойные конструкторскими элементами, т.е элементы которые не удалось регенерировать в Creo. Сбойные, подавленные конструкторские элементы отображаются в «Дереве модели» в Creo. При наличии сбойных элементов файлы Creo будут больше, чем необходимо. Сбойные

элементы увеличивают время регенерации. Модель потребует более продолжительное время для регенерации, чем следовало бы, вследствие наличия лишних конструктивных элементов.

Работа с отсутствующими и сбойными компонентами.

В «Дереве моделей» в Creo отсутствующие или сбойные компоненты выделены красным цветом в «Дереве модели». Для устранения сбойных элементов, неудавшихся – следует перепривязать элементы, сделать регенерацию модели.

После устранения подавленных, сбойных, незакрепленных компонентов следует контролировать привязки.

3. Несоответствия подавленные элементы. Выявлять подавленные элементы в элементах геометрического построения (в первую очередь массивы и др. в деталях). Проконтролировать привязки в сборках.

4. Несоответствия скрытые элементы. В процессе проектирования и контроля качества 3D-моделей следует выявлять, устранять скрытые элементы. Скрытые, которые, когда-то положили и забыли. Элементы на «скрытых слоях», скрытые элементы в «Дереве моделей» окрашиваются серым (бледным) цветом. Особое внимание обратить на большие сборки (файлы с расширением ASM). Скрытые компоненты следует удалять, согласовывая с ведущим по узлу (машине) конструктором. Исключение составляют скелетные модели, оси, плоскости, системы координат – не удаляются.

Скрытые компоненты приводят к тому, что файлы 3D-модель Creo будут больше, чем необходимо и 3D-модель потребует более продолжительное время для регенерации, чем следовало бы, вследствие наличия лишних конструктивных элементов. Больше элементов в «Дереве моделей» - больше время регенерации.

5. Несоответствия – запрещенные к применению.

Для актуальности 3D-модели и ее версии следует определить, выявить в «Дереве построения» элементы со статусом «Запрещено к применению». В «Дереве моделей должны быть» только актуальные модели. Это касается, моделей: шайбы, гайки, болты (массивы элементов) - крепеж со статусом «Запрещено к применению». Конструктору следует убрать (заменить) на новые (актуальные) в «Дереве моделей» элементы со статусом «Запрещено к применению».

6. Несоответствия «Дублирующие элементы».

Выявить дублирующие элементы в «Дереве моделей» в Creo. Конструктору устранить дублирующие элементы, устранить ДСЕ дублирующие в «Дереве моделей» в Creo, дублирующие ДСЕ на скрытых слоях, которые когда то положили и забыли; По возможности выявить на 3D-моделях старую не актуальную информацию, старые связи, уравнения (англ. relation);

7. Несоответствия в атрибутах.

Выявить не заполненные атрибуты для 3D-моделей:

– выявить в оригинальных деталях (моделях) не корректно заполнение наименования материала, некорректную массу и плотность ДСЕ в узлах верхнего уровня;

– выявить в листовых деталях (моделях) параметры (атрибуты) и «таблицы гига» не корректно заполненные.

Описание этапа 3.

Контроль внешних (англ.- missing) зависимостей и связей (этап 3).

Отдельно стоит остановиться на несоответствиях - внешних зависимостях. Внешние привязки влияют на качество 3D-модели.

Особое внимание требуется уделять в процессе проектирования/модернизации, для устранения несоответствий при работе с внешними зависимостями - их требуется устранять (разрывать). Остановимся подробно на этапе 3.

Устранение несоответствий внешних зависимостей на основании «Инструкция по устранению внешних связей».

Внешние ссылки ухудшают производительность модели при проектировании. Внешние ссылки надо устранять, исправлять.

Внешняя привязка (внешняя зависимость, внешняя связь, внешняя ссылка) создается тогда, когда конструкторский элемент одного компонента в сборке ссылается на конструкторский элемент (сборку) в другом компоненте.

Как правило, внешние ссылки могут стать серьезной проблемой производительности для более крупных сборок. Если деталь содержит внешнюю ссылку на другую деталь за пределами своей сборки, Creo придется загрузить в сеанс обе сборки. Creo должен сделать это, чтобы правильно загрузить и найти правильную ссылку на внешнюю деталь.

Причины возникновения внешних привязок:

- При работе над деталью в режиме сборки.
- Деталь создается в режиме сборки, и создаются привязки эскиза или образмеривания к элементам, принадлежащим другим деталям или элементам сборки.

При исследовании зависимостей в сборке могут быть обнаружены конструкторские элементы, созданные в контексте другой сборки. Т. е. эти внешние зависимости указывают на компонент в другой сборке.

Конструкторский элемент детали переопределяется в режиме сборки, и создаются привязки эскиза или образмеривания к элементам, принадлежащим другим деталям или элементам сборки.

Если у модели есть внешняя привязка, она становится зависимой от другой модели. Это значит, что если изменить размер в модели, от которой зависит другая модель, в следующий раз при извлечении зависимой модели она может измениться неожиданным образом.

Для исключения длительной регенерации необходимо контролировать наличие внешних привязок в сборках и при их наличии разрывать зависимости.

Наличие внешних связей вызывает длительную регенерацию сборок, что приводит к увеличению непроизводительных временных затрат конструктора. Однако по мере того, как количество компонентов в сборке начинает увеличиваться, ее сложность и размер увеличиваются, очень быстро увеличивается и время загрузки.

Основные типы внешних зависимостей, по мнению авторов (табл.2). Типы внешних зависимостей в 3D-моделях.

Таблица 2. Типы внешних зависимостей в 3D-моделях

№ п/п	Несоответствия - внешние зависимости
1	тип «Внешняя привязка»
2	тип «Замененная модель»
3	тип «Объединить»
4	тип «Привязка взаимозамены»
5	тип «Принадлежность»
6	тип «Таблица семейства»
7	тип «Уравнение»
8	тип «Фиктивная привязка»

Составлено авторами

Работа с несоответствиями типа внешние зависимости: необходимо их ликвидация, устранение в 3D-моделях.

Описание этапа 4.

Выявление несоответствий в окне «Центр уведомлений» (этап 4).

Цель - устранение несоответствий в 3D-моделях ДСЕ, которые приводятся в «Центре уведомлений» в САПР CREO.

При регенерации и открытии детали в Creo информация об элементах, для которых регенерация прошла со сбоями, выводится в центре уведомлений. За подробностями о неудавшихся деталях, элементах и объектах можно также обращаться в центр уведомлений.

Проверяющему (конструктору) в первую очередь следует посмотреть список сообщений об ошибках и предупреждениях в Creo в «Центре уведомлений» возникающую при открытии (регенерации) 3D-моделей. «Центр уведомлений» - позволяет быстро просматривать все проблемы или проблемы с высокоуровневой моделью и подмоделями. Существует два типа уведомлений: ошибки (красные) и предупреждения (желтые).

Чтобы показывать уведомления для сборки, щелкните  или  (пиктограмма «Флаг») под графическим окном. В «Центре уведомлений» содержится информация (сообщения) о несоответствиях. При нажатии, «мышкой» просматривается список несоответствий (табл.3). Наиболее часто встречающиеся уведомления (сообщения) при регенерации в «Центре уведомления».

Таблица 3. Наиболее часто встречающиеся уведомления (сообщения) при регенерации в «Центре уведомления»

Наименование уведомления (сообщения)	Назначение
Сбой регенерации (Regeneration Failed) Отсутствующая модель (Missing Model)	уведомления самые важные уведомлениями и не могут быть выключены.
Циклические ссылки (Circular references)	показывать уведомления при наличии циклических ссылок в сборке верхнего уровня.
Устаревшие массовые свойства (Outdated Mass Properties)	уведомления для массовых свойств, пересчитать массовые свойства
Устаревшая модель (Outdated model)	отображать уведомления для моделей, не обновленных в соответствии с последней версией PDM модели.
Устаревшее размещение или констр. элемент (Outdated placement or feature)	отображать уведомления для компонентов, для которых не гарантируется актуальность.

Составлено авторами

Описание этапа 5.

Проверка качества 3D-моделей на основании данных файла в САПР CREO TRAIL.TXT.

Файл «трейла» служит резервным файлом, в который заносятся все шаги по определению объектов в Creo.

Примеры наиболее часто встречающихся несоответствий в 3D-моделях:

- длительная регенерация. Регенерация KPP0000613-01 констр. элемента 4 из 17;
- регенерация UKZ-01-0103000 завершена с нестандартным статусом констр. элемента или компонента. Потомок внешнего неудавшегося: 3;
- предупреждение! Не ясны конструкторские намерения в UKZ-01-0209001-01. Для получения дополнительных сведений используйте

команду "Контроль геометрии" на вкладке "Инструменты" в режиме детали;

- регенерация KZK-810-1-0292000E завершена - подавлено констр. элементов или компонентов: 34;

- регенерация KZR0206437B-01 констр. элемента 9 из 9;

- сбой регенерации конструктивного элемента.

Несоответствия следует корректировать, устранять.

Описание этапа 6. Выявление самим конструктором несоответствий с использованием «Контроль ModelCHECK» в САПР CREO.

Обеспечивает контроль геометрии — это метод, которым Creo информирует о потенциальных проблемах регенерации или геометрии в модели.

Примеры наиболее часто встречающихся несоответствий в 3D-моделях:

- геометрия с перекрытиями;
- малые по размеру кромки;
- слишком малые размеры констр. элементов по сравнению с остальной деталью;
- констр. элемент, имеющий привязку к кромке, которая в модели больше не существует (то есть, она была удалена скруглением);
- скругление с радиусом, который превышает радиус прилегающих поверхностей;
- констр. элемент, который сам себя пересекает;
- констр. элемент, который был начерчен на плоскости чертежа;
- внешние зависимости;
- циклические зависимости и т.д.

Несоответствия следует корректировать.

Выводы. На базе данной методики (алгоритма) выполнялся контроль несоответствий по 3D-моделям ДСЕ зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов.

Применение методик качества, устранение несоответствий в 3D-моделях - коллективная работа, позволяющая ускорить процесс проектирования и получить синергетический эффект, который достигается благодаря развитию цифровых технологий.

Нарабатывается опыт для работы по устранению ошибок для получения актуальных, качественных 3D-моделей, возможность накопления информации для дальнейшего совершенствования синергии в вопросах качества 3D-моделей.

Несоответствия следует исправлять, так как они клонируются с одной 3D-модели на другую. Согласно данной методике выявлялись

несоответствия, которые корректировались, исправлялись конструкторами. От качественной проработки в технологии 3D ДСЕ, корректировки несоответствий - зависит качество изделия в металле.

Качество данных это основное - несоответствия следует постоянно находить, исправлять на все стадиях проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-ресурс: https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/russian
2. СТП 325-683-2017 «Требования к электронной структуре изделия. Описание процессов разработки электронного изделия»
3. ИН 325-2111-2017 «Методика трехмерного проектирования с использованием программных средств Creo, Windchill»
4. Кольцова И.А., Козлов В.И., Грудина Н.В., Поздняков Е.П. «3D-модель, как основной источник данных при организации совместной работы при проектировании, технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации» // 4 международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе сегодня и завтра», Гомель, НТЦК ОАО «Гомсельмаш», 4 ноября 2020г.-Гомель: НТЦК ОАО Гомсельмаш 2020. - С.81-90.
5. Логинов М.П. Развитие ипотечного комплекса России (синергетический подход) // Финансы и кредит.2009.№36(372)

УДК 631.3:001.8

МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В РЕЖИМЕ ON-LINE НА ПРИМЕРЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

М.Р. Курамшин, В.А. Любич, И.В. Герасименко, В.А. Лоскутов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
г. Оренбург, Российская Федерация

Анализ научной литературы и опыта внедрения геоинформационных систем показывает, что ГИС-технологии необходимо внедрять на сельскохозяйственных предприятиях в полном объеме. Есть определенный опыт внедрения отдельных этапов в Германии, Америке, Канаде, Новой Зеландии и др. В Российской Федерации – Агрофизический институт Россельхозакадемии г. Санкт-Петербург, Оренбургский ГАУ, Самарский ГАУ, СНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ЗАО «Евротехника» г. Самара, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, и др [1].

Одним из важных завершающих этапов технологии возделывания культур является уборка урожая, т.к. подводит итоги работы всего года. На уборочных работах необходимо использовать комбайны, позволяющие осуществлять мониторинг работы техники в режиме on-line.

Комбайн оснащается различными датчиками для контроля технических и технологических параметров работы. К датчикам технических параметров относятся датчик расхода топлива и датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя. К датчикам технологических параметров относятся датчики продольных и поперечных отклонений, датчик влажности зерна, датчик объема зерна поступающего в бункер, датчики уровня зерна в бункере, датчики частоты вращения мотопила, молотильного барабана, вентилятора и измельчителя. Вместе с этим бортовой системой комбайна задаются и контролируются зазоры в молотильном аппарате, зазоры на решетках и высота среза стеблестоя. Бортовая система комбайна осуществляет привязку к местности информации от всех вышеперечисленных датчиков с помощью GPS или ГЛОНАСС-антенны. Бортовая информационная система комбайна производит учет убранной площади, собранного урожая, времени смены и передает все данные на центральный сервер с помощью модема, подключенного к сотовой сети (GPRS) [2].

Проанализировав данные можно определить: общее время исполнения заказов комбайном, общее время простоев и конкретно на каждом поле, время, затраченное на выполнение технологического процесса, коэффициент использования времени смены на выполнение технологического процесса (уборка, повороты, развороты, переезды),

среднюю продолжительность простоев, времени работы молотилки комбайна, отдельно можно определить время и место работы измельчителя.

Для определения урожайности зерновых культур необходимо определение их влажности. Компьютер позволяет контролировать влажность культур в любой момент времени и затем, в процессе обработки данных получить карту влажности зерновых культур.

Данная информация позволяет разработать стратегию (маршрутизацию) движения комбайна на конкретном поле для оптимизации работы молотилки (комбайн должен находиться максимальное время при уборке данного поля в горизонтальном положении) и повышения качества урожая.

Применение этой системы позволяет:

- оптимизировать рабочий процесс за счет анализа времени работы;
- оптимизировать настройки путем дистанционного контроля;
- упростить документирование и повысить прозрачность сбора данных;
- сократить время на техническое обслуживание и эксплуатационную безопасность, применяя удаленную диагностику.

Благодаря этой системе возможно получение в любой момент и в любом месте важных сведений о машине. Такие сведения не только включают текущее местонахождение машины, но и дают полное представление о параметрах ее производительности и состояния. Кроме того, существует возможность вызова сервисной информации и первичной диагностики неисправностей. Система автоматически с регулярным интервалом отправляет по сети мобильной связи сохраненные сведения о более чем 200 различных параметрах на веб-сервер. Это дает возможность получать соответствующие сведения по сети Интернет и анализировать их. Канал передачи данных зашифрован и тем самым защищен от несанкционированного доступа третьих лиц. Все показатели работы зерноуборочного комбайна передаются на протяжении всего технологического процесса, что, при необходимости, позволяет корректировать настройки машин в зависимости от условий эксплуатации.

Система мониторинга состоит из следующих компонентов: модуль связи (модем); GPS или ГЛОНАСС-антенна; карта памяти; SIM-карта мобильного телефона. В системе существует возможность получения сведений о работе комбайна: по электронной почте или непосредственно с сайта. По электронной почте ежедневно высылается отчет, содержащий сведения о производительности за предыдущий день и анализ времени работы машины. Второй способ более оперативный, так как предполагает доступ к информации о работе комбайна в режиме реального времени с обновлением данных каждые 10 минут. Благодаря оперативной

информации улучшается эффективность принятия решений по проведению сельскохозяйственных работ.

Функция анализа времени работы предоставляет точные сведения о том, как работает машина. Благодаря оптимизации производственных процессов, технологий уборки урожая и логистики машин существенно повышается общая производительность машин.

С помощью индикатора полосы движения на базе карты местности возможен просмотр полос движения со всеми соответствующими подробностями в протоколе событий.

Наличие такой карты дает возможность улучшить производственное планирование, обнаружить «узкие места» в логистике, улучшить планирование применения транспортных средств отвозящих зерно от комбайна, оптимизировать рабочий процесс комбайна.

Функция дистанционного контроля позволяет непосредственно в интерактивном режиме сравнивать и корректировать настройки и показатели производительности до трех машин.

С помощью экспорта система мониторинга предоставляет данные для непосредственного импорта во все распространенные программные решения по управлению сельскохозяйственными предприятиями.

Мониторинг заданий производится следующим образом: задание, запущенное в бортовом компьютере комбайна, можно отслеживать в интерактивном режиме. После выполнения задания данные заносятся можно экспортировать в интерактивном режиме.

В дополнение к функциям управления заданиями функция составления карт урожайности предоставляет следующие возможности: составление карт урожайности с использованием спутниковых данных; экспорт данных о заданиях и карт урожайности в интерактивном режиме.

Система мониторинга может интерактивно отображать текущие сообщения о неполадках и сигналы тревоги машины. Благодаря целенаправленному анализу сообщений о неполадках можно делать выводы о возможных ошибках управления или объеме предстоящего ремонта. Это позволяет существенно сократить время простоя.

С помощью бесплатных картографических сервисов можно определять местонахождение машин в поле.

Применение системы мониторинга может дать следующие преимущества:

1. Осуществление тщательного анализа технологических процессов, а также улучшение производственного планирования и логистики.
2. Оптимизация времени работы машин в течение смены, суток, сезона.
3. Максимальное использование мощности машин благодаря сравнению показателей производительности и оптимизации настроек.
4. Экономия затрат за счет предотвращения ошибочных настроек.

5. Улучшение управления персоналом (водители, трактористы-машинисты, обслуживающий персонал).
6. Наличие возможности сравнения с другими предприятиями.
7. Непосредственный и простой сбор данных в интерактивном режиме для документирования и быстрых расчетов.
8. Мониторинг и управление заданиями, составление карт урожайности.
9. Планирование и повышение производительности работ по техническому обслуживанию и ремонту.
10. Постоянное отслеживание координат машины.

Таким образом, использование ГИС-технологий и современных технических средств позволяет решать агротехнические, экономические, эксплуатационные, экологические, социальные и управленческие задачи с использованием современных средств связи, новейшего электронного инструментария и программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С.А. Мониторинг техники в режиме on-line в системе точного земледелия / С.А. Соловьев, В.А. Любичич, М.Р. Курамшин // Сельский механизатор. – 2013. – № 10. – С. 10-11. – EDN RSQXIH.
2. Эффективность технологических операций использования техники в точном земледелии / С.А. Соловьев, В.А. Любичич, С.В. Попов, М.Р. Курамшин // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 3-12. – EDN VPKXXR.

УДК 669.15

К ВОПРОСУ РАЗРУШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

И.Н. Степанкин¹, Е.П. Поздняков², А.В. Рабков², С.Ф. Колоцей³

¹Белорусский научно-исследовательский институт нефти республиканского унитарного предприятия «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель, Республика Беларусь;

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

³ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Причинами выхода инструментальной оснастки из строя могут быть различные факторы – технологические, металлургические, эксплуатационные и др. Нередко, еще на стадии изготовления инструмента из высокохромистых сталей происходит их разрушение. Это происходит из-за их сложного гетерогенного структурного строения, состоящего из металлической матрицы и карбидной составляющей. После прокатки исходная заготовка представляет собой сплав с развитой карбидной неоднородностью (строчечностью) и наличием крупных частиц [1], что провоцирует образование локальных напряжений внутри инструмента. Последующая термическая обработка в виде закалки устраняет указанный дефект частично. Снижение недостатка достигается путем проведения 3-5 перековок заготовки перед механической обработкой.

Представленный для исследований образец является один из двух элементов сборного штампового инструмента – фрагмент полуматрицы, изготовленной из высоколегированной инструментальной стали (рис. 1а). Его отличительной особенностью является разрушение детали на две части. Второй образец представляет собой полуматрицу, в теле которой сформирована трещина. Её выход с одной из боковых сторон детали, располагается в зоне конструктивного концентратора напряжений – канавке прямоугольного сечения, изготовленной путем электроэрозионной обработки (рис. 1б).



Рис. 1 – Фрагмент разрушенной полуматрицы (а) и полуматрица с трещиной (б)

Твердость материала детали при измерении на приборе Роквелла составила 58...59HRC. Структура материала в направлении продольной ориентации текстурной строчечности ледебуритной стали представлена на рисунке 2. Карбидная неоднородность в продольном направлении заготовки соответствует 6...7 баллу по шкале №2 [2] (рис. 2а). В поперечном направлении балл карбидной неоднородности по шкале №4 соответствует 4 (рис. 2б). Это свидетельствует о ликвации и отсутствии эффекта гомогенизации карбидной фазы, как правило, достигаемого путем 3-х...5-ти кратного перекова. Морфология карбидной фазы представлена преимущественно крупными частицами неправильной угловатой формы (рис. 3), размер которых достигает 30...35 мкм. Скопления крупных карбидов, а также наблюдаемая текстурность, унаследованная от структуры заготовки после прокатки, формируют анизотропию свойств в поперечном и продольном сечениях, а также локальную концентрацию напряжений 2-го рода в области скопления наиболее крупных карбидов.

Анализ представленных технологических документов показывает, что операцияковки не регламентирована как многократный переков, осуществляемый для сталей ледебуритного класса, к которым относится сталь X12МФ. Как уже указывалось выше, эта операция является видом предварительной обработки заготовки для устранения карбидной неоднородности. Для измельчения карбидов необходимо проводить от 3-х до 5-ти переходов [3].

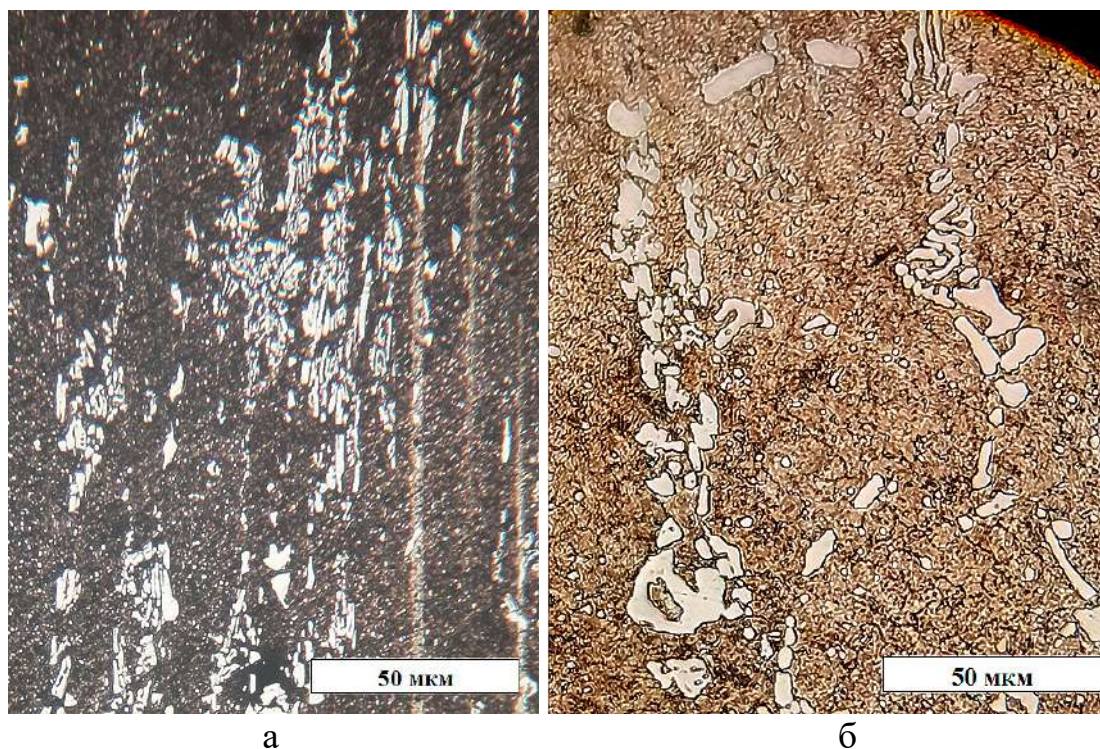


Рис. 2 – Микроструктура образца в продольном (а) и поперечном (б) направлениях

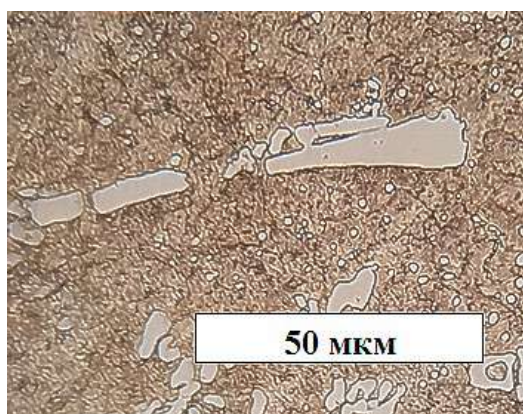


Рис. 3 – Морфология карбидных включений

Изучение поверхности разрушения элементов детали показало признаки наличия шиферного излома с признаками зарождения термических трещин на стадии термомеханической обработки (рис. 4). На изломе отчетливо выделяется темная полоса окислившейся поверхности (указано стрелками). Этот результат может быть следствием:

- высокой скорости осадки;
- несоблюдения температурного режимаковки;
- несоблюдения скорости охлаждения в термостате;
- повышенного содержания серы.

Последний пункт опровергается представленным химическим составом, согласно которому содержание серы не превышает 0,003 масс. %.

При изучении траектории трещины выявлено, что ее продвижение проходило в направлении карбидной строчечности (рис. 5).



Рис. 4 – Поверхность разрушения фрагмента детали «Полуматрица»



Рис. 5 – Траектория трещины

При осадке заготовки круглого сечения форма поковки приобретает бочкообразную форму (рис. 6). Вследствие этого на боковой поверхности заготовки возникают растягивающие напряжения. Последующий отжиг частично снимает напряжения, однако проведение закалки с нагревом до 1020°C в воздушной среде без предварительного подогрева и охлаждение в холодном масле провоцирует формирование высоких внутренних напряжений.

В случае получения паза глубиной 7 мм в процессе электроэрозионной обработки цельность металла нарушается из-за формирования начальной искусственной трещины. При диаметре проволоки $\varnothing 0,25$ мм и зазоре 0,135 мм на сторону образуется искусственный трещинообразный дефект с радиусом кривизны 0,385 мм. Результаты справочных данных [4] свидетельствуют о крайне низкой прочности стали X12M и ее аналогов, при наличии в структуре карбидной неоднородности 5-го и более балла. Для гладких образцов предел прочности составляет порядка 1450 МПа в направлении поперечном карбидным строчкам [3]. При этом технологическая концентрация напряжений от создания трещинообразного дефекта в виде начального реза (рис. 6), сформированного на стартовом этапе эрозионной обработки существенно увеличивает локальную концентрацию напряжений в области радиуса реза

величиной порядка 0,385 мм. Исходя из длины искусственной трещины 7 мм получается, что остаточные напряжения величиной более 340 МПа вызовут зарождение и распространение трещин, морфология которых отражена на рисунках 4 и 5 [5].

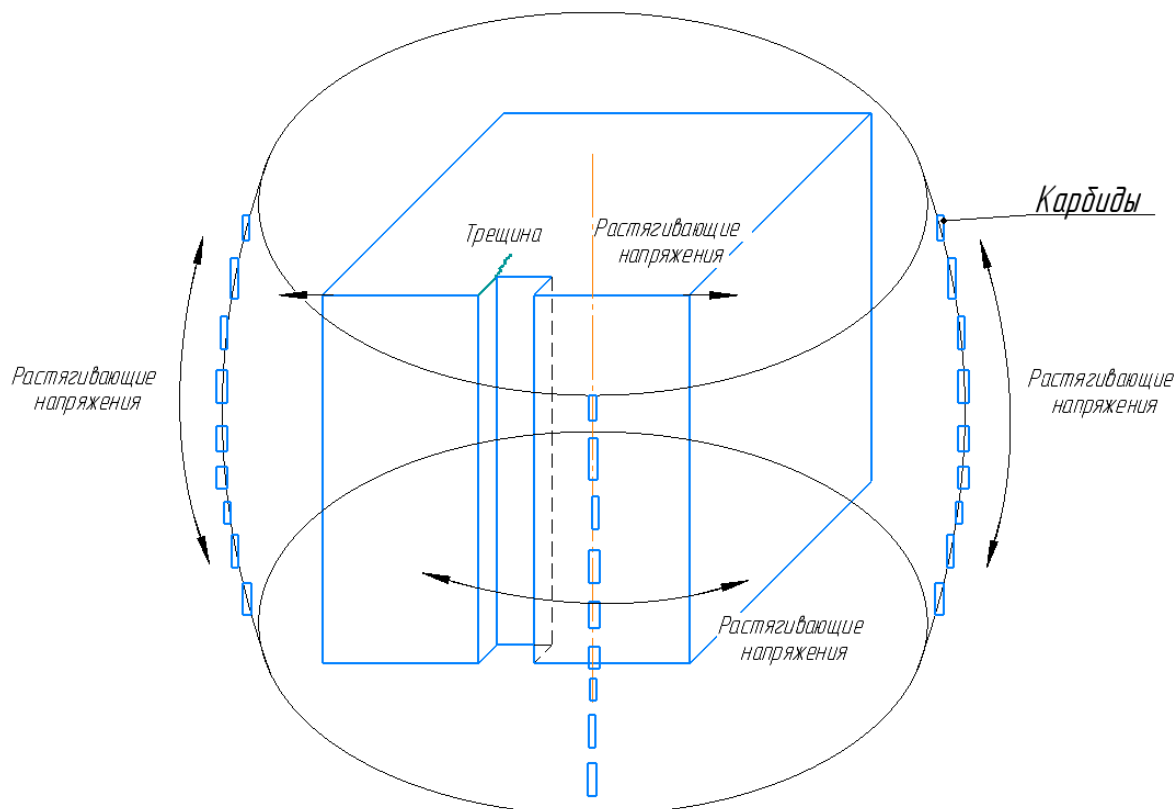


Рис. 6 – Схема возникновения растягивающих напряжений в заготовке

Проведенные исследования причин разрушения детали «Полуматрица» позволяют сделать следующие выводы:

1. В структуре детали карбидная неоднородность имеет высокий балл с ярко выраженной строченой текстурностью карбидной фазы, ее ликвацией и присутствием крупных карбидов размером до 35 мкм. Указанная структура свидетельствует об отсутствии достаточной проработки заготовки на стадии предварительной термомеханической обработки и не соблюдении температурных режимовковки.

2. Окисленная поверхность шиферного излома в области распространения трещин, а также выраженные совпадения линий скольжения с текстурными образованиями карбидной фазы свидетельствует о несоблюдении температурных режимовковки, формировании в материалековки остаточных напряжений растяжения, по причине неоднородного распределения карбидной фазы после нерегламентированной процедурыковки. Все морфологические признаки сплава свидетельствуют о замене 3...5-ти кратного перекова осадкой.

3. Вероятнее всего не соблюдались режимы проведения закалки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали: справочник / Ю.А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
2. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия: ГОСТ 5950-2000. – Введ. РБ 01.01.2003. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2003. – 46 с.
3. Степанкин И.Н. Стойкость холодновысадочной оснастки и методы ее повышения / И.Н. Степанкин, В.М. Кенько. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. – 197 с. : ил.
4. Шейнерма В.М. Стали для штампов олодного деформирования / В.М. Шейнерман. – Рига: Латв. респ. ин-т науч.-техн. информ. и пропаганды, 1969. – 40 с.
5. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твёрдых тел / Т. Екобори. – М.: Металлургия, 1971. – 264 с.

УДК 631.354.2

ПЕРСПЕКТИВЫ АДАПТАЦИИ МОЛОТИЛКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА К РАБОТЕ С ОЧЕСАННЫМ ЗЕРНОВЫМ ВОРОХОМ

В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин
ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»,
г. Брянск, Российская Федерация

Стабильный рост цен на энергоносители актуализирует проблему уменьшения энергоемкости технологических процессов в АПК. В полной мере это касается и уборки зерна. В этой связи перспективной является замена традиционной жатки на очесывающий адаптер, что позволяет не только уменьшить энергоемкость уборочного процесса, но и увеличить производительность техники.

Практическое использование технологии очеса растений на корню сдерживается тем, что молотилка зерноуборочного комбайна не обеспечивает оптимальное воздействие на ворох, поступающий от очесывающего адаптера. Это обусловлено наличием в нем до 80% свободного зерна и отсутствием у необмолоченных колосьев соломин достаточной длины. В результате свободное зерно подвергается дополнительному ударному воздействию, не обусловленному технологической потребностью. Вследствие этого нерационально расходуется порядка 10 кВт мощности и существенно возрастает степень дробления зерна.

Очевидно, что радикально решить проблему позволяет предварительное выделение из очесанного вороха свободного зерна и направление его непосредственно на очистку, минуя молотильный аппарат комбайна. На протяжении ряда лет в Брянском ГАУ ведутся изыскания конструктивных решений, позволяющих решить указанную проблему. На данном этапе прошли успешные испытания экспериментальной наклонной камеры с решетчатым днищем, которое позволило реализовать практически принцип предварительной сепарации свободного зерна [1]. В частности, удалось в пять раз уменьшить степень его дробления.

Указанный конструктивный вариант не является единственно возможным. Перспективным с точки зрения оптимизации процесса и компоновочного решения машины является размещение сепарирующего устройства непосредственно перед молотильным барабаном 9 (рис. 1). В частности, это может быть решетка 5 из продольных прутьев, над которой смонтирован скребковый транспортер 4 [2]. Математическое моделирование процесса сепарации свидетельствует о том, что в связи с горизонтальной ориентацией решетки его эффективность по сравнению с

наклонной камерой должна увеличиться. Однако комбайн в этом случае придется радикально перекомпоновывать. В частности, необходимо существенно укоротить солоотряс (за ненадобностью) и сдвинуть назад молотильный барабан.

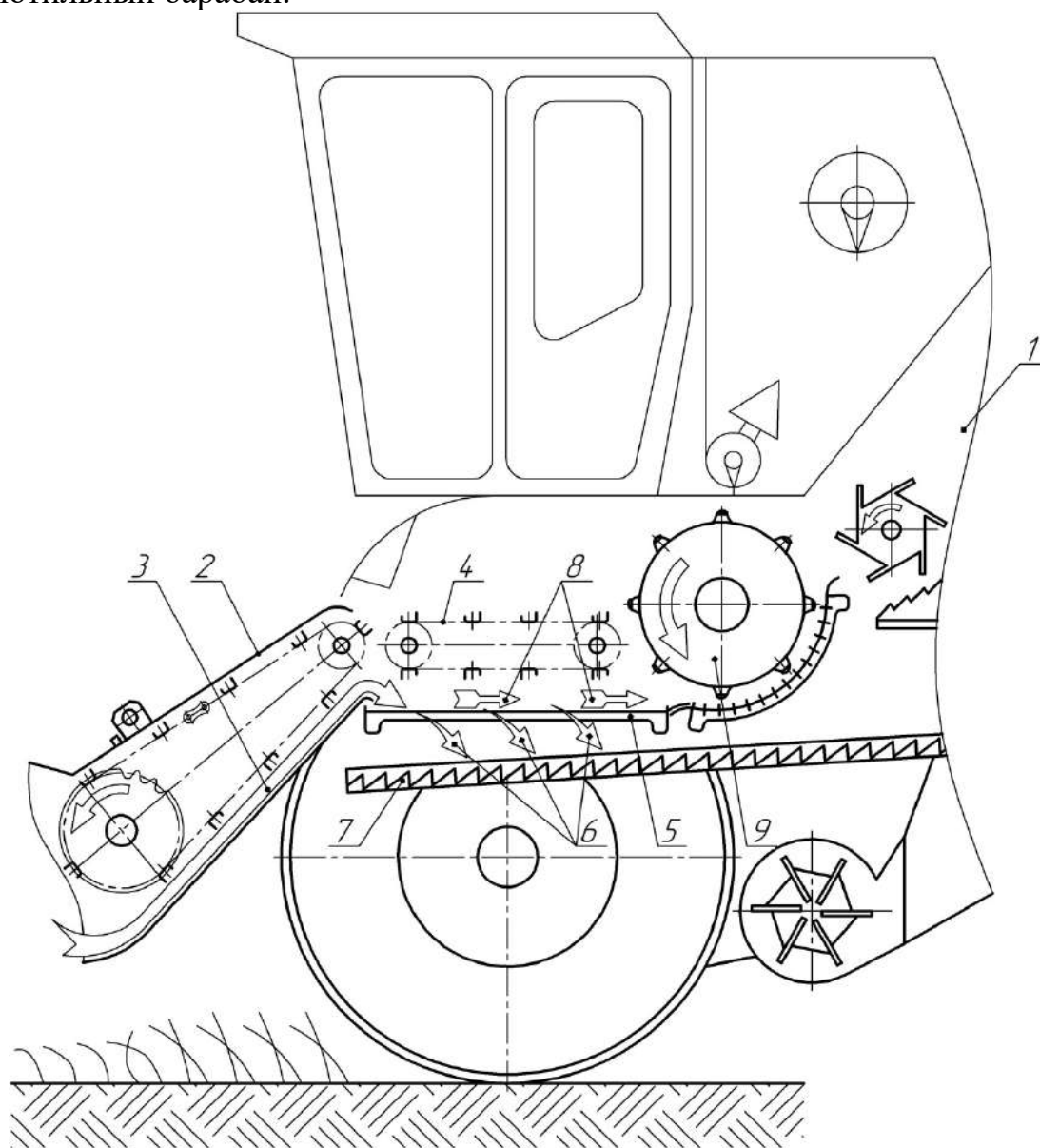


Рис. 1 – Принципиальная схема зерноуборочного комбайна с предбарабанной системой сепарации свободного зерна: 1 – комбайн; 2 – наклонная камера; 3 – очесанный зерновой ворох; 4 – дополнительный скребковый транспортер; 5 – сепарирующая решетка; 6 – свободное зерно; 7 – транспортная доска; 8 – недомолоченные колосья; 9 – молотильный барабан

Понимая проблематичность радикальной перекомпоновки зерноуборочного комбайна, мы пришли к выводу о перспективности промежуточного варианта конструкции, частично реализующего предложенный принцип технологического воздействия на очесанный

зерновой ворох. Это касается комбайнов двухбарабанного типа, снабженных подающим барабаном.

По сути, подающий барабан в исходном варианте конструкции отчасти выполняет функцию обеспечения сепарации свободного зерна. Вопрос заключается в степени эффективности указанного процесса. В результате была сформулирована гипотеза о том, что повышение степени эффективности сепарации возможно в результате предварительного рассредоточения стебельчатой фракции очесанного зернового вороха в поперечном направлении. Это увеличивает «порозность» локальной площадки, то есть увеличивает площадь «живого сечения» промежутков между находящимися на ней стеблями, что способствует ускорению миграции свободных зерен в нижние слои и их беспрепятственному прохождению сквозь отверстия деки.

Реализовать перспективный алгоритм воздействия на очесанный зерновой ворох позволяет конструкция подающего барабана, изображенная на рисунке 2 [3]. Он включает цилиндрическую поверхность 1 на которой размещены правосторонние 2 и левосторонние 3 захватные элементы, являющиеся зеркальным отражением друг друга относительно поперечно-вертикальной плоскости цилиндрической поверхности 1. Каждый захватный элемент выполнен в виде сориентированного радиально (сечение А-А) отрезка уголка, поперечное сечение одной из полок 4 которого сориентировано по образующей цилиндрической поверхности 1. При этом поперечное сечение полки 5 уголка отклонено от поперечно-вертикальной плоскости цилиндрической поверхности 1 на угол α , который меньше угла трения очесанного зернового вороха по материалу соответствующей полки захватывающего элемента.

Таким образом, между поперечными сечениями полок 4 и 5 формируется тупой угол. Захватные элементы 2 и 3 размещены на цилиндрической поверхности по винтовым линиям 6 – 9 многозаходного винта так, что на каждой из них сконцентрированы либо правосторонние 2, либо левосторонние 3 элементы. При этом наклонная полка 5 размещена впереди продольной полки 4 по ходу вращения барабана по стрелке 10 (сечение А-А). Таким образом, в каждом поперечном сечении цилиндрической поверхности 1 должно быть смонтировано поочередно одинаковое количество правосторонних и левосторонних захватывающих элементов (например, два правосторонних захватывающих элемента 2 и два левосторонних элемента 3).

Подающий барабан молотильного устройства зерноуборочного комбайна реализует оптимальный алгоритм воздействия на очесанный зерновой ворох следующим образом. В связи с тем, что угол α между поперечным сечением полки 5 захватывающего элемента меньше угла трения очесанного зернового вороха по ее поверхности, то при вращении барабана по направлению стрелки 10 (рис. 2) наклонная полка 5 сообщает

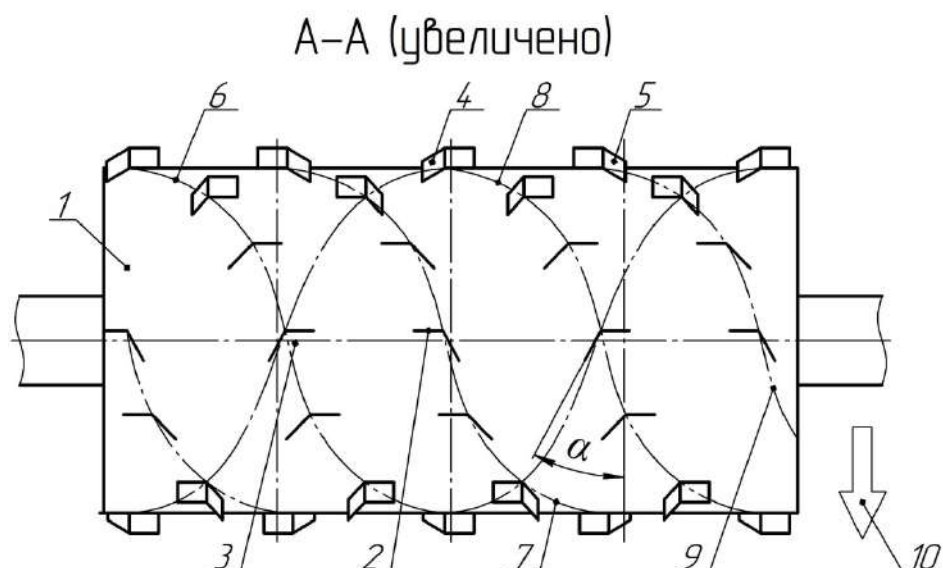


Рис. 2 – Принципиальная схема зерноуборочного комбайна с подающим барабаном молотильного устройства: (обозначения позиций в тексте).

Поскольку в каждой поперечной плоскости правосторонние 2 и левосторонние 3 захватывающие элементы чередуются, то компоненты очесанного зернового вороха подвергаются интенсивным высокочастотным поперечным колебаниям, за счет которых интенсивность сепарации свободного зерна сквозь отверстия деки должна существенно увеличиваться. Кроме того, вследствие взаимодействия с наклонной полкой захватного элемента свободные зерна получают постепенно нарастающий импульс и в сторону направления вращения барабана, что уменьшает жесткость удара по ним полки захватного элемента, сориентированной по образующей цилиндра, а, следовательно, уменьшает вероятность дробления продукции.

Практическая реализация указанного конструктивного решения не требует радикальной перекомпоновки конструкции комбайна, поэтому может быть реализована в самой ближайшей перспективе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Результаты адаптации конструкции комбайна к работе с очесывающей жаткой // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 2. С. 190-206.
2. Пат. № 2756602 (РФ) МПК⁷ A01D 41/00, A01D 41/02. Зерноуборочный комбайн / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, М.В. Ожерельева, П.В. Ожерельев. – Оpubл. 04.10.2021. Бюл. № 28.
3. Пат. № 2749739 (РФ) МПК⁷ A01F 12/22. Подающий барабан молотильного устройства зерноуборочного комбайна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, П.В. Ожерельев. – Оpubл. 16.06.2021. Бюл. № 17.

УДК 631.3.072

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

В.Н. Перевозников¹, А.В. Ленский², А.А. Жешко²

¹ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш»
г. Минск, Республика Беларусь;

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрены основные результаты реализации программного приложения для комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы.

Ключевые слова: комплектование машинно-тракторных агрегатов, приложение, автоматизированная система, интерфейс.

THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF A SOFTWARE APPLICATION FOR COMPLETING MACHINE-TRACTOR UNITS

V.N. Perevoznikov¹, A.V. Lenski², A.A. Zheshko²

¹JSC "Management Company of the holding "Bobruiskagromash"
Minsk, Republic of Belarus;

²RUE "SPC NASof Belarus forAgriculteMechanization"
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The main results of the implementation of a software application for completing machine-tractor units for basic tillage are considered.

Keywords: acquisition of machine-tractor units, application, automated system, interface.

Введение

Рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы предполагает научно-обоснованное сопоставление энергетических средств и сельскохозяйственных машин, а также выбор рациональных рабочих скоростей движения для конкретных производственных условий. Во многом от правильности комплектования машинно-тракторных агрегатов зависит эффективность использования всего машинно-тракторного парка [1].

Реализация рационального комплектования возможна при наличии достоверных данных о тяговом сопротивлении почвообрабатывающих машин, а для удобства и повышения точности комплектования необходимо располагать программным приложением, которое позволяет в интерактивном режиме проводить соответствующий тяговый расчет и выдавать рекомендации с учетом конкретных производственных условий и комплектации машины для основной обработки почвы.

Основная часть

Одним из важнейших критериев, влияющих на рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов, является тяговое сопротивление рабочих органов, которое является одной из отправных точек при выполнении тягового расчета [1].

На величину тягового сопротивления рабочих органов влияет значительное количество факторов, таких как тип почвы, ее влажность и гранулометрический состав, глубина обработки, скорость движения агрегата, засорённость участка камнями, вид предшествующей механической обработки и другие параметры. Для изучения тягового сопротивления различных рабочих органов для основной обработки почвы и их комбинаций нами предложена тензометрическая экспериментальная установка, оснащенная универсальным креплением, что позволяет исследовать тяговое сопротивление рабочих органов и их комбинаций как в лабораторных, так и в полевых условиях (рис. 1 и 2).



Рис. 1–Исследование тягового сопротивления рабочего органа для культивации (стрельчатая лапа на жесткой стойке)



Рис. 2–Исследование тягового сопротивления рабочего органа для культивации (долотообразная лапа на пружинной стойке)

Исследования проводились на различных агротехнических фонах, с варьированием рабочей скорости, глубины обработки, угла атаки и других значимых факторов рабочих органов для основной обработки почвы. Получены результаты по определению тягового сопротивления для культиваторных и чизельных лап, плужных корпусов и дисковых рабочих органов.

По результатам выполненных исследований построены математические модели, которые позволяют определять тяговое сопротивление рабочих органов для основной обработки почвы в зависимости от значимых факторов. Полученные модели интегрированы в приложение AgroAQ и являются основной при выполнении тягового расчета.

Приложение AgroAQ реализовано для платформы Android 6+ и имеет интуитивно-понятный интерфейс для работы с основными и вспомогательными модулями [2]. Реализация приложения представлена в виде скриншотов эмулятора смартфона на рисунках 3 – 4.

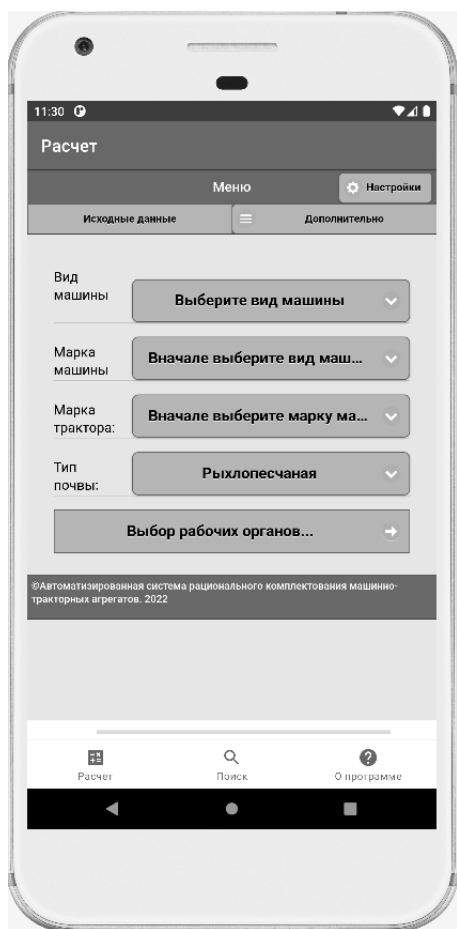


Рис. 3— Эмулятор смартфона с загруженным приложением AgroAQ (исходные данные)

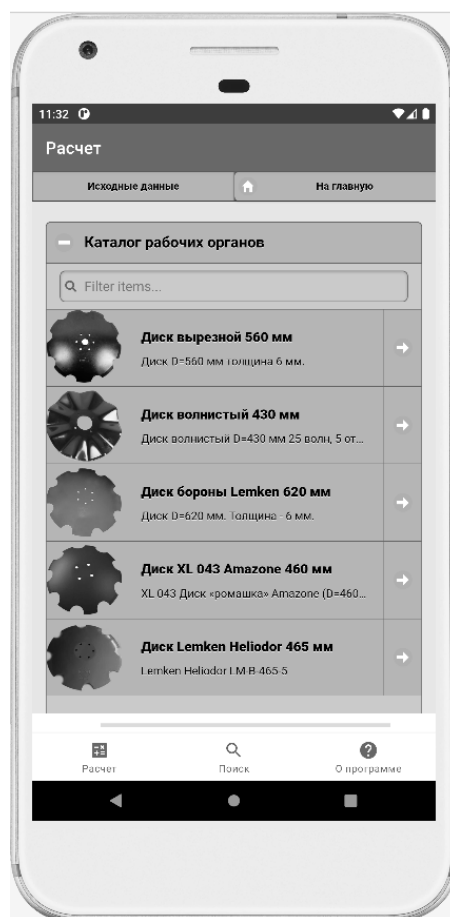


Рис. 4— Эмулятор смартфона с загруженным приложением AgroAQ (каталог рабочих органов)

В верхней части каждого из экранов располагается меню перехода к соответствующим окнам: исходные данные, каталог рабочих органов, каталог сельскохозяйственных машин, каталог тракторов, справочная информация.

В нижней части приложения располагается навигационное меню для перехода к расчетам, поиску техники в сети, к окну информации о приложении.

Исходными данными являются: техническая характеристика энергетического средства; техническая характеристика сельскохозяйственной машины для основной обработки почвы; данные о конкретных производственных условиях, в которых предполагается эксплуатировать скомплектованный агрегат.

На основном фрагменте экрана, загружаемом по умолчанию при запуске приложения AgroAQ, располагается меню выбора исходных данных – вида и марки машины, марки трактора и типа почвы (рис. 4). Информация о конкретных производственных условиях, таких как тип почвы и агротехнический фон, а также другие расчетные параметры хранятся в базах данных системы. Для учета таких параметров в процессе выполнения расчета достаточно выбрать из выпадающего списка «Тип почвы» соответствующее значение.

В нижней части меню располагается кнопка перехода к каталогу рабочих органов (рис. 4). Окно каталога рабочих органов состоит из поля ввода поисковых запросов, кнопок выбора рабочих органов и других элементов.

Поиск необходимой информации в электронном каталоге может осуществляться по различным критериям, например, можно вводить марку, тип, ширину захвата, мощность и другие параметры, при этом поиск будет осуществляться для любого из указанных значений автоматически.

Окно с потенциальной характеристикой содержит график, который отражает основные результаты вычислений рациональности комплектования машинно-тракторного агрегата (рис. 5).

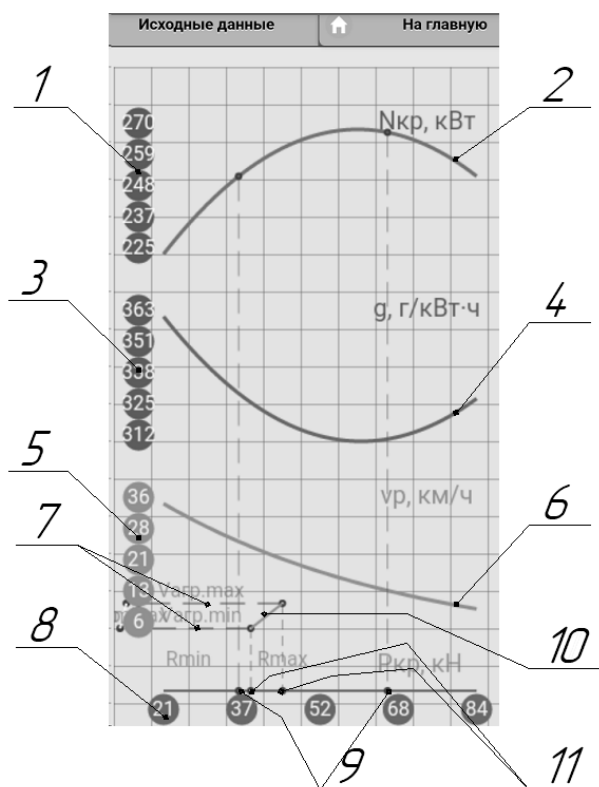


Рис. 5— Потенциальная характеристика и результаты тягового расчета в приложении AgroAQ: 1, 2 – шкала оси и кривая крюковой мощности трактора; 3, 4 – шкала оси и кривая удельного расхода топлива трактора; 5, 6 – шкала оси и кривая скорости движения трактора; 7 – ограничения агротехнически допустимой скорости; 8 – шкала рюкового усилия; 10 – кривая тягового сопротивления; 9 – зона рациональной загрузки трактора; 11 – проекции точек кривой тягового сопротивления

Результатом расчета будут являться графическая интерпретация потенциальной характеристики (рис. 5) и краткая рекомендация по целесообразности комплектования выбранных агрегатов.

В соответствии с рисунком 5, в верхней части окна графической интерпретации потенциальной характеристики построена кривая зависимости крюковой мощности трактора 2 от крюкового усилия, в средней части – кривая зависимости удельного расхода топлива трактора 4, в нижней части – кривая зависимости теоретической скорости движения трактора 6, также в нижней части располагается кривая тягового сопротивления комплектуемой машины. Зона агротехнически допустимых скоростей ограничена минимальным и максимальными значениями скоростей **Vagr.min** и **Vagr.max**. Зона рациональной загрузки трактора находится в диапазоне (0,6...0,95) **Nкр** и ограничена вертикальными пунктирными линиями.

Кривая тягового сопротивления комплектуемой машины ограничена по оси ординат пунктирными прямыми, которые

соответствуют значениям максимальной и минимальной агротехнически допустимой скорости 7, проекции точек пересечения ограничивающих линий с кривой тягового сопротивления соответствуют минимальному R_{min} и максимальному R_{max} значениям тягового сопротивления агрегата.

Таким образом, если кривая тягового сопротивления 10 лежит внутри ограничивающих по мощности вертикальных пунктирных линий, как показано на рисунке 5, то агрегат рационально скомплектован для агрегатирования с выбранным энергетическим средством. Под графиком потенциальной характеристики располагаются информационные блоки с краткими рекомендациями по тяговому расчету и основными результатами тягового расчета.

С целью подтверждения достоверности полученных результатов проведены соответствующие расчеты с использованием приложения AgroAQ. Машины для основной обработки почвы, которые использовались для подтверждения работоспособности системы, подбирались исходя из имеющихся в распоряжении протоколов на машинно-испытательных станциях.

Выполненные расчеты подтвердили корректность работы автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

Заключение

1) по результатам исследований тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов построены математические модели, которые являются основой тягового расчета и интегрированы в программное приложение для комплектования машинно-тракторных агрегатов;

2) согласно расчетам, отклонение между значениями часового расхода топлива при испытании сельскохозяйственной техники со значениями, полученными расчетным путем, составляют менее 10 %, что подтверждает корректность работы автоматизированной системы для рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленский, А.В. Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин / А.В. Ленский, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2022. – Вып. 55. С. 188-198.

2. Ленский А.В., Жешко А.А., Алетдинова А.А. Построение математических моделей для определения тягового сопротивления // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 3. С. 96–106. doi: 10.22450/199996837_2022_3_96.

УДК 658.512.011.56

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Д.И. Бурлаков

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

Расширение использования информационных технологий при проектировании сельскохозяйственных машин и постоянное появление на рынке новых систем автоматизированного систем (САПР) актуализирует задачу их классификации, исходя из условий эксплуатации и требований заказчика. Классификация необходима при использовании методики оценки оптимального варианта системы [1]. Указанная методика используется в двух случаях:

1) Предприятие только создано и нуждается в закупке автоматизированных систем для работы;

2) Предприятие уже существует какое-то время, накопило определенный опыт использования информационных технологий, но существующее положение не устраивает руководство и требуется модернизация, в том числе и закупка нового программного обеспечения.

Основные системы автоматизированного проектирования, получившие наибольшее распространение, как в Беларуси, так и в Российской Федерации, представлены на рисунке 1.

*T-FLEX CAD**Solid Works**NX**Компас**Pro Engineer**AutoCAD***T-FLEX CAD****SIEMENS NX**
Pro|ENGINEER
 W I L D F I R E


Рис. 1 – Основные САПР, используемые в Беларуси и Российской Федерации

В настоящее время при оценке систем автоматизированного проектирования широко используются два вида классификации.

В Российской Федерации принята классификация по ГОСТ 23501.108-85. В мировой практике принята международная классификация по функционалу решаемых задач (CAD; CAM; CAE; CAPP; PDM; PLM).

Рассмотрим классификацию САПР по уровням, принятым по ГОСТ 23501.108-85.

1 уровень классификации – по типу объекта проектирования:

- 1.1 изделия машиностроения;
- 1.2 изделия приборостроения, включая радиоэлектронику;
- 1.3 технологические процессы в машиностроении и приборостроении;
- 1.4 объекты строительства;
- 1.5 технологические объекты в строительстве;
- 1.6 программные изделия;
- 1.7 организационные системы;
- 1.8 прочие.

2 уровень классификации – по разновидности объекта проектирования, определяемой по действующим классификаторам на проектируемые объекты для САПР:

- 2.1 изделия машиностроения и приборостроения – по классификаторам ЕСКД или ОКП;
- 2.2 технологические процессы в машиностроении и приборостроении;
- 2.3 по классификатору технологических операций в машиностроении и приборостроении или по отраслевым классификаторам;
- 2.4 объекты строительства и САПР технологических процессов в строительстве;
- 2.5 по классификаторам, действующим в отрасли строительства;
- 2.6 программные изделия и САПР организационных систем;
- 2.7 по отраслевым классификаторам, а в случае их отсутствия в качестве кода приводят регистрационный номер, присваиваемый в установленном в отрасли порядке.

3 уровень классификации – по сложности объекта проектирования:

- 3.1 САПР простых объектов с числом составных частей до 10^2 ;
- 3.2 САПР объектов средней сложности с числом составных частей от 10^2 до 10^3 ;
- 3.3 САПР сложных объектов с числом составных частей от 10^3 до 10^4 ;
- 3.4 САПР очень сложных объектов с числом составных частей от 10^4 до 10^6 ;
- 3.5 САПР объектов очень высокой сложности с числом составных частей свыше 10^6 .

4 уровень классификации – по уровням автоматизации проектирования:

- 4.1 до 25%;
- 4.2 от 25 до 50%;
- 4.3 свыше 50%.

5 уровень классификации – по комплектности автоматизации проектирования:

- 5.1 одноэтапные;
- 5.2 многоэтапные;
- 5.3 комплексные.

6 уровень классификации – по характеру выпускаемых документов:

- 6.1 на бумажном носителе;
- 6.2 на машинных носителях;
- 6.3 на фотоносителях.
- 6.4 смешанные.

7 уровень классификации – по количеству выпускаемых документов:

7.1 малой производительности, до 10^5 документов в формате А4 в год;

7.2 средней производительности, от 10^5 до 10^6 документов в год;

7.3 высокой производительности, свыше 10^6 документов в год.

8 уровень классификации – по количеству уровней технического обеспечения:

- 8.1 одноуровневая;
- 8.2 двухуровневая;
- 8.3 трёхуровневая.

Рассмотрим наиболее широко используемую международную классификацию САПР применительно к проектированию сельскохозяйственных машин.

CAD (*Computer Aided Design*) – это САПР, включающая совокупность функций, предназначенных для создания 3D-моделей, чертежей, конструкторской и технологической документации, объединённых во взаимосвязанную систему, так называемую CAD-программу (систему).

Современные CAD-программы в системе конструкторско-технологического проектирования включают CAE- и CAM-модули.

Системой CAE (*Computer-aided engineering*) обладают программы, связанные с разнообразными инженерными расчётами, основанные на моделировании и анализе физико-химических, в том числе производственных процессов. Запрограммированные численные методы решения дифференциальных уравнений, метод конечных элементов (объёмов и разностей) помогают исключить трудоёмкий процесс математического расчёта и последующей обработки экспериментальных данных. Запрограммированные базы данных по курсам гидравлики, теплотехники, сопротивления материалов, теоретической механики и т.д. помогают с высокой вероятностью (до 99%) исключить возможность ошибки, например, на этапе изготовления оснастки, путем своевременной корректировки виртуального технологического процесса литья. Несмотря

на высокую стоимость САЕ-программ, получаемые с их помощью результаты позволяют в значительной степени окупить возможные затраты на изготовление пробных моделей и в короткие сроки перейти к серийному выпуску продукции – отливок.

CAM (*Computer-aided manufacturing*) системами называются программы САПР, непосредственно осуществляющие подготовку технологического процесса производства изделий. В литейном производстве это могут быть процессы изготовления оснастки на станках с ЧПУ, а также форм на 3D-принтерах.

PDM (*Product Data Management*) – системы, предназначенные для объединения всей информации об изделии с помощью контролируемого документооборота на всех уровнях технологического процесса производства с учётом электронного согласования и утверждения руководством, управления структурой продукции в соответствии с требованиями в ЕСКД, например, при создании рабочей документации по ГОСТ 2.102-2013 и т.д.

PLM (*Product Lifecycle Management*) – система, позволяющая корректировать жизненный цикл изделия от производства до снятия с эксплуатации.

CADD (*computer-aided design and drafting*) – система, предназначенная для проектирования и создания чертежей.

Описанные классификации систем были использованы в сфере высшего образования. А именно, при выборе САПР ТП для выполнения лабораторных работ в учреждении образования «Гомельский государственный университет имени П.О. Сухого». Построенная на основе классификации методика может использоваться предприятиями и организациями сельскохозяйственного при оценке автоматизированных систем на стадии, предшествующей проведению тендера на их закупку. В этом случае умозаключения, построенные на простых и понятных критериях, не допускающих двойного толкования, одинаково воспринимаются как заказчиками, так и исполнителями, а также допускают реализацию процедуры оценки на базе офисного приложения Microsoft Excel. Указанное обстоятельство обеспечивает простоту создания, адекватность восприятия и легкость модернизации по желанию лица, принимающего решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petukhov A.V. Formalization of the problem of selection of automated system = Формализация задачи выбора автоматизированной системы / A. V. Petukhov // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – №1. – С. 16-20.

УДК 539.4

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПОТОВ КОМБАЙНОВ

С.В. Шилько, Т.В. Дробыш, А.П. Сазанков

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

Введение. В качестве материала кузовных элементов серийно выпускаемой автомобильной и с/х техники до недавнего времени использовалась исключительно сталь. Намети́лась тенденция их изготовления из полимерных материалов и композитов, получаемых армированием полимерной основы волокнами стекла или углерода, что позволяет снизить вес, вибрации и шум, улучшить технологичность и эстетические показатели машин. Так, капоты комбайнов производства John Deere (США), ООО «КЗ «Ростсельмаш» (Россия) и ОАО «Гомсельмаш» (Беларусь) изготавливаются из сополимеров акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС-пластиков), а также их сплавов с полиметиметакрилатом (ПММА).

Для выполнения проектировочных расчетов, обеспечения качества и долговечности указанных изделий необходимы экспериментальные данные, характеризующие прочностные свойства используемых полимерных материалов. Однако литературные источники предоставляют довольно широкий диапазон изменения характеристик такого рода из-за значительной вариабельности структуры и свойств полимеров, а также особенностей технологии переработки конкретным поставщиком [1,2]. Таким образом, важно определить реальные механические характеристики материалов и изделий методами механических испытаний с выработкой соответствующих конструкторско-технологических рекомендаций.

В связи с тем, что транспортировка и эксплуатация комбайнов осуществляется в условиях циклических нагрузок, ударных и температурных воздействий, практический интерес представляет определение ударной вязкости применяемых АБС-пластиков при различных, в т.ч. отрицательных температурах. Кроме того, конструкционные полимерные материалы, в отличие от металлов и металлических сплавов, в той или иной степени демонстрируют анизотропию механических свойств, что предполагает определение ударной вязкости на образцах, вырезанных, как минимум, в двух ортогональных направлениях.

Цель работы: определение ударной вязкости конструкционных АБС-пластиков, применяемых для изготовления капотов комбайнов, при

различной температуре.

Используемые методы и материалы.

Базовыми являлись механические испытания на ударную вязкость по Шарпи [3] на маятниковой копре с максимальной работой разрушения) 1,5 кгс м. Исследовались АБС – и АБС/ПММА – пластики производства Senosan (Австрия), а также применяемые в конструкции комбайна John Deere (США). Стандартные образцы в виде призматических брусков длиной 80 мм изготавливались из листовых заготовок.

Результаты исследования и их обсуждение.

В табл. 1-4 приведены значения ударной вязкости исследуемых материалов в 2-х ортогональных направлениях при 3-х значениях температуры. Используются следующие обозначения: b , h – ширина и толщина образца соответственно; A – работа, совершаемая при разрушении образца; A_f – работа разрушения с учетом потерь на трение в опорах копра; A_J – работа разрушения [Дж]; a – ударная вязкость.

Таблица 1. Результаты испытаний АБС-пластиков при температуре 20 °С

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	b, мм	h, мм	A, кгс м	A _f , кгс м	A _J , Дж	a, кДж/м ²
1.	Senosan	АБС	прод.	1	9,96	5,87	0,625	0,621	6,092	104,20
				2	10,26	5,86	0,593	0,589	5,778	96,10
				3	10,02	5,83	0,64	0,636	6,239	106,80
				4	10,1	5,86	0,78	0,776	7,613	128,62
				среднее	—	—	—	—	—	108,93
				кв.откл.	—	—	—	—	—	13,89
2.		АБС	попер.	1	10,17	5,82	0,448	0,444	4,356	73,59
				2	10,27	5,84	0,34	0,336	3,296	54,96
				3	9,95	5,85	0,54	0,536	5,258	90,33
				4	9,95	5,83	0,3	0,296	2,904	50,06
				среднее	—	—	—	—	—	67,23
				кв.откл.	—	—	—	—	—	18,44
3.	АБС/ ПММА	прод.	1	9,83	3,82	0,185	0,175	1,717	45,72	
			2	9,77	3,83	0,2	0,19	1,864	49,81	
			3	9,71	3,81	0,182	0,172	1,687	45,61	
			среднее	—	—	—	—	—	47,05	
			кв.откл.	—	—	—	—	—	2,40	
4.		АБС/ ПММА	попер.	1	9,85	3,81	0,165	0,155	1,521	40,52
				2	10,11	3,83	0,154	0,144	1,413	36,48
				3	9,97	3,83	0,162	0,152	1,491	39,05
				среднее	—	—	—	—	—	38,68
				кв.откл.	—	—	—	—	—	2,04
5.	John Dere	АБС	прод.	1	9,59	3,95	0,224	0,214	2,099	55,42
				2	9,85	3,88	0,285	0,275	2,698	70,59
				3	9,56	4	0,323	0,313	3,071	80,30
				4	10,08	3,65	0,272	0,262	2,570	69,86
				среднее	—	—	—	—	—	69,04
				кв.откл.	—	—	—	—	—	10,25
6		АБС	попер.	1	9,77	4,1	0,205	0,195	1,913	47,76
				2	9,75	4,16	0,205	0,195	1,913	47,16

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	b, мм	h, мм	A, кгс м	A _г , кгс м	A _л , Дж	a, кДж/м ²
				3	9,69	4,15	0,265	0,255	2,502	62,21
				4	10,04	3,8	0,235	0,225	2,207	57,85
				среднее	—	—	—	—	—	53,74
				кв.откл.	—	—	—	—	—	7,48
7		АБС/ ПММА	прод.	1	9,95	3,39	0,187	0,177	1,736	51,48
				2	10,05	3,39	0,158	0,148	1,452	42,62
				3	10	3,38	0,159	0,149	1,462	43,25
				среднее	—	—	—	—	—	45,78
кв.откл.			—	—	—	—	—	4,94		
8			попер.	1	9,86	3,32	0,092	0,082	0,804	24,57
				2	10,04	3,34	0,117	0,107	1,050	31,30
				3	10,11	3,32	0,146	0,136	1,334	39,75
	среднее			—	—	—	—	—	31,87	
кв.откл.	—		—	—	—	—	7,60			

Таблица 2. Результаты испытаний АБС–пластиков при температуре -20 °С

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	b, мм	h, мм	A, кгс м	A _г , кгс м	A _л , Дж	a, кДж/м ²
6.	Senosan	АБС	прод.	1	9,90	5,88	0,420	0,416	4,079	70,07
				2	9,22	5,90	0,420	0,416	4,079	74,98
				3	10,10	5,85	0,535	0,530	5,196	87,94
				4	9,90	5,85	0,480	0,475	4,662	80,49
				среднее	—	—	—	—	—	78,37
				кв.откл.	—	—	—	—	—	7,67
7.			попер.	1	10,0	5,95	0,310	0,307	3,011	50,60
				2	9,70	5,90	0,385	0,381	3,739	65,33
				3	10,26	5,87	0,250	0,248	2,428	40,31
				4	10,30	6,0	0,230	0,228	2,234	36,14
				среднее	—	—	—	—	—	48,10
				кв.откл.	—	—	—	—	—	13,00
8.		АБС/ ПММА	прод.	1	9,70	3,90	0,114	0,113	1,107	29,27
				2	9,80	3,98	0,095	0,094	0,923	23,65
				3	9,56	3,85	0,165	0,163	1,602	43,54
				4	9,67	3,93	0,127	0,126	1,233	32,46
				среднее	—	—	—	—	—	32,23
				кв.откл.	—	—	—	—	—	8,37
9.			попер.	1	10,20	4,03	0,076	0,075	0,738	17,96
				2	10,24	3,89	0,063	0,062	0,612	15,36
				3	10,14	3,84	0,080	0,079	0,777	19,95
				4	10,05	3,83	0,089	0,088	0,864	22,46
				среднее	—	—	—	—	—	18,93
				кв.откл.	—	—	—	—	—	3,01
10.	John Dere	АБС	прод.	1	9,74	3,84	0,131	0,130	1,272	34,02
				2	10,28	3,66	0,178	0,176	1,729	45,95
				3	9,78	3,86	0,176	0,174	1,709	45,28
				среднее	—	—	—	—	—	41,75
				кв.откл.	—	—	—	—	—	6,70
11.			попер.	1	9,79	4,15	0,115	0,114	1,117	27,49
				2	10,04	4,20	0,154	0,152	1,496	35,47
				3	10,08	4,14	0,212	0,210	2,059	49,34

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	<i>b</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>A</i> , кгс м	<i>A</i> _г , кгс м	<i>A</i> _л , Дж	<i>a</i> , кДж/м ²
12.		АБС/ ПММА		4	10,10	3,71	0,112	0,111	1,088	29,03
				среднее	—	—	—	—	—	35,33
				кв.откл.	—	—	—	—	—	9,96
			прод.	1	10,04	3,35	0,088	0,087	0,855	25,41
				2	9,97	3,35	0,094	0,093	0,913	27,33
				3	9,90	3,35	0,074	0,073	0,719	21,67
				4	10,0	3,35	0,085	0,084	0,826	24,64
				среднее	—	—	—	—	—	24,76
				кв.откл.	—	—	—	—	—	2,35
13.		попер.	1	10,16	3,34	0,077	0,076	0,748	22,04	
			2	9,31	3,37	0,078	0,077	0,758	24,14	
			3	10,10	3,31	0,079	0,078	0,767	22,95	
			4	8,70	3,38	0,083	0,082	0,806	27,41	
			среднее	—	—	—	—	—	24,14	
			кв.откл.	—	—	—	—	—	2,35	

Таблица 3. Результаты испытаний АБС – пластиков при температуре -30 °С

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	<i>b</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>A</i> , кгс м	<i>A</i> _г , кгс м	<i>A</i> _л , Дж	<i>a</i> , кДж/м ²
1.	Senosan	АБС	прод.	1	9,13	5,84	0,335	0,332	3,253	61,02
				2	9,60	5,76	0,400	0,396	3,885	70,25
				3	9,22	5,82	0,425	0,421	4,128	76,92
				среднее	—	—	—	—	—	69,4
				кв.откл.	—	—	—	—	—	7,98
2.			попер.	1	9,76	5,77	0,275	0,272	2,671	47,43
				2	9,78	5,68	0,205	0,203	1,991	35,84
				3	9,70	5,77	0,215	0,213	2,088	37,31
				среднее	—	—	—	—	—	40,19
				кв.откл.	—	—	—	—	—	6,31
3.		АБС/ ПММА	прод.	1	9,61	3,82	0,082	0,081	0,796	21,69
				2	9,48	3,81	0,075	0,074	0,728	20,17
				3	9,71	3,83	0,091	0,090	0,884	23,76
				среднее	—	—	—	—	—	21,87
				кв.откл.	—	—	—	—	—	1,81
4.			попер.	1	9,40	3,83	0,068	0,067	0,660	18,34
				2	9,66	3,86	0,056	0,055	0,544	14,59
				3	10,07	3,86	0,072	0,071	0,699	17,99
				среднее	—	—	—	—	—	16,97
				кв.откл.	—	—	—	—	—	2,07
5.	John Dere	АБС	прод.	1	10,02	3,62	0,181	0,179	1,758	48,46
				2	10,19	3,88	0,165	0,163	1,602	40,53
				3	10,18	3,86	0,140	0,139	1,360	34,60
				среднее	—	—	—	—	—	41,20
				кв.откл.	—	—	—	—	—	6,95
6.			попер.	1	10,25	4,20	0,151	0,149	1,466	34,06
				2	10,06	3,92	0,148	0,147	1,437	36,45
				3	10,08	4,12	0,146	0,145	1,418	34,14
				4	10,04	3,91	0,146	0,145	1,418	36,12
				среднее	—	—	—	—	—	35,19
				кв.откл.	—	—	—	—	—	1,27

№ п/п	Про- изв.	Мате- риал	Направ- ление	№ образца	<i>b</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>A</i> , кгс м	<i>A</i> _Г , кгс м	<i>A</i> _Г , Дж	<i>a</i> , кДж/м ²
7.		АБС/ ПММА	прод.	1	9,87	3,16	0,060	0,059	0,583	18,68
				2	10,00	3,41	0,038	0,038	0,369	10,82
				3	10,15	3,39	0,060	0,059	0,583	16,94
				4	10,14	3,40	0,070	0,069	0,680	19,72
				среднее	—	—	—	—	—	16,54
				кв.откл.	—	—	—	—	—	3,98
8.			попер.	1	9,98	3,35	0,076	0,075	0,738	22,08
				2	10,12	3,34	0,068	0,067	0,660	19,54
				3	10,02	3,31	0,062	0,061	0,602	18,16
				4	10,09	3,33	0,067	0,066	0,651	19,37
				среднее	—	—	—	—	—	19,78
				кв.откл.	—	—	—	—	—	1,65

Таблица 4. Средние значения $\bar{a}$, кДж/м² и среднеквадратичные отклонения $s_{\bar{a}}$, кДж/м² ударной вязкости АБС – пластиков 2-х производителей в двух направлениях при пониженной температуре и в нормальных условиях

№ п/п	Произв.	Материал	Направ- ление		-30 °С	-20 °С	20 °С
1.	Senosan	АБС	прод.	$\bar{a}$	69,40	78,37	108,93
$s_{\bar{a}}$				7,98	7,67	13,89	
2.			попер.	$\bar{a}$	40,19	48,10	67,23
				$s_{\bar{a}}$	6,31	13,00	18,44
3.		АБС/ ПММА	прод.	$\bar{a}$	21,87	32,23	47,05
				$s_{\bar{a}}$	1,81	8,37	2,40
4.			попер.	$\bar{a}$	16,97	18,93	38,68
				$s_{\bar{a}}$	2,07	3,01	2,04
5.	John Deere	АБС	прод.	$\bar{a}$	41,20	41,75	69,04
$s_{\bar{a}}$				6,95	6,70	10,25	
6.			попер.	$\bar{a}$	35,19	35,33	53,74
				$s_{\bar{a}}$	1,27	9,96	7,48
7.		АБС/ ПММА	прод.	$\bar{a}$	16,54	24,76	45,78
				$s_{\bar{a}}$	3,98	2,35	4,94
8.			попер.	$\bar{a}$	19,78	24,14	31,87
				$s_{\bar{a}}$	1,65	2,35	7,60

Из табл. 4 видно, что разброс значений ударной вязкости отдельно взятого материала в основном не превышает 20%, за исключением результатов испытания Senosan АБС-пластика и АБС/ПММА-пластика производства John Deere в поперечном направлении при температуре 20 °С, АБС-пластика в поперечном направлении и АБС/ПММА-пластика в продольном направлении производства Senosan при температуре -20 °С, АБС-пластика производства John Deere в поперечном направлении.

Среди испытанных материалов максимальную ударную вязкость $\bar{a}$ при всех температурах (-30 °С, -20 °С и 20 °С) имеет АБС-пластик Senosan в продольном направлении. Несколько меньшими значениями $\bar{a}$ при температуре 20 °С характеризуется АБС-пластик производства John

Deere в продольном направлении и Senosan АБС-пластик в поперечном направлении.

Снижение температуры приводит к существенному уменьшению ударной вязкости, однако степень этого снижения для материалов разных производителей неодинакова, что, очевидно, объясняется особенностями синтеза и режима переработки в изделия.

Заключение.

Проведенные исследования выявили существенное изменение ударной вязкости АБС и АБС/ПММА-пластиков в зависимости от производителя (поставщика) материалов, температуры и направления вырезки образцов. Это показывает необходимость тщательного входного контроля механических свойств пластиков при проектировании капотов комбайнов применительно к условиям их транспортировки и эксплуатации. В связи с установленным влиянием вышеуказанных факторов, а также зависимостью ударной вязкости и усталостной прочности от воздействия окружающей среды, представляет интерес прогнозирование пределов выносливости и трещиностойкости АБС-пластиков после ожидаемого эксплуатационного периода. Это возможно путем проведения ускоренных климатических и усталостных испытаний, в том числе по методикам, разработанным в ИММС НАН Беларуси [4].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лабиринт, 1994. – 367 с.
- 2 Каменев Е.И., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс. Справочник. Л., Химия, 1985. – 448 с.
- 3 ГОСТ 4647-2015 Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи.
- 4 Шилько С.В., Черноус Д.А., Сазанков А.П. Методика определения усталостной прочности полимерных материалов для капотов комбайнов // Иннов. технол. в агропром. комплексе – сегодня и завтра: Сб. тез. докл. 5-й междунар. н/п конф. – Гомель: НТЦ комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2021. – С. 43.

УДК 621.647

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Д.Л. Стасенко, В.Ю. Процко

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

Введение. Растворы углерода, бора, кремния и других металлоидов в железе всегда были в центре внимания металлургии. Сплавы системы ТМ-М (металл-металлоид) обладают уникальными механическими, коррозионностойкими свойствами и находят применение в технике. Структура расплавов, характеризуется ближним порядком расположения атомов. Отсутствие в них дальнего порядка в расположении атомов и дефектов, свойственных кристаллическому состоянию, ведет к росту предела прочности сплавов, приближающегося к теоретическому значению $E/50$, где E – модуль Юнга. Для кристаллических сплавов эта величина составляет $\sigma_{\text{в}} = E/10^5 - E/10^2$ [1].

Абсолютное значение предела прочности для сплавов на основе железа, никеля, хрома, как правило, находятся в пределах $(2-3,5) \cdot 10^8$ Па [2]. Наряду с высокой прочностью такие сплавы обладают высокой твердостью, которая достигает величины $\approx \text{HV}1000$ и более. Для таких материалов отношение $\text{HV}/\sigma_{\text{в}}$ составляет 2,5-3, что близко к теоретической величине равной 2,9 для идеально пластичных тел.

Цель работы: определение перспективных высокопрочных, износостойких и коррозионностойких сплавов на железной основе для газопламенного напыления.

Основная часть. Важным фактором, влияющим на прочностные характеристики сплавов, является их химический состав. В сплавах с одинаковыми основными металлическими элементами, прочностные свойства изменяются в зависимости от сорта и количества атомов металлоидов. Следует заметить, что основная роль в формировании механических свойств принадлежит основному компоненту сплава. Кроме того, твердость сплавов также возрастает по мере увеличения разности номеров групп и номеров периода основного металлического компонента и других элементов сплава в периодической системе [1-3].

Особенности структуры сплава, зависящей от его легирования, оказывают решающее влияние на их устойчивость при нагреве. В сплавах системы ТМ-М подгруппы железа усиление межатомной связи железа и легирующего металла, а также металлоида с легирующим металлом ведут к росту устойчивости этих сплавов. Металлы подгруппы железа имеют почти одинаковые размеры атомов и отличаются числом электронов, а

также величиной энергии взаимодействия с металлоидами. Поэтому правильный выбор легирующих компонентов может создать кинетически выгодные условия для изменения типа кристаллизации и физико-механических свойств сплавов. Для выбора перспективных высокопрочных и коррозионностойких сплавов было оценено влияние металлоидов на основные механические характеристики, термическую и коррозионную стойкость сплавов (табл. 1) [2].

Таблица 1. Влияние металлоидов на свойства сплавов на основе железа

Параметр	Металлоидные элементы, влияние которых предпочтительнее	Сочетание металлоидов и порядок убывания механических свойств
Прочность	Бор	$B \rightarrow C \rightarrow Si \rightarrow P$
Твердость	Бор	$B \rightarrow C \rightarrow Si \rightarrow P$
Термическая стабильность	Кремний	$Si \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow C$
Коррозионная стойкость	Фосфор	$P \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow Si$
Сопротивление скручиванию	Кремний	$Si \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow P$

Бор является наиболее эффективной легирующей добавкой в сплавах на основе железа. В сравнении с Si, P, C его влияние на прочностные свойства в литом состоянии наиболее высокое. Оптимальная концентрация бора в сплавах системы Fe-B-Si составляет 3,7-4,5 (% масс.). Углерод по влиянию на механические свойства уступает только бору. При дополнительном введении углерода в сплавы системы Fe-B-Si прочность возрастает. Оптимальная концентрация углерода в таких сплавах составляет 0,5-1,2 (% масс.).

Заметное повышение механических свойств наблюдается в комплексных сплавах на основе железа, бора и углерода при легировании хромом, марганцем, никелем и ванадием. Последний выступает как эффективный микролегирующий компонент, усиливающий эффект измельчения и инвертирования структуры, существенно упрочняющий матрицу. Он обеспечивает однородность структуры, повышение коррозионной стойкости и упруго-пластических свойств.

Анализ литературных данных [1-3] и патентные исследования по основам создания высокопрочных аморфных сплавов позволяет рекомендовать использование в опытных условиях следующие сплавы на основе железа: $Fe_{94,9}B_{3,6}Si_{0,5}C_{1,0}$, $Fe_{73,9}Cr_{4,5}Ni_{1,8}Al_{0,3}Cu_{5,5}B_{4,5}Si_{7,6}V_{0,9}C_{1,0}$, $Fe_{94}B_{4,5}Si_{1,5}$, $Fe_{87}Cr_{4,5}B_{3,8}Si_{1,5}V_{2,1}C_{1,1}$, $Fe_{70,48}Cr_{8,88}Co_{2,42}Ni_{6,68}Mo_{6,42}B_{4,8}Si_{0,32}$ (%масс.), $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ (% ат.), а также ряд высокопрочных [2] (табл. 2) и коррозионностойких [2, 3] (табл. 3) сплавов на основе железа. Сравнительные данные механических и технологических испытаний последних представлены в таблицах 4, 5.

Таблица 2. Высокопрочные сплавы на основе железа

Сплав	Содержание компонентов в сплаве, % масс.											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ca	P	B	PЗМ	Al	Mg	Fe
1	1,0	13	0,7	0,5	1,6	0,05	-	-	0,08	-	0,05	ост.
2	0,03	2,1	0,7	0,05	0,02	0,002	0,06	0,30	-	0,05	0,01	ост.
3	1,1	5,7	1,6	0,2	0,85	0,03	0,1	2,5	-	3,1	0,03	ост.
4	1,2	7,5	2,9	1,0	2,5	0,06	0,2	3,1	-	6	0,05	ост.

Таблица 3. Коррозионностойкие сплавы на основе железа

Сплав	Содержание компонентов в сплаве, % масс.								
	C	Si	Mn	Cu	V	Al	Cr	B	Ni
1	0,7	15	0,7	5,3	0,2	0,2	-	-	-
2	0,7	5,4	0,35	0,4	0,3	0,2	2,7	2	0,7
3	1	7,6	0,6	5,5	0,9	0,3	4,5	4,5	1,8
4	1,2	9,3	0,8	7,1	1,8	0,8	6,3	5,4	2,1

Таблица 4. Свойства высокопрочных сплавов на основе железа

Наименование показателей	Номер сплава			
	1	2	3	4
Длительная прочность, МПа:				
при 350 °С	235	261	321	355
при 450 °С	182	235	305	340
Термическая стойкость циклов	300	460	670	512
Относительная износостойкость, %	118	126	132	140
Относительное удлинение, %	7,5	11,4	16,2	15
Ударная вязкость, Дж/см ²	8,5	16,6	24,1	18,2

Таблица 5. Механические свойства коррозионностойких сплавов на основе железа

Наименование показателей	Номер сплава			
	1	2	3	4
Предел прочности при растяжении, МПа	210	465	430	280
Относительное удлинение, %	6,2	28	20	9,4
Ударная вязкость, Дж/см ²	7,7	36	24,8	9,4
Твердость HV	280	305	330	420
Коррозионностойкость, мм/г	0,39	0,02	0,09	0,16

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее перспективными из рассмотренных для газопламенного напыления высокопрочных сплавов на железной основе являются сплавы 3 и 4 и коррозионностойких сплавов на железной основе являются сплавы 3 и 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы; справ, изд. / А.П. Шлямнев [и др]. - М.: «Проммет-сплав», 2008. – 336 с.
2. Братухин А.Г. Высокопрочные коррозионностойкие стали современной авиации / Науч.ред. А.Г. Братухин. - М.: Издательство МАИ, 2006. – 656 с.
3. Шлямнев А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справ, изд. / А. П. Шлямнев. и др. - М.: "Интермет Инжиниринг", 2000. - 232 с.
4. Гиршов В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие/ В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко; СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. - 385 с.

УДК 621.43

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МУФТЫ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА

А.Н. Петрученко

ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД», г. Минск, Республика Беларусь

Эксплуатация дизелей в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала и нагрузок создает сложности в организации высокоэффективного рабочего процесса. Современные системы управления позволяют получить требуемое изменение внешней скоростной характеристики (ВСХ), обеспечивая при этом минимальный «сырой» выброс вредных соединений с отработавшими газами [1]. На современном этапе применение таких систем встречает ряд препятствий: отсутствуют в необходимом количестве компоненты таких систем; неразвита инфраструктура и недостаточно специалистов способных эффективно эксплуатировать и обслуживать дизели с данными системами управления [2].

Частично решает проблему эффективной эксплуатации дизелей в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала применение автоматической муфты угла опережения впрыска топлива (АМОВТ). При увеличении частоты вращения коленчатого вала (n) сокращается время, отводимое на испарение топлива, смесеобразование и протекание предпламенных реакций. На скорость осуществления этих процессов величина n оказывает незначительное влияние. Для обеспечения высокой эффективности использования теплоты, образующейся при сгорании дизельного топлива, требуется начало подачи топлива согласовывать с n , что с достаточной точностью обеспечивается АМОВТ.

Выбор конструкции и параметров АМОВТ начинается с установления диапазона изменения угла опережения впрыска топлива (Θ), в пределах которого обеспечиваются высокие топливно-экономические, мощностные или экологические показатели. Требуемую информацию дает обработка регулировочных характеристик, полученных при различных n . Такие характеристики можно получить экспериментально или расчетным путем, применяя математические модели, учитывающие законы тепловыделения [3].

Следующим этапом является выбор конструктивной схемы АМОВТ. Известно, достаточно большое количество кинематических схем АМОВТ, которые при правильном выборе конструктивных параметров обеспечивают требуемый характер изменения величины Θ в зависимости от n . При выборе конструктивной схемы необходимо учитывать, что

муфты, имеющие высокую технологичность, не всегда обеспечивают линейный характер изменения Θ .

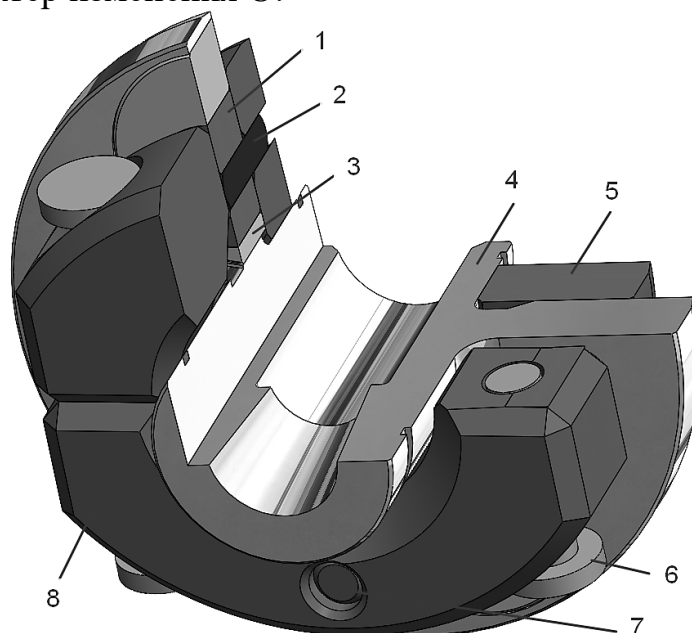


Рис. 1 – Конструкция АМОВТ: 1 – дополнительный эксцентрик; 2 – палец ведущей полумуфты; 3 – регулировочный эксцентрик; 4 – ведомая полумуфта; 5 – ведущая полумуфта; 6 – палец; груз; 7 – палец регулировочного эксцентрика; 8 - груз.

Для определения конструктивных параметров муфты, обеспечивающих требуемый характер изменения Θ строятся кинематическая схема АМОВТ и математическая модель. Выбор габаритов и массы грузов осуществляется с учетом компоновки муфты на дизеле. Связь между Θ и угловой скоростью муфты (ω) устанавливается с помощью условия статического равновесия в АМОВТ, которое для установившегося режима работы дизеля имеет вид:

$$m_T \cdot R_T \cdot \omega^2 = 2 \cdot C_n \cdot (\Delta l_{\text{пр}} + \Delta y),$$

где m_T – масса груза; R_T – расстояния от центра массы груза до оси вращения; C_n – жесткость пружины; $\Delta l_{\text{пр}}$ – предварительная деформация пружины; Δy – деформация пружины, вызванная перемещением груза.

Основные геометрические параметры конструктивных элементов муфты определяются с помощью математической модели, в которой перемещение центра масс с помощью уравнений геометрических связей однозначно задает поворот ведомой муфты относительно ведущей.

Следующий этап – уточнение жесткости пружин. Это необходимо в случае нелинейной связи Θ и ω . В данном случае есть два подхода: применение нелинейной пружины или выбор конструктивных параметров муфты, обеспечивающих заведомо больший угол ее поворота с

последующим применением пружин, жесткость которых при выходе на номинальный режим работы дизеля допускает требуемое изменение Θ .

Предложенный алгоритм использован для поиска конструктивных параметров муфты, с ее последующей установкой на дизель 4Ч8,7×9, работающий в диапазоне частот вращения 1000...3000 мин⁻¹. Согласно регулировочным характеристикам требуемое изменение величины Θ составляет 13 градусов поворота коленчатого вала, что соответствует повороту кулачкового вала (ПКВ) топливного насоса высокого давления (ТНВД) на 6,5 град.

В соответствии с полученными данными была изготовлена АМОВТ и установлена на ТНВД дизеля 4Ч8,7×9. Результаты моделирования и испытаний на безмоторном стенде, имеют хорошую сходимость, что позволяет использовать полученную математическую модель АМОВТ при выборе ее конструктивных параметров, жесткости и предварительного сжатия пружин.

Для поворота кулачкового вала ТНВД на угол 6,5 градусов ПКВ при $n=3000$ мин⁻¹ жесткость пружины должна составлять 6,84 Н/мм. Предварительное сжатие пружин принято равным 0,7 мм, что для выбранной жесткости пружин обеспечивает начало срабатывания муфты, соответствующее минимально устойчивой частоте вращения коленчатого вала дизеля. Применение предложенной АМОВТ на дизеле 4Ч8,7×9 улучшило показатели его работы. При работе дизеля по ВСХ выбросов оксидов азота снижаются на 5,5...26,2%.

Заключение. Для дизеля 4Ч8,7×9 определен диапазон изменения Θ при его работе по ВСХ, обеспечивающий улучшение его эффективных и экологических показателей. Выбраны конструктивные параметры муфты, обеспечивающие требуемый характер изменения УОВТ. Применение такой муфты улучшает показатели работы дизеля в сравнении с его работой без муфты, выбросы вредных веществ при этом не превышают нормы, устанавливаемые Правилами ООН №96-02.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашко, В.А. Перспективы развития интеллектуальных поршневых ДВС / В.А. Лашко // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2014. – Т.5. – №1. – С. 260-287.
2. Сургутский, К.Н., Титла, И.М. Проблемы компьютерной диагностики современных автомобильных двигателей / К.Н. Сургутский, И.М. Титла // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2019. – №1 <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-kompyuternoy-diagnosticski-sovremennyh-avtomobilnyh-dvigatelye/viewer>
3. Кухарёнок, Г. М. Рабочий процесс двигателей при работе на альтернативных топливах / Г. М. Кухарёнок, А. Н. Петрученко, Д. Г. Гершань. – Минск : БНТУ, 2017 – 299 с.

УДК 621.43

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДЯНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЕЙ Д-260

А.В. Предко, Д.Г. Лисица

ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД», г. Минск, Республика Беларусь

Шестицилиндровые дизельные двигатели семейства Д-260 являются самыми мощными, из выпускаемых в настоящее время Минским моторным заводом (ММЗ). Повышенная мощность ведет к росту теплонагруженности основных деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов [1, 2]. От стабильности теплового состояния деталей двигателя зависят его мощностные, топливно-экономические и экологические показатели, его надежность и долговечность [2, 3]. Задача поддержания температуры охлаждающей жидкости в приемлемом диапазоне $t_{ож}=85...95\text{ }^{\circ}\text{C}$ является актуальной. На ММЗ проводятся работы по совершенствованию элементов системы охлаждения.

Проверка и подтверждение эффективности предлагаемых конструкторских решений натурным экспериментом требует значительных материальных и временных затрат, что часто является неприемлемым. Для решения этого вопроса в мировой практике повсеместно применяется компьютерное моделирование в САЕ-пакетах [4, 5]. На ММЗ стремятся соответствовать этой тенденции.

В данной работе рассматриваются подходы и результаты моделирования потоков охлаждающей жидкости в водяном насосе 260-1307117 с литой и штампованной крыльчатками.

Объект исследования: водяной насос 260-1307117, применяемый в составе дизеля Д-260, его 3D модели с литой (260-1307132) и штампованной (260-1307137) крыльчатками. Общий вид водяного насоса и исследуемых крыльчаток показан на рисунке 1.

Цель исследований: построить расчетные напорные характеристики, определить зависимости мощности на крыльчатке и гидравлического КПД водяного насоса с литой и штампованной крыльчатками. Провести анализ полученных характеристик. Дать рекомендации по применению крыльчаток.

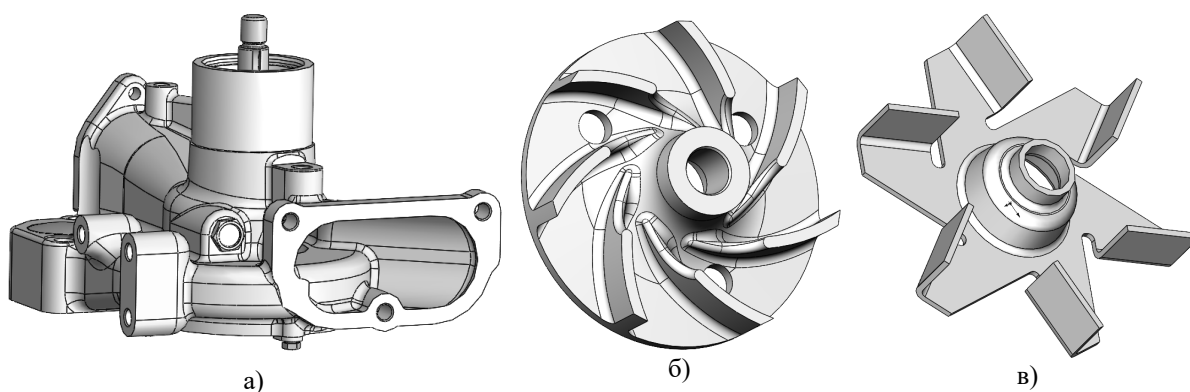


Рис. 1 – Объекты исследований: а) общий вид 3D модели водяного насоса 260-1307117; крыльчатки водяного насоса б) литая, в) штампованная

Расчетная сетка.

При моделировании выделено два участка расчетной сетки:

- глобальная, включающая проточную часть неподвижных частей насоса начальный уровень дробления 3;
- локальная, включающая область вращения, уровень дробления ячеек в текучей среде 4;
- число расчетных ячеек более 180000.

Картина расположения сетки показана на рисунке 2.

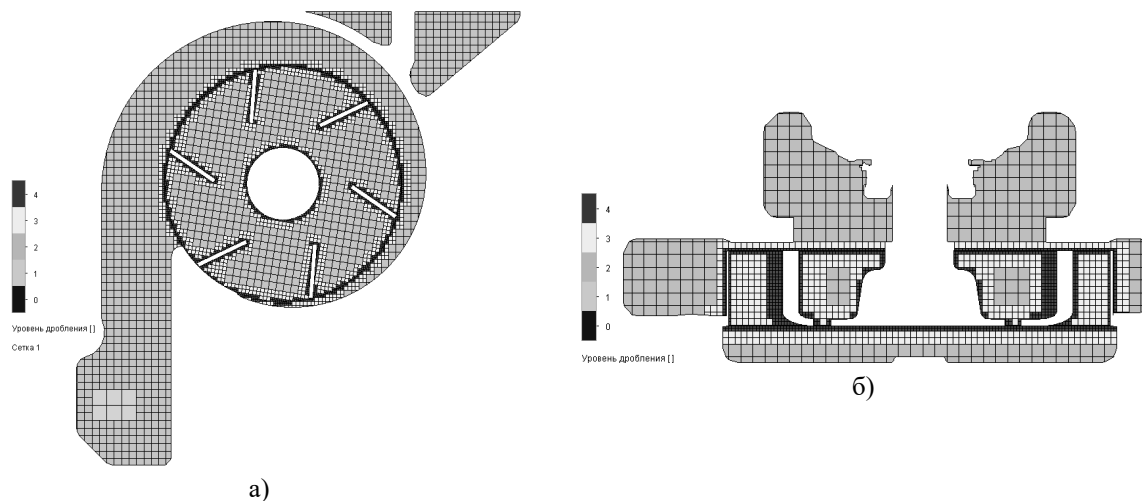


Рис. 2 – Картины расположения расчетной сетки: а) в горизонтальной плоскости; б) в вертикальной

Начальные и граничные условия

Начальные и граничные условия моделирования максимально приближены к условиям испытания водяных насосов на испытательном стенде [6, 7].

Рабочая среда – вода, опция кавитации отключена.

Область вращения – цилиндрической формы, основанием которого является описанная окружность по крайним точкам лопаток, высота ограничивается высотой лопаток крыльчатки. Угловая скорость $\omega=274,4$ рад./с, что соответствует частоте вращения $n=2620$ мин⁻¹.

Условия вращения – локальная область (Sliding).

Задача нестационарная, временной шаг – автоматический.

Время окончания расчета 0,32 с, что составляет приблизительно 13 полных оборотов крыльчатки.

Граничные условия (рис. 3):

вход – статическое давление 100 кПа, температура 90°C;

выход – статическое давление 100 кПа, 110 кПа...220 кПа, температура 90°C.

Начальное состояние среды – давление 100 кПа, температура 90°C.

Условия на стенках – адиабатические стенки, шероховатость 50 мкм.

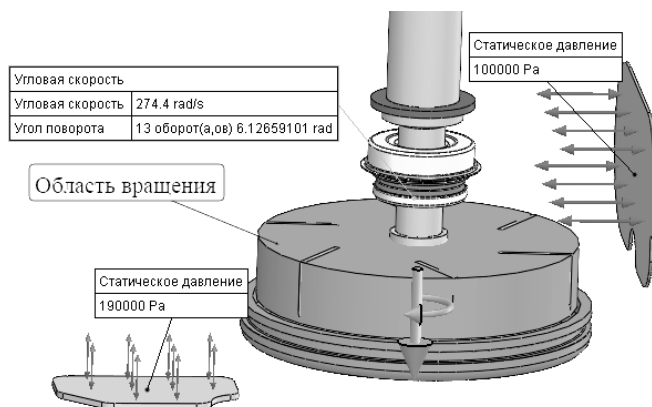


Рис. 3 – Граничные условия моделирования

Результаты исследований.

Проведено моделирование потоков жидкости (воды) в центробежном насосе, укомплектованном литой и штампованной крыльчатками, методом конечных объемов в расчетной среде FloEFD. Выходными данными моделирования являлись:

- напор, развиваемый насосом (м вод. ст.);
- перепад статического давления между выходным и входным отверстиями (кПа);
- массовый расход жидкости через входное и выходное отверстия (кг/с);
- объемный расход жидкости через входное и выходное отверстия (м³/ч);
- момент сопротивления на крыльчатке (Н·м).

Дополнительно по результатам моделирования определялись:

- мощность на крыльчатке определялась зависимостью

$$N_r = \frac{n \cdot M_k}{9550},$$

где n – частота вращения крыльчатки, $n=2620 \text{ мин}^{-1}$;

M_k – момент на крыльчатке;

- гидравлический КПД насоса

$$\eta_r = \frac{\Delta P \cdot Q}{N_r},$$

где ΔP – перепад давления в насосе (напор), Па;

Q – объемный расход жидкости в насосе (подача), $\text{м}^3/\text{с}$.

По результатам моделирования построены характеристики насосов (рис. 4).

Согласно техническим условиям на водяные насосы дизелей семейства Д-260 [8] номинальная объемная подача насоса 260-1307117 должна составлять не менее $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ при номинальном напоре 9 м ($\Delta P=88 \text{ кПа}$). Результаты моделирования удовлетворительно согласуются с техническими условиями и могут применяться для сравнительного анализа.

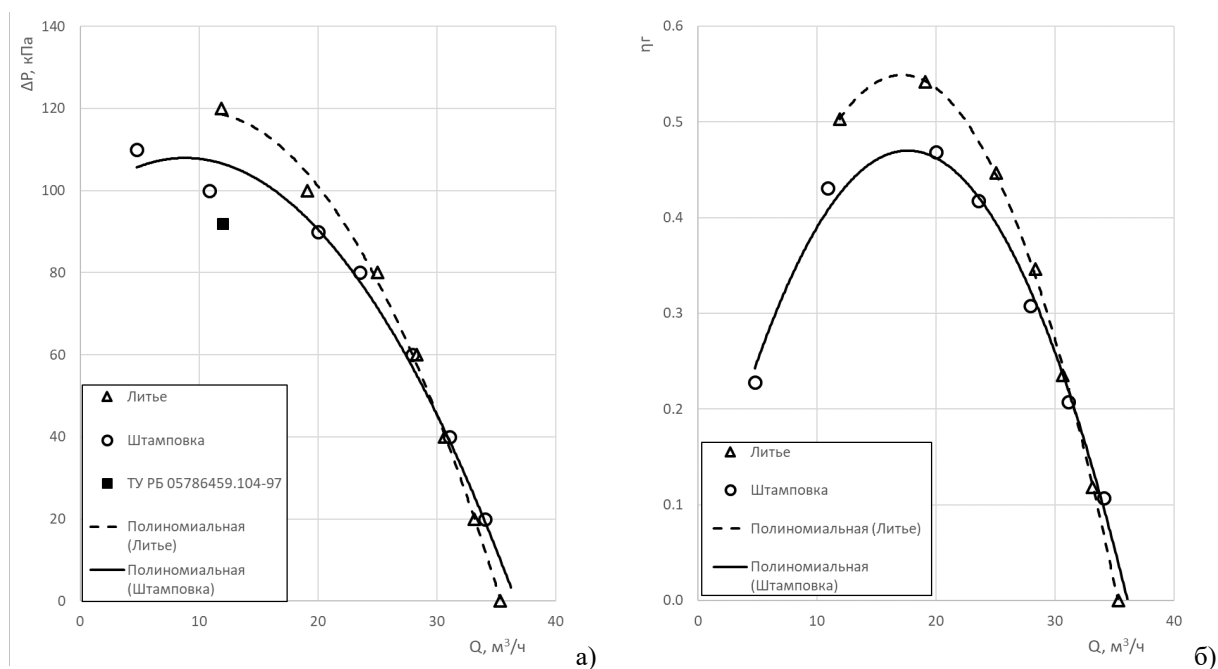


Рис. 4 – Результаты моделирования: а) напорные характеристики водяного насоса; б) гидравлический КПД

Сравнительный анализ расчетных характеристик водяных насосов, укомплектованных литой и штампованной крыльчатками, показал, что на холостом ходу ($\Delta P=0$) насос со штампованной крыльчаткой имеет большую производительность на 2,8 % по сравнению с насосом с литой крыльчаткой. По мере увеличения напора насос со штампованной

крыльчаткой теряет свои преимущества и на контрольной точке $\Delta P=88$ кПа уступает в производительности насосу с литой крыльчаткой около 15 %.

Максимальный гидравлический КПД насоса укомплектованного литой крыльчаткой составляет 55%, что на 14,5 % больше максимального гидравлического КПД насоса со штампованной крыльчаткой.

Худшие характеристики насоса со штампованной крыльчаткой объясняются конструктивными особенностями последней, меньшим число рабочих лопаток, 6 у штампованной крыльчатки против 7 у литой; отсутствием сплошного диска основания колеса, что способствует росту потерь, связанных с паразитным перетеканием жидкости с рабочего колеса в зазор между колесом и корпусом, ведущим к росту мощности затрачиваемой на привод и снижению расхода жидкости. Указанные выше недостатки штампованного колеса объясняются его конструкционными и технологическими особенностями и прямое устранение их невозможно.

Выводы.

Предложенная методика виртуальных испытаний центробежных водяных насосов пригодна для проведения сравнительных испытаний. Ее использование может привести к уменьшению временных и материальных затрат при проектировании и внедрении новых, и совершенствовании существующих водяных насосов системы охлаждения.

Сравнительные испытания водяного насоса со штампованной и литой крыльчатками показали значительные преимущества последней при работе в системах охлаждения с гидравлическим сопротивлением 60 и более кПа.

Учитывая конструктивную простоту и сравнительно низкую стоимость штампованной крыльчатки, можно рекомендовать ее использование в насосах, устанавливаемых на двигатели с низким гидравлическим сопротивлением системы охлаждения и проведение конструкторских работ по уменьшению зазоров между рабочим колесом и корпусными деталями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструирование и расчет поршневых двигателей: учебник для вузов/ Н.Д. Чайнов, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 536 с.
2. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие/ А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 222 с.
3. Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines/ P.A. Lakshminarayanan, Avinash Kumar Agarwal – Springer, 2019. – 930 p.
4. Алямовский А.А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология. М.: ДМКПресс, 2020. – 658 с.

5. CFD Simulation of Centrifugal Pump Impeller Using ANSYS-CFX / Raghavendra S Muttalli, Shweta Agrawal, Harshla Warudkar // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. DOI: 10.15680/IJIRSET.2014.0308066.

6. ГОСТ 6134-2007 (ИСО 9906:1999) Межгосударственный стандарт. Насосы динамические. Методы испытаний.

7. ГОСТ Р 53839-2010 Национальный стандарт Российской Федерации. Двигатели автомобильные. Насосы жидкостные систем охлаждения. Технические требования и методы испытаний.

8. ТУ РБ 05786459.104-97 Насосы системы охлаждения дизелей Д260.1, Д-262, Д263 и их модификаций.

УДК 641.436

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

Д.А. Телюк, А.В. Предко, М.С. Буко

ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ
ЗАВОД», г. Минск, Республика Беларусь

В испытательном центре ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД» в 2021 г. была выполнена реконструкция испытательного бокса и смонтирован стенд с системой автоматизированного управления для испытаний двигателей мощностью до 240 кВт. Стенд предназначен для проведения исследовательских, периодических, инспекционных и сертификационных испытаний дизельных двигателей, работающих на дизельном и альтернативных видах топлива, соответствующих экологическим нормам Евро-4, Евро-5, Евро-6, Stage 3B, Stage 4, Stage 5, Tier 4f и устанавливаемых на автомобилях, тракторах, дорожно-коммунальной и внедорожной технике, энергоустановках.

Главной задачей стенда является определение экологических и показателей двигателей по стандартизованным циклам WNTC, WHSC, WHTC, NRTC, NRSC, ELR, ETC, ESC и другим (всего 24 цикла) в автоматическом режиме работы.

Стенд оборудован контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими проведение измерений в соответствии с ГОСТ 14846-81, Правилами ООН № 24-03, Правилами ООН № 49-06, Правилами ООН №96-05, федеральными правилами US EPA 40 CFR 1039.

Испытываемый двигатель устанавливается на фундаментную плиту посредством регулируемых стоек с демпфирующими элементами и соединяется карданным валом (с гасителем крутильных колебаний) через фланец для измерения крутящего момента (± 3 кН·м) с электрическим тормозом (рис. 1).

Электрический тормоз DYNOFORCE ASM 2000/1.9-4.5 переменного тока также установлен на фундаментной плите и служит для торможения (загрузки) и привода (прокручивания) двигателя в условиях контролируемого значения крутящего момента и частоты вращения, включая работу в динамических режимах. В режиме торможения максимальный крутящий момент составляет 2000 Н·м при частоте вращения от 0 до 1910 мин⁻¹, максимальная мощность 400 кВт при частоте вращения 3870 мин⁻¹. Силовой шкаф системы электропитания и управления электрическим тормозом построен на технологии IGBT-транзисторов и подключается к цеховой электросети через фильтр электромагнитных помех. Для измерения частоты вращения двигателя на

неприводной стороне электрического тормоза установлен инкрементный датчик частоты вращения ROD 426-2048.

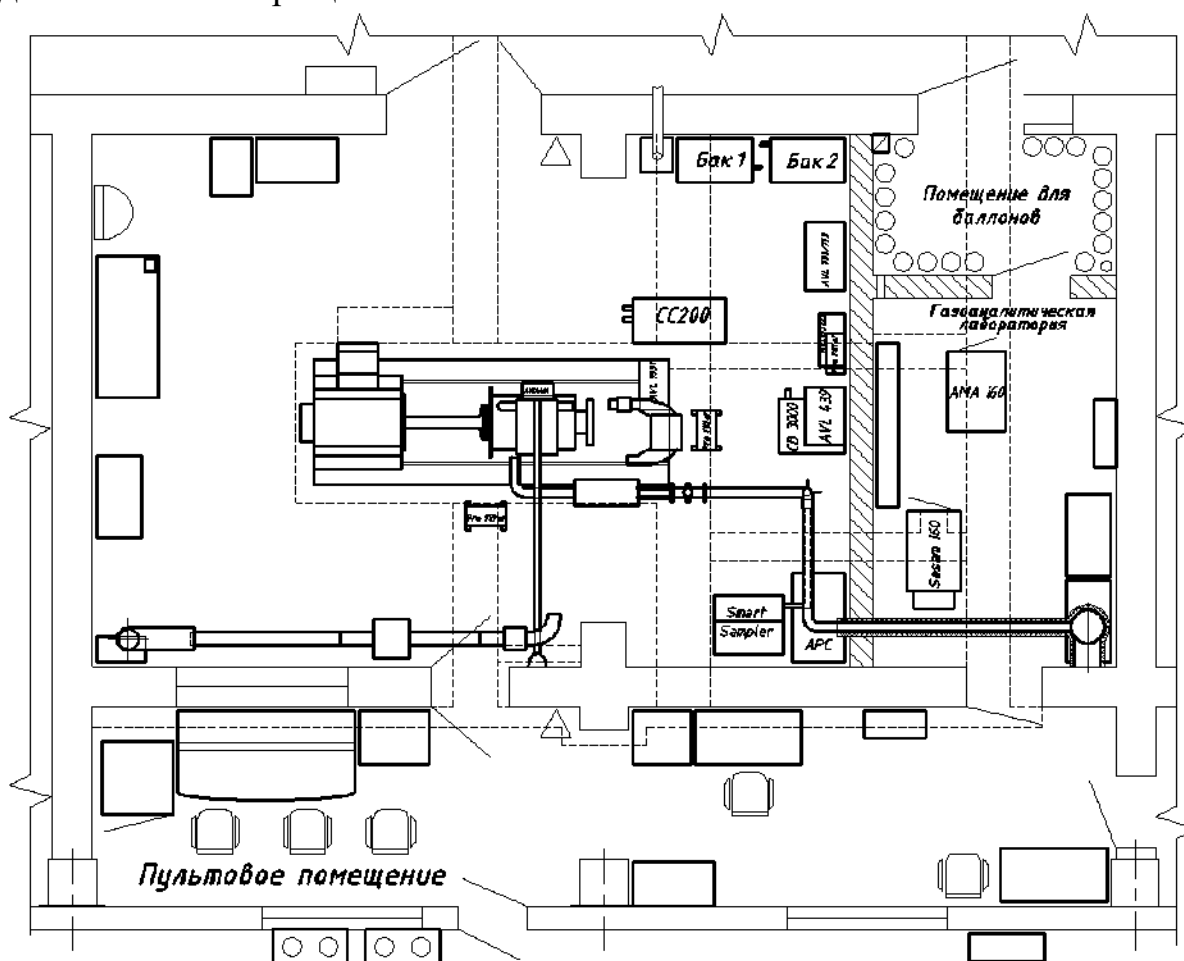


Рис. 1 – Планировка помещения бокса

Стендом измеряются следующие основные показатели испытываемого двигателя: крутящий момент, частота вращения коленчатого вала и ротора турбокомпрессора, расход топлива и воздуха, давления (масла, картерных газов, воздуха на впуске, наддувочного воздуха, отработавших газов, топлива, барометрическое окружающей среды), температуры (охлаждающей жидкости, масла, топлива, воздуха, отработавших газов), относительная влажность и температура окружающего воздуха.

К соответствующим точкам испытываемого двигателя и его систем через штуцеры и бонки могут подключаться:

- а) 16 датчиков давления с различными диапазонами измерения посредством гибких тефлоновых шлангов с быстроразъемными муфтами;
- б) 12 датчиков температуры типа PT100 (термосопротивления, до 300°C) и 5 типа Ni-Cr-Ni (термопары К-типа, до 1000°C).

В состав стенда входят следующие расходомеры (принцип действия, диапазон измерений):

- а) картерных газов AVL 442S (диафрагменный, 6...300 л/мин);
- б) топлива AVL 7351 CME (на эффекте Кориолиса, измерение мгновенного массового расхода топлива, 0...125 кг/час);
- в) воздуха AVL FLOWSONIX Air 150 (ультразвуковой, 40...2900 кг/час).

Также в состав стенда входят следующие кондиционеры сред (пределы регулирования):

- а) кондиционер TCS 2400FH температуры и влажности воздуха на впуске в двигатель (15...70°C и 8...20 г воды/кг воздуха);
- б) кондиционер температуры наддувочного воздуха AVL ConsysBOOST 3000 (30...70°C, только режим охлаждения);
- в) кондиционер AVL ConsysCOOL 200 температуры охлаждающей жидкости двигателя (70...125°C, имеется возможность подогрева охлаждающей жидкости);
- г) кондиционер температуры топлива AVL 753C (30...80°C).

Топливо для испытываемого двигателя из топливных баков подаётся топливоподкачивающим насосом AVL 7531.22 через блок топливных фильтров и отсечной клапан к расходомеру топлива. Далее топливо поступает в кондиционер температуры топлива и через регулятор давления AVL 7531.21 по линии подачи в двигатель. Излишки топлива от двигателя отводятся по обратной линии через регулятор давления и систему регулирования температуры топлива в расходомер топлива.

Воздух для двигателя от кондиционера TCS 2400FH, установленного на техническом этаже, поступает по трубопроводу с кольцевым зазором в измерительный блок расходомера воздуха AVL FLOWSONIX Air 150. Далее воздух через заслонку регулирования подачи воздуха поступает на вход турбокомпрессора испытываемого двигателя. Из турбокомпрессора нагнетаемый воздух через кондиционер температуры наддувочного воздуха AVL ConsysBOOST 3000 подаётся в испытываемый двигатель.

Отработавшие газы (ОГ) отводятся от двигателя через трубопровод с гибкими металлорукавами и участками из стальных толстостенных труб с заслонкой регулирования противодавления в принудительную систему дымоудаления. С помощью стендовых заслонок имеется возможность создавать требуемые разрежение на впуске и противодавление на выпуске.

Для управления положением электронной педали акселератора или рычагом подачи топлива топливного насоса служит привод ТНА 120, установленный на фундаментной плите.

Помещение бокса оборудовано системой приточно-вытяжной вентиляции.

Дымность ОГ определяется дымомером AVL 439 G005, измеряющим потерю интенсивности светового потока между источником и приёмником в измерительной камере длиной 0,43 м.

Объёмные концентрации газообразных вредных веществ (ВВ) в ОГ (CO , CO_2 , O_2 , THC , CH_4 и NO_x) определяются газоаналитической измерительной системой AMA i60 SII R2C-EGR оснащенной пламенно-ионизационными, хемилюминесцентными, инфракрасными и парамагнитными анализаторами. Может производиться одновременное измерение «сырых» выбросов до нейтрализатора, выбросов после нейтрализатора и измерение концентрации CO_2 во впускном коллекторе для определения степени рециркуляции ОГ.

Объёмные концентрации NH_3 и N_2O , а также NO_x (NO и NO_2) в ОГ определяются газоаналитической измерительной системой SESAM i60 FT C с инфракрасным анализатором и преобразованием Фурье.

Для обеспечения работы и калибровки измерительных каналов этих систем необходимы различные рабочие, калибровочные газы и газовые смеси. Они хранятся в баллонах объёмом 40 л, находящихся в специальном помещении для баллонов, а баллоны со смесью H_2/He и чистым кислородом в ящиках на улице. От баллонов газы подаются через редукторы первой ступени по стальным трубопроводам в помещение газоаналитической лаборатории к редукторам второй ступени и затем по фторопластовым трубкам в газоаналитические системы.

Калибровка анализаторов осуществляется перед каждым испытательным циклом, а проверка дрейфа показаний – до и после цикла. Проверка линейности анализаторов и проверка эффективности работы преобразователя NO в NO_2 осуществляется отдельным газовым делителем iCAL GNU.

Выбросы количества твёрдых частиц (PN) определяются счётчиком частиц APC xAPP 23nm 2M 489. Отбор проб производится из системы частичного разбавления потока (микротоннеля) SPC 478 фирмы «AVL».

Выбросы твердых частиц по массе (PM) определяются микротоннелем SPC 478 с частичным разбавлением потока однофльтровым методом (гравиметрический метод измерений) с использованием фильтров типа Pallflex Emfab диаметром 47 или 70 мм. Взвешивание фильтров до и после испытания осуществляется на микровесах MX5/A фирмы «Mettler Toledo».

Также существует возможность проведения измерений дымомером AVL 415S для измерения массовой концентрации сажи в ОГ в мг/м^3 и в единицах FSN.

Данные результатов измерений от измерительного оборудования передаются на рабочую станцию системы автоматизации и управления процессом испытаний с ПО AVL PUMA 2TM, расположенную в шкафу системы управления. В шкафу системы управления также расположен блок питания (с регулируемым выходным напряжением $U = 0...30\text{В}$ и силой тока до 50А) для ЭБУ и других электрических исполнительных механизмов двигателей.

Расположение пробоотборников газоаналитического оборудования в стендовой выхлопной системе показано на рисунке 2.

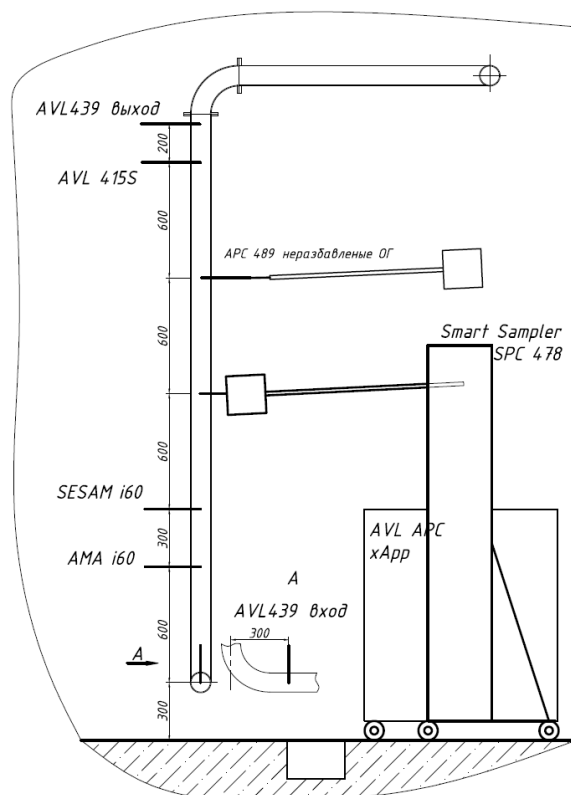


Рис. 2 – Расположение пробоотборников газоанализаторов стенда

Программное обеспечение AVL iGEM 2™ служит для автоматизации процесса проведения циклов испытаний, предусматривающих измерение содержания ВВ в ОГ, управления соответствующими контрольно-измерительными устройствами, а также выполнения проверок и калибровок этих контрольно-измерительных устройств.

Обработка данных, предусматривающая функции визуализации, анализа и формирования отчетности на основе данных результатов измерений, осуществляется программным обеспечением AVL CONCERTO 5™. Вывод информации от системы автоматизации для оператора стенда осуществляется на два дисплея и цветной лазерный принтер.

Вспомогательное оборудование стенда представлено установкой компрессорной ВК30Т-10-500 с ресивером и системой подготовки сжатого воздуха по классу 1.1.1 ГОСТ Р ИСО 8573-1—2016; чиллером для охлаждения и осушения воздуха, поступающего в кондиционер TCS 2400FH.

Таким образом на ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД» имеется возможность проводить доводочные и сертификационные испытания двигателей самых высоких экологических уровней.

УДК 631.35.008.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В CREO PARAMETRIC ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ СЛОЖНОГО МЕХАНИЗМА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Д.А. Крот

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

В современных реалиях, один из ценнейших ресурсов – время, и его необходимо использовать как можно более рационально. Но тогда может возникнуть вопрос, каким образом?

Ответ на самом деле прост – существуют специализированные программные пакеты, предназначенные для 3D проектирования, в которых возможно создание, как деталей, так и сборочных единиц любой сложности, но это всего часть функционала. Они так же позволяют выполнять симуляцию движения подвижных частей и производить необходимые конструктору расчеты, на стадии проработки конструкторского замысла, не прибегая к помощи узкоспециализированных программных продуктов, основной задачей которых является расчет конструкций на различные нагрузки.

Если рассмотреть моделирование крупной сборочной единицы, не только в части статичной модели, а еще и в динамической плоскости, выполнить симуляцию движения под узлов в 3D модели (рычагов, шкивов, тяг, шатунов и т.д.). Это позволит нам свести к минимуму количество проблем, которые могут проявиться на стадии производства деталей или же на стадии сборки или, первого запуска машины.

Отправной точкой разработки послужило обращение конструкторов о проработке очистки в виде механизма, с созданием симуляции движения верхнего и нижнего решетного стана, стрясной доски, соломотряса и шкивов привода соломотряса очистки и все это в едином узле. Это позволило бы увидеть основные недостатки модели еще на стадии проработки конструкторского замысла, а так же рассмотреть различные вариации его реализации еще до стадии воплощения проработки в металле.

Для реализации данного проекта используется программное обеспечение Creo Parametric 4.0. При 3D проектировании используются predetermined наборы ограничений, позволяющие описывать движение компонента в сборке, что необходимо для приведения механизма в движение и анализа движения. Так же стоит отметить, что при использовании predetermined наборов ограничений сборочную единицу пришлось пересобрать исходя из той последовательности,

которая не будет противоречить как конструкторскому замыслу, так и корректной работе ограничений в модели.

В данном случае мы рассмотрим очистку КЗК-12-16-0202000. Это большая сборочная единица, как по количеству моделей, так и по количеству подвижных частей.

Для упрощения модели, мы исключим все сборочные единицы, которые не будут задействованы в модели, в итоге мы получаем упрощенную модель (рис.1):

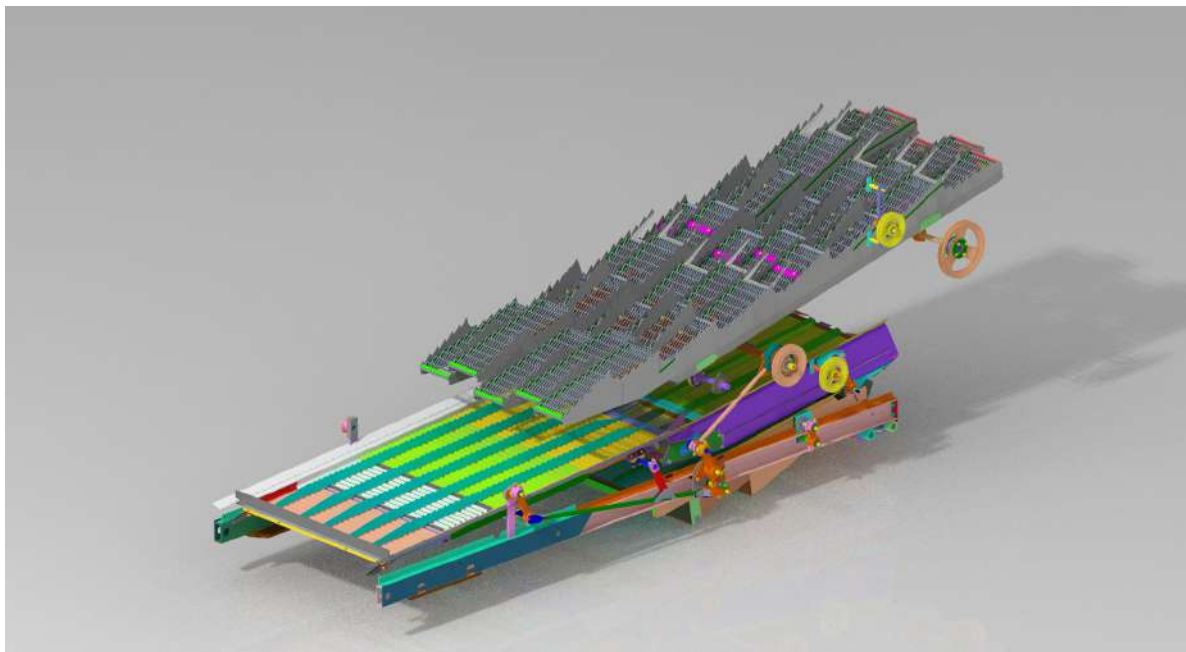


Рис.1 – Очистка КЗК-12-16-0202000 в упрощенном виде

В эту очистки входят: верхний и нижний решетный стан, стратную доску, соломотряс, шкивы привода соломотряса, два шатуна, два двуплечих рычагов очистки (рис. 2). Эти элементы подлежат моделированию с помощью механизмов, что является достаточно трудоемкой задачей и будут задействованы в динамической модели. В данном случае было принято решение отказаться от скелетной модели, и основой сделать раму, на которой собрана очистка. Причиной этому послужило то, что рама является одним из немногих статических элементов, которые остался в текущей сборочной единице, и единственным крупным элементом не подвергшимся переработке.

Для реализации механизма в движении будет использовано несколько типов предопределенного набора ограничений – штифт, общее, сферическое. А вот для соединения шкивов использовалась система ремень-шкив.

Ограничение штифт – соединяет компонент с осью привязки таким образом, что компонент вращается вокруг этой оси с одной степенью свободы. Ограничение общее – содержит одно или два настраиваемых ограничения, которые идентичны ограничениям в определяемом пользователем наборе. Ограничение сферическое – присоединяет некоторый компонент так, что он может вращаться в любом направлении с тремя степенями свободы (вращение на 360°).

Но наиболее интересным из указанных соединений можно назвать систему ремень-шкив. Принцип работы такого ограничения заключается в том, что при создании ремня задается исходная длина ремня и константа жесткости ремня ($E \times A$). Ремень созданный в Mechanism Design является идеальным ремнем, не обладающим свойствами инерции, следовательно для расчета сил на шкивах, связанных с натяжением ремня, используется следующая формула: Сила натяжения ремня = Жесткость X (Текущая длина ремня - Исходная длина ремня)/(Исходная длина ремня). Сила натяжения ремня в этом расчете применяется на шкивах, соединяющих ремень. Если сила натяжения ремня при расчете получается меньше нуля, назначается нулевое значение.

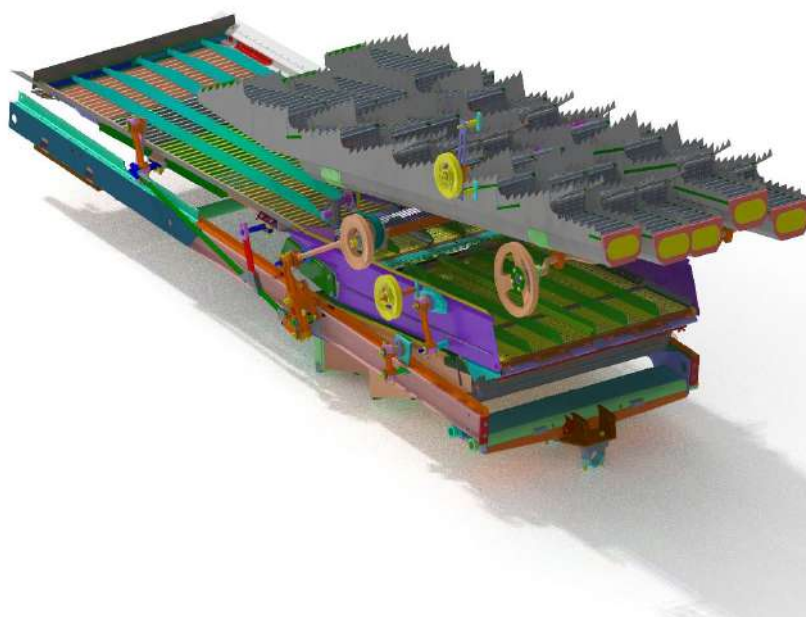


Рис. 2 – Вид сзади

Уместно отметить, что в Creo Parametric реализованы 12 типов предопределенных наборов ограничений, отличающихся количеством степеней свободы и типом размещения в 3D модели:

- **Жесткое:** соединение двух компонентов таким образом, что они не могут двигаться относительно друг друга. Они ограничены с

помощью любого действительного набора ограничений. Соединенные таким образом компоненты становятся единым телом, ограничения набора жесткого соединения аналогичны пользовательскому набору ограничений.

- **Штифт**: соединяет компонент с осью привязки таким образом, что компонент вращается или перемещается вдоль этой оси с одной степенью свободы. Выберите ось, кромку, кривую или поверхность в качестве привязки. Выберите базовую точку, вершину или поверхность в качестве привязки для поступательного перемещения. Набор соединений **Штифт** имеет два ограничения: выравнивание оси и совпадение.

- **Ползун**: соединяет компонент с осью привязки таким образом, что компонент движется вдоль оси привязки с одной степенью свободы. Выберите кромки или оси совмещения в качестве привязок для совмещения. Выберите поверхности в качестве привязок для вращения. Соединение **Ползун** обладает двумя ограничениями: выравнивание оси и совпадение для ограничения поворота вдоль оси.

- **Цилиндр**: соединение компонента таким образом, что он перемещается вдоль и поворачивается вокруг заданной оси с двумя степенями свободы. В качестве привязок выравнивания оси выберите оси, кромки или кривые. Набор соединения **Цилиндр** содержит одно ограничение.

- **Плоское**: соединение компонентов таким образом, что они движутся в некоторой плоскости друг относительно друга с двумя степенями свободы в этой плоскости и одной степенью свободы вокруг оси, перпендикулярной ей (показано стрелками на рисунке ниже). Выберите привязки поверхности для ограничения совпадения. Набор **Плоское** соединение имеет одно ограничение типа сопряжения или совмещения в плоскости. Это ограничение сопряжения или совмещения может быть развернуто по направлению или смещено.

- **Сферический**: присоединяет некоторый компонент так, что он может вращаться в любом направлении с тремя степенями свободы (вращение на 360°). Выберите точки, вершину или концы кривой в качестве привязок для совмещения. Набор соединений **Шар** обладает одним ограничением совпадения типа "точка-точка".

- **Сварной шов**: присоединяет один компонент к другому таким образом, что они не перемещаются относительно друг друга. Этот компонент размещается в сборке путем совмещения системы координат

компонента с системой координат сборки. Данный компонент может выравниваться с использованием открытых степеней свободы сборки. Соединение **Сварной шов** имеет одно ограничение совпадения для выравнивания системы координат.

- **Подшипник:** комбинация соединений **Сферический** и **Ползун** с четырьмя степенями свободы. Существуют три степени свободы (для вращения на 360°) и перемещение вдоль оси привязки. Для первой привязки выберите точку на компоненте или сборке. Для второй привязки выберите кромку, ось или кривую на сборке или компоненте. Точка привязки может свободно вращаться вокруг кромки и перемещаться по всей ее длине. Соединение **Подшипник** имеет одно ограничение совпадения типа "точка на кромке".

- **Общее:** содержит одно или два настраиваемых ограничения, которые идентичны ограничениям в определяемом пользователем наборе. Для соединения **Общее** не может использоваться касательная, точка на кривой и точка на неплоской поверхности.

- **6DOF:** не оказывает влияния на перемещение компонента относительно сборки, так как не накладываются никакие ограничения. Система координат компонента совмещается с системой координат сборки. Оси сборки X, Y и Z являются осями движения, допускающими вращение и поступательное перемещение.

- **Кардан:** соединение точки поворота с одним центрированным ограничением. В отличие от осей, центры систем координат выровнены для обеспечения свободного вращения.

- **Паз:** точка на непрямолинейной траектории. Это соединение обладает четырьмя степенями свободы, где точка отслеживает траекторию в трех направлениях. Выберите точку на компоненте или на сборке в качестве первой привязки. Точка привязки следует по непрямолинейной исходной траектории. Эта траектория имеет конечные точки, которые устанавливаются при задании конфигурации соединения. Соединение **Паз** обладает ограничением совмещения одной точки с несколькими кромками или кривыми.

Использование этих ограничений дает возможность построения в Creo Parametric широкого спектра динамических моделей.

На основании подвижных 3D моделей была собрана очистка, для ее закрепления были использовать жесткие ограничения, не имеющие степеней свободы.

Вал привода очистки был размещен в соответствии с указанными данными, который предоставил конструкторский отдел, вся конструкция приводится в движении с помощью шкива, шатунов и эксцентриков, установленных на этом валу.

В Creo Parametric имеется возможность использовать сервопривод, что позволит придавать движению механизму с различными сервисными возможностями анализа: положений, скоростей, ускорений.

Вообще у сервопривода существует 3 типа движения: поступательное движение, вращательное движение и движение вдоль кривой. По сути, сервопривод позволил нам задать для этой модели определенное движение с одной степенью свободы, а именно вращение вала по оси, что и приводит в движение всю нашу конструкцию.

Вполне очевидно, с одной стороны, что создание подвижной 3D модели довольно кропотливое и времязатратное мероприятие, вместе с тем «игра стоит свеч», хотя на ранних этапах ознакомления с данным функционалом Creo Parametric возникают многочисленные вопросы, но при их разрешении, все становится куда как понятнее и доступнее. Так же стоит понимать что, таким образом, мы получили 3D модели собранные с помощью predetermined наборов, позволяющих не только увидеть движение конструкции во время проектирования, но и избежать потенциальных ошибок при проектировании. А также вносить изменения в размеры конструкций деталей и узлов, разумеется не затрагивая установленные ограничения, при этом механизм очистки остается полностью функциональным и позволяет выполнять анализ кинематики и после проведенных изменений.

Созданием подвижных 3D моделей не ограничивается лишь установкой сервоприводов – возможно создание подвижных моделей для пар зубчатого зацепления, кулачков, 3D-контакт (это соединение между двумя деталями в разных жестких телах, при этом контакт соединяет одиночную поверхность или вершину первого жесткого тела с одной или несколькими сферическими, цилиндрическими или плоскими поверхностями или вершинами второго жесткого тела). Так же для работы с подвижной 3D моделью есть возможность работать с пружинами, демпферами, силовыми приводами, указывать нагрузку на опорах, определять силу или момент.

Это позволяет выполнять не только просчет разнообразных положений, но и кинематический и динамический анализ. Все это позволяет отслеживать в реальном времени динамическое изменение в модели, которое и позволит избежать вероятных ошибок, которые без описываемой функциональности выявлялись бы только при сборке, «в железе».

Сейчас же, построив эту динамическую модель, внося изменения в конструкцию, уже не нужно делать все заново, а можно быстро все пересчитывать, в том числе кинематический и динамический анализ.

Трехмерное моделирование не является **«Большой зеленой кнопкой»** для проектирования, и не может заменить специалиста – конструктора, вместе с тем оно позволяет выполнить разнообразные исследования, тесты и проверки до изготовления в металле. Выявить на ранних стадиях ошибки и избежать переделывания конструкции «в железе», тем самым сократить время выпуска новых видов техники и повысить качество уже на этапе проектирования.

УДК 347.77.012.4

ПАТЕНТОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.С. Уксусов, С.Э. Груздев
ООО «Научно-производственная фирма «АТИ»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Патент – охранный документ, удостоверяющий исключительное право авторства и приоритет изобретения, полезной модели, промышленного образца, выдается государственной исполнительной власти.

В РФ вопросами, связанными с правовой охраной и защитой результатов интеллектуальной деятельности, занимается Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС), учредителем которого является Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент).

ООО Научно-производственная фирма «АТИ» с 2017 года занимается разработкой приборов модернизированной информационной управляющей системы комбайнов ОАО «Гомсельмаш».

Объектом патентных прав в соответствии с Гражданским кодексом РФ являются результаты интеллектуальной деятельности в научно-технической сфере, отвечающие требованиям к изобретениям и полезным моделям.

В качестве изобретений охраняются технические решения в любой области, относящиеся к продукту – устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений и животных, способу, в том числе, применению способа по определенному назначению. Критерии работоспособности, предъявляемые к изобретению, являются наиболее жесткими в сравнении с полезными моделями. К ним относятся:

- новизна. Изобретение не должно быть известно из уровня техники, который включает любые сведения, ставшие известными в мире до даты приоритета изобретения;
- изобретательский уровень. Изобретение имеет изобретательский уровень, если для специалиста оно явным образом не следует из уровня техники, является неочевидным, то есть требующим доказательства;
- промышленная применимость. Изобретение является промышленно применимым, если оно может быть использовано в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении и других отраслях экономики и социальной сфере.

Изобретательский уровень - самый трудный и противоречивый критерий в рамках проверки изобретения на соответствие условиям

патентоспособности. Порядок проверки изобретательского уровня установлен Административным регламентом Роспатента.

Установленный порядок включает выявление признаков, которым заявленное изобретение, охарактеризованное в независимом пункте формулы изобретения, отличается от прототипа. Если в ходе такой проверки не выявлены технические решения, совпадающие с прототипом, признается, что заявленное решение имеет изобретательский уровень.

Чтобы получить патент в РФ необходимо подать заявку в Роспатент, которая должна содержать следующие документы: заявление о выдаче патента; описание изобретения, раскрывающее его сущность; формулу изобретения, выражающее его сущность; чертежи, если они необходимы; реферат. После регистрации заявки проводится формальная экспертиза заявки, в процессе которой проверяется правильность ее оформления. При положительном результате формальной экспертизы заявитель получает соответствующее уведомление. Далее проводится экспертиза по существу, которую проводят по ходатайству заявителя. По результатам экспертизы по существу выносится решение о выдаче патента или отказе. При положительном решении по заявке вносится соответствующая запись о регистрации изобретения в Государственный реестр. Минимальный срок от регистрации заявки на изобретения с последующей выдачей патента 14 – 16 месяцев, реально срок выдачи патента может достигать 1,5 – 2,0 года. Длительность исключительного права на изобретение составляет 20 лет с момента регистрации заявки на выдачу патента.

Производство электроники – динамически развивающаяся отрасль экономики – совершенствуются электронные компоненты, регулярно ведутся разработки электронных устройств, продуктивная линейка меняется часто, поэтому в ряде стран, включая РФ, упрощен механизм получения патента по результатам интеллектуальной деятельности. В РФ с 1992 года патентуются полезные модели. В качестве полезной модели охраняются технические решения, относящиеся к устройству. Полезной модели предоставляется правовая охрана, если она обладает следующими критериями патентоспособности – новизной и промышленной применимостью. Полезная модель является новой, если совокупность ее существенных признаков не известна из уровня техники. Состав заявки на патент на полезную модель, порядок проведения экспертизы и регистрации патента соответствует патентованию изобретения. Минимальный срок получения патента на полезную модель составляет 4 – 8 месяцев с даты подачи заявки, срок действия патента на полезную модель составляет 10 лет.

Следует отметить следующие особенности патентования полезной модели на электронные устройства:

- в состав чертежей, поясняющих техническую сущность полезной модели, необходимо включать структурную схему устройства, поясняющую работу устройства;

- устройством считается сборочная единица, составные части которой подлежат соединению между собой на предприятии изготовителе. Техническое решение не соединенных между собой сборочных единиц на заводе изготовителе является комплектом и патентованию в качестве полезной модели не подлежит.

В течение 2021 - -2022 годов ООО НПФ «АТИ» запатентованы полезные модели «Универсальный пульт управления комбайном», «Модуль терминальный графический комбайна», полезные модели «Рукоятка управления комбайна», «Пульт управления освещением комбайна» находятся в стадии патентования. Патентование выполняется по результатам разработки и освоения производства по заданию Научно-технического центра комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» приборов информационной управляющей системы комбайнов ОАО «Гомсельмаш».

УДК 62-83-52

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

В.В. Тодарев, В.А. Савельев, И.Н. Бураченко

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

Аннотация: В работе решается задача снижения установленной мощности тиристорного преобразователя напряжения асинхронного электропривода, работающего в режиме стабилизации скорости вращения рабочего органа при переменной нагрузке.

Задача решается тем, что в электроприводе на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором с питанием от тиристорного преобразователя напряжения использован асинхронный электродвигатель, содержащий две трёхфазные обмотки статора, не имеющие электрической связи между собой. При этом одна из обмоток статора соединена с трехфазной сетью переменного тока напрямую и обеспечивает получение постоянной составляющей мощности нагрузки, а вторая обмотка статора подключена к той же сети переменного тока через тиристорный преобразователь напряжения и обеспечивает получение переменной составляющей мощности нагрузки.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, асинхронный электропривод, тиристорный преобразователь, стабилизация скорости, нагрузка.

Annotation: The paper solves the problem of reducing the installed power of thyristor voltage converter of asynchronous electric drive, which operates in the mode of stabilizing the rotation speed of the working body under variable load.

The problem is solved by the fact that in the electric drive based on asynchronous electric motor with squirrel-cage rotor and powered by thyristor voltage converter, an asynchronous electric motor with two three-phase stator windings, which have no electrical connection between them, is used. At the same time one of the stator winding is connected to three-phase alternating current network directly and provides constant load power component, and the second stator winding is connected to the same alternating current network through thyristor voltage converter and provides variable load power component.

Key words: asynchronous motor, asynchronous electric drive, thyristor converter, speed stabilization, load.

Типовая конструкция асинхронного электропривода, работающего в режиме стабилизации скорости вращения вала двигателя, включает асинхронный электродвигатель и управляемый преобразователь, например, тиристорный регулятор напряжения.[1]

При наличии отрицательной обратной связи по скорости такое решение позволяет при изменении момента нагрузки на валу электродвигателя посредством автоматического регулирования величины напряжения тиристорного преобразователя изменять вид механической характеристики электропривода и, тем самым, поддерживать неизменной скорость вращения вала электродвигателя.

Мощность $P(t)$ нагрузки в данном случае пропорциональна моменту $M(t)$ на валу электродвигателя, соответственно минимальное $P_{\min}$ и максимальное $P_{\max}$ значения мощности пропорциональны минимальному $M_{\min}$ и максимальному $M_{\max}$ значениям момента нагрузки.

В этом случае мощность преобразователя напряжения выбирают исходя из величины мощности $P(t)$ нагрузки.

Мощность $P(t)$ нагрузки на валу электродвигателя можно представить в виде суммы постоянной P_C и переменной $P_V(t)$ составляющих, то есть $P(t) = P_C + P_V(t)$. При этом максимальное значение переменной составляющей $P_{V \max} = P_{\max} - P_C$ (рис. 1).

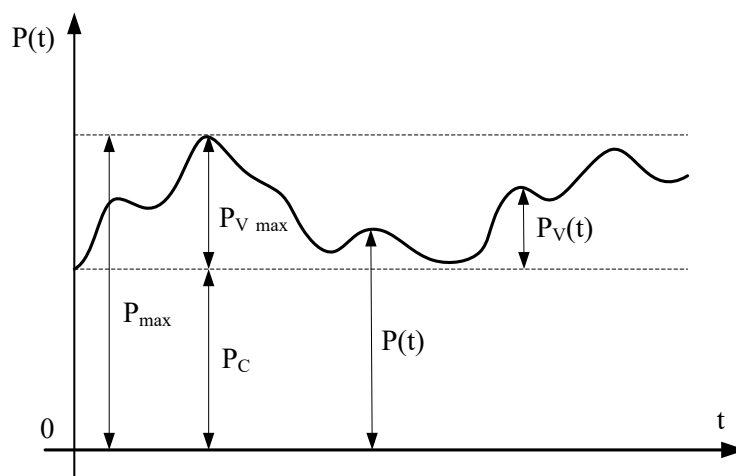


Рис. 1 – Нагрузочная диаграмма асинхронного электропривода

Соответствующий переменной нагрузке электромагнитный момент электродвигателя при постоянной скорости вращения вала ω_r можно представить аналогично: $M(t) = M_C + M_V(t)$; $M_{V \max} = M_{\max} - M_C$.

Поскольку необходимость в стабилизации скорости вращения вала электродвигателя обусловлена переменной составляющей мощности $P_V(t)$ нагрузки, то мощность тиристорного преобразователя напряжения, выбранная по полному значению мощности $P(t)$ нагрузки окажется завышенной, тем больше, чем меньше максимальное значение переменной

составляющей $P_{V \max}$ по отношению к постоянной составляющей мощности P_C .

Таким образом, **целью** данной работы является снижение мощности тиристорного преобразователя напряжения типового асинхронного электропривода, работающего в режиме стабилизации скорости вращения вала электродвигателя при переменной нагрузке.

Поставленная цель достигается за счёт того, что в типовом электроприводе с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и тиристорным преобразователем напряжения использован асинхронный электродвигатель, содержащий две трёхфазные обмотки статора, не имеющие электрической связи между собой. [2]

На рисунке 2 приведена функциональная схема предлагаемого асинхронного электропривода. Первая обмотка статора соединена с трехфазной сетью переменного тока напрямую и обеспечивает получение постоянной составляющей мощности нагрузки P_C , а вторая обмотка статора подключена к той же трехфазной сети переменного тока через тиристорный преобразователь напряжения и обеспечивает получение переменной составляющей мощности нагрузки P_V . При этом электродвигатель содержит две электрически не связанные трёхфазные обмотки статора, которые могут быть получены путём разделения полюсных обмоток статора при числе пар полюсов $p > 1$, или разделением фазных обмоток статора на параллельные ветви.

Первая обмотка статора создает момент, компенсирующий постоянную составляющую момента M_C нагрузки. Вторая обмотка статора создает момент, компенсирующий переменную составляющую момента $M_V(t)$ нагрузки.

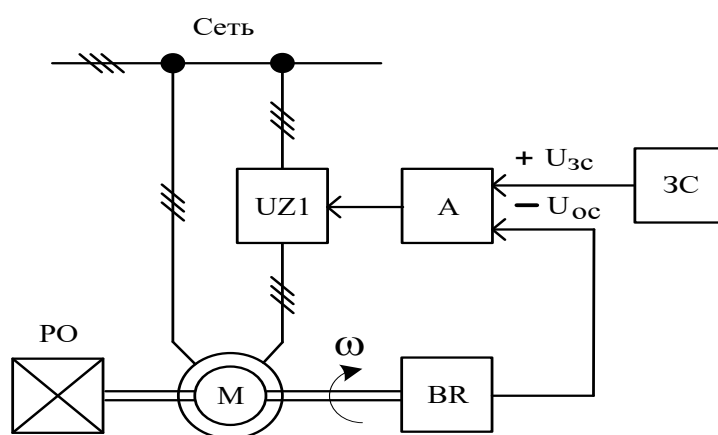


Рис. 2 – Функциональная схема асинхронного электропривода: М – электродвигатель; UZ1 – управляемый преобразователь; А – регулятор скорости; ЗС – задатчик скорости; BR – датчик скорости; РО – рабочий орган

Механические характеристики заявляемого электропривода представлены на рис. 3: поз. 1 – механическая характеристика, создаваемая первой обмоткой статора электродвигателя и обеспечивающая постоянную составляющую момента M_C ; поз. 2, поз. 2' – механические характеристики, создаваемые второй обмоткой статора электродвигателя при номинальном и минимальном напряжениях на выходе тиристорного преобразователя соответственно, обеспечивающие переменные составляющие электромагнитного момента M_V и M'_V ; поз. 3, поз. 3' – суммарные механические характеристики электродвигателя; поз. 4 – характеристика электропривода в режиме стабилизации скорости вращения вала двигателя.

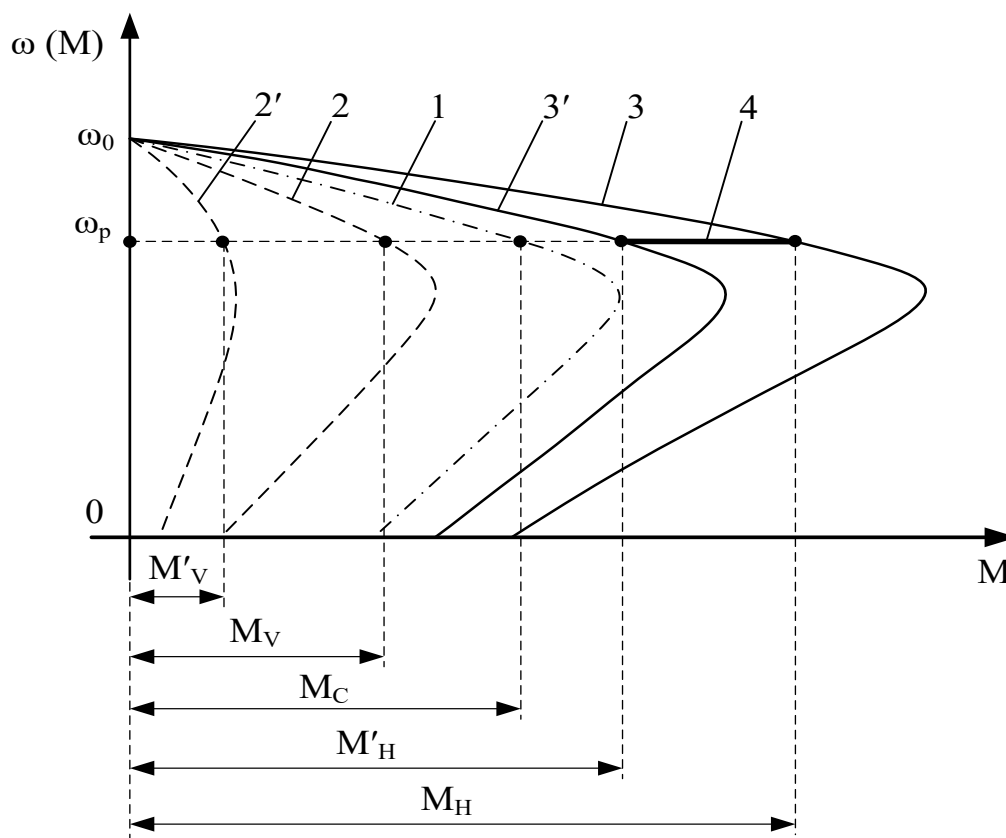


Рис. 3 – Механические характеристики асинхронного электропривода

Таким образом, заявляемое устройство обеспечивает снижение установленной мощности тиристорного преобразователя напряжения асинхронного электропривода, работающего в режиме стабилизации

скорости вращения вала электродвигателя, на величину постоянной составляющей мощности нагрузки электропривода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: Учеб. пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. С.243.
2. Патент РБ 12022. Асинхронный электродвигатель.
3. Проектирование электрических машин: учебник для вузов под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.

УДК 620.178.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

С.А. Тюрин, Н.Н. Малык

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

Существуют стандартные методы экспериментального определения с достаточной для практических целей точностью характеристик механических свойств материала (пределы текучести, прочности и выносливости и т.д.). Но проблема состоит в том, что в условии прочности

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] = \sigma_{\lim} / n_{\sigma}$$

действующие напряжения $\sigma_{\max}$ определяют в *натурных конструкциях*, тогда как в правой его части используют характеристики механических свойств *материала*. А свойства материала и конструкции могут различаться весьма существенно. Так, если предел выносливости гладких образцов (диаметром 10 мм) стали 45 равен $\sigma_{-1} \approx 300$ МПа, то предел выносливости валов (диаметром 150 мм) с напрессованными втулками снижается до 50 МПа и менее [1].

Один из выходов из создавшейся ситуации состоит в том, чтобы всемерно развивать и осуществлять методы *натурного эксперимента*, результаты которого и позволяют достаточно корректно установить характеристики сопротивления деформации и разрушению конкретных деталей и узлов. Однако такой подход, будучи практически важным, в научном отношении малоэффективен. Натурный эксперимент, как правило, весьма трудоемок, очень дорог и длителен, но дает ограниченные результаты, пригодные лишь применительно, например, к исследованному узлу с деталями заданных типоразмеров. Достаточно изменить всего лишь размеры деталей – и требуется строить новую дорогостоящую испытательную установку и вести новые длительные и трудоемкие испытания, чтобы получить необходимые характеристики работоспособности узла в заданных условиях. Естественно, что конструктивные варианты ответственных деталей и узлов в машиностроении практически неисчислимы, особенно учитывая изменение их размеров. Следовательно, по нашему мнению, натурные испытания целесообразны лишь в весьма ответственных случаях.

Применительно к серийным и массовым изделиям машиностроения перспективным является научный подход, основанный на *моделировании* [2]. Испытания моделей деталей и узлов, уменьшенных в разумных пределах, можно вести на универсальном испытательном оборудовании. Это резко снижает затраты и расширяет возможности испытаний по

количеству испытуемых объектов. Результат – повышение точности оценки служебных свойств изделия, узла, детали.

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

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

Для экспериментальной оценки взаимного и совместного влияния процессов трения и механической усталости на работоспособность материалов и моделей трибофатических систем в сложных условиях нагружения разработаны специальные *методы износоусталостных испытаний*. Один из путей разработки методов комплексных (износоусталостных) испытаний – совмещение известных методов испытания на *механическую усталость* и методов испытания на *трение и изнашивание*. На рисунке 1 в качестве примера показан принцип такого формирования в том случае, когда в качестве базового метода испытания на усталость принимают изгиб с вращением. Заметим, что вращательное движение наиболее характерно для современных машин, поэтому методы, представленные на рисунке 1, являются практически важными.

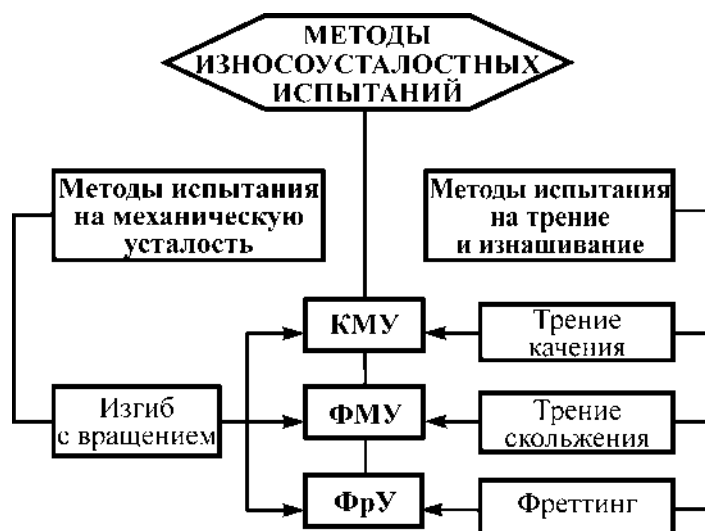


Рис. 1 – Формирование методов износоусталостных испытаний при главном вращательном движении: КМУ – контактно-механическая усталость; ФМУ – фрикционно-механическая усталость; ФрУ – фреттинг-усталость

Используя подобный подход, достигают той цели, что на машинах, предназначенных для износоусталостных испытаний, можно проводить и обычные испытания либо на механическую усталость, либо на трение и изнашивание в определенных условиях.

Соответствующие методы износоусталостных модельных испытаний в условиях, близких к эксплуатационным, к настоящему времени разработаны и частично стандартизованы [3]. В результате таких испытаний определяют количественные характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям. Эти характеристики могут быть использованы, а частности, при выборе конструкционных материалов и обосновании конструктивно-технологических решений, при контроле качества материалов, при расчетах на этапе проектирования и др.

Для испытания таких моделей создано высокотехнологичное испытательное оборудование [4], технические характеристик которого регламентируются требованиями государственного стандарта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трощенко В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : справ. : в 2 т. / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. – Киев : Наукова думка, 1987. – Т. 1. – 510 с.; Т. 2. – 825 с.
2. Андрияшин В. А. Износоусталостные испытания: принципы моделирования / В. А. Андрияшин, А. В. Богданович, С. А. Тюрин // Надежность и долговечность машин и сооружений : Междунар. науч.-техн. сб. – Вып. 24. – Киев : ИПП НАНУ им. Г. С. Писаренко, 2005. – С. 21–26.
3. Методы износоусталостных испытаний и их эффективность / Н. А. Махутов [и др.] // Тр. VI Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. – 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол. : М. А. Журавков (пред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2010. – Т. 2. – С. 149–162.
4. Машины серии СИ для износоусталостных испытаний / М. С. Высоцкий [и др.] // Тр. VI Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. – 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол. : М. А. Журавков (пред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2010. – Т. 2. – С. 41–52.

УДК 621.744.072.2; 621.792; 621.88

АНАЛИЗ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ В УСЛОВИЯХ РЕМСЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

М.Л. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время наиболее распространенными материалами для их изготовления является древесина, металл и пластические массы. Наиболее подходящими для мелкосерийного и среднесерийного производства являются модели, изготовленные из древесины или пластика [1-4]. При этом наиболее дешевыми являются деревянные модельные комплекты. Применение деревянных модельных комплектов наиболее эффективно при изготовлении единичных изделий, после чего модельный комплект может быть просто утилизирован. В том случае, когда на предприятии предполагается повторное изготовление подобных изделий, возникают проблемы с хранением данного деревянного модельного комплекта, что обусловлено небольшими складскими помещениями на предприятиях мелкосерийного и единичного производства. Также необходимо создать специальные условия, для складирования, чтобы исключить процесс набухания или рассыхания древесины, что в конечном итоге приводит к короблению и изменению геометрических размеров модельного комплекта.

Пластиковые модельные комплекты имеют максимум преимуществ по сравнению с деревянными модельными комплектами, например, в процессе их механической обработки. Технологический процесс их производства может быть даже более дешёвым, чем деревянных комплектов, так как они не требуют поддержания сушкой установленного процента влажности и, в отличие от древесины, нет необходимости учитывать особенности работы вдоль или поперек волокон. Также модельные комплекты могут длительное время находиться в неотапливаемых помещениях с широким диапазоном температур без риска их геометрических изменений, это заметно облегчает и удешевляет хранение модельной оснастки.

В связи с наложенными санкциями остро стоит вопрос импортозамещения ряда изделий в машиностроительной сфере, а именно, запасных частей которые не подлежат восстановлению или трудно поддаются ремонту.

Учитывая большое количество небольших ремонтно-механических заводов возможно создание модельных комплектов на основе

высокоизносостойких пластиков [2, 5]. С помощью данных материалов и технологии 3-D фрезерования, а также 3-D печати возможно создание моделей способных получать импортозамещающие заготовки методами литейного производства.

Для изготовления пластмассовой оснастки необходимо специальное оборудование [6]. Основные технологические процессы для достижения данной цели и оборудование представлены далее. В первую очередь, можно упомянуть технологии 3D –печати, а именно, SLS-технология, при которой полистирол широко используется в качестве модельного материала для традиционного литья по выжигаемым моделям. В связи с бурным развитием технологий послойного синтеза он приобрел особую популярность в области прототипирования, а также для промышленного изготовления штучной и малосерийной продукции. Данную технологию часто применяют для изготовления отливок сложной формы относительно больших размеров с умеренными требованиями по точности [7, 8]. Модельный материал – полистирольный порошок с размером частиц 50-150 мкм накатывается специальным роликом на рабочую платформу, установленную в герметичной камере с атмосферой азота. Затем платформа опускается на 0,1-0,2 мм, и новая порция порошка накатывается поверх отвержденного – формируется новый слой, который также спекается с предыдущим. Процесс повторяется до полного построения модели. Преимуществом данной технологии является отсутствие поддержек, поскольку во время построения модель и все её строящиеся слои удерживаются массивом порошка [7, 8].

Стоит также упомянуть и другую технологию получения выжигаемых синтез-моделей – Ink-Jet от компании Voxeljet Technology (Германия). В качестве модельного материала здесь используется порошковый акриловый полимер [9]. Головка устройства, содержащая от двух до 96 сопел, наносит модельный и поддерживающий материал на поверхность слоя. После нанесения слоя могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. Данный метод позволяет получать прозрачные и многоцветные прототипы с различными механическими свойствами: от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластик [9].

Также известна FDM-технология, когда исходным сырьем для печати является проволока, а источником энергии может быть электронный луч, луч лазера или плазменная дуга. Данный процесс идет с высокой скоростью и позволяет получать объемные изделия, но требует более интенсивной механической обработки, чем изделия из порошка [9].

Основными преимуществами FDM-технологии является большой выбор материалов и хорошие физико-механические свойства конечных изделий, изготовленных с использованием этой технологии. Они являются

одними из самых прочных полимерных изделий, которые изготавливаются в аддитивном производстве [9].

Немаловажным значением является цена модельных пластиков. По данным УП «Технолит» г. Минск, она составляет от 820 до 950 бел. рублей, при разных объёмах выпускаемых плит. Так плиты плотность до $0,8 \text{ г/см}^3$ выпускаются размером $1500 \times 500 \times 50$ (мм), выше этой плотности размером $1000 \times 500 \times 50$ (мм). Таким образом, ценовое различие более дешёвых и дорогих пластиков составляет 34 %. Однако их прочностные характеристики по результатам исследований, отличаются в 2 раза. Так пластик PROLAB 65 (плотностью $0,65 \text{ г/см}^3$) показывает напряжение при сжатие в продольном и поперечном направлении в пределах 20-30 МПа, а пластик LAB 850 (плотностью $1,3 \text{ г/см}^3$) показывает напряжение при сжатие в продольном и поперечном направлении в пределах 60-70 МПа. Оба пластика подходят для нужд мелкосерийного изготовления модельных комплектов, но, как показали исследования, для нужд машиностроения могут быть с уверенностью использованы самые дешёвые пластики, которые превышают по своим механическим свойствам древесину в 3 и более раз.

При оценке экономической составляющей немаловажную роль имеет сравнение стоимости 3D-печати и 3D-фрезерования. Стоимость 3D-печати состоит из стоимости материала, работы и финишной механической обработки. При изготовлении пластиковых модельных комплектов их стоимость складывается из стоимости пластика и работ на 3D-фрезеровальном станке. Для обоих случаев 3D-фрезерование имеет одинаковую стоимость и составляет около 50 бел. руб. в час при этом длительность процесса зависит от сложности изделия. Однако при 3D-фрезеровании процесс будет протекать дольше, так как изделие вытачивается из массива, а не из заранее подготовленной заготовки. Что касается сравнения стоимости основного материала, то для 3D-печати нитью она начинается от 40 бел. руб. за кг, при 3D-печати из гранул стоимость материала составляет от 10 бел. руб. за кг. Стоимость материалов, применяемых для изготовления модельных комплектов исключительно фрезерованием составляет от 29 бел. руб. за кг.

Как следствие, на настоящем этапе 3D-фрезерование имеет ценовое преимущество, благодаря невысокой стоимости материала и скорости обработки составляет -12 кг/час, печать нитью – 0,25 кг/час и печать гранулами ориентировочно – 10 кг/час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нелюб И.А. Особенности и преимущества применения современных пластополимерных материалов для изготовления модельной оснастки / И.А. Нелюб, П.А. Кушель, С.Л. Ровин // Литье и металлургия. 2010. – Т. 58. – № 4. – С. 36–39.

2. Современные способы создания модельных комплектов для литья / М. Л. Калиниченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – Т. 91. – № 3. – С. 125–130.

3. Калиниченко М.Л. Анализ современных композиционных материалов, применяемых при изготовлении модельных комплектов для мелкосерийного литейного производства, полученных с помощью технологии склеивания / М. Л. Калиниченко, Л. П. Долгий, В. А. Калиниченко // Литье и металлургия. 2020. – № 3. С. 15–22

4. Леушин И.О., Решетов В.А., Романов А.Д., Большаков А.А. Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – № 2. – С. 229–232.

5. Аддитивные технологии и литейное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.extxe.com/9761/additivnye-tehnologii-i-litejnoe-proizvodstvo. – Дата доступа: 20.10.2021

6. Зеленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зеленко, М. В. Нагайцев, М.В. Довбыш. – М.: НАМИ, 2015. – 220 с.

7. Аддитивные технологии. Виды, особенности, характеристики аддитивных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij – Дата доступа: 21.10.2021.

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

9. Аддитивные технологии. Виды, особенности, характеристики аддитивных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij – Дата доступа: 21.10.2021.

УДК 621.791.927.5

ОСОБЕННОСТИ НАПЛАВКИ НА РАБОЧИЕ КРОМКИ ПРОТИВОРЕЖУЩИХ БРУСЬЕВ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

В.С. Голубев¹, И.И. Вегера¹, В.Е. Ходюш¹, П.С. Дробышевский²¹Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь;²ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Основными причинами выхода из строя сменных деталей измельчающих узлов кормоуборочных комбайнов (ножей, противорежущих брусьев) являются износ, растрескивание рабочих кромок и поверхностей, выкрашивание, деформация и поломка. Все эти проявления требует от используемого материала наличия определенных физико-механических свойств. Так, для повышения стойкости к абразивному износу необходимо наличие гетерофазной структуры с включениями повышенной твердости. Возрастание твердости в целом может вызывать повышение хрупкости и, следовательно, повысится вероятность выкрашивания рабочих кромок и поверхностей, которое будет способствовать еще более интенсивному износу.

Для отработки технологии наплавки, пригодности выбранного метода и выбора оптимальных составов наплавочных материалов были изготовлены образцы из стали 45 длиной 250 мм, сечением 60х30 мм, на ребрах которых выфрезировывались соответствующие открытые или закрытые пазы с размерами ~ 10х10 мм. Методом электродуговой наплавки формировали упрочненные валики (рис. 1а) наплавленного металла из трех различных составов износостойких сплавов. Для этих целей использовали электроды со специальным защитным покрытием: состав 1 - высоколегированный хромсодержащий сплав (С-4,75%, Si-1,37%, Cr-23,7%...), состав 2 - легированная сталь (С-0,65%, Si-0,7%, Cr-4%...), состав 3 - легированный чугун (С-3%, Si-2%, Cr-8%...). Слои формировались при наплавке электродов за несколько проходов. При этом ток дуги экспериментально выбирался в диапазоне 120...200 А. Наплавку на рабочие грани образцов проводили при комнатной температуре (холодная подложка) и при предварительном нагреве их в печи до различных температур.

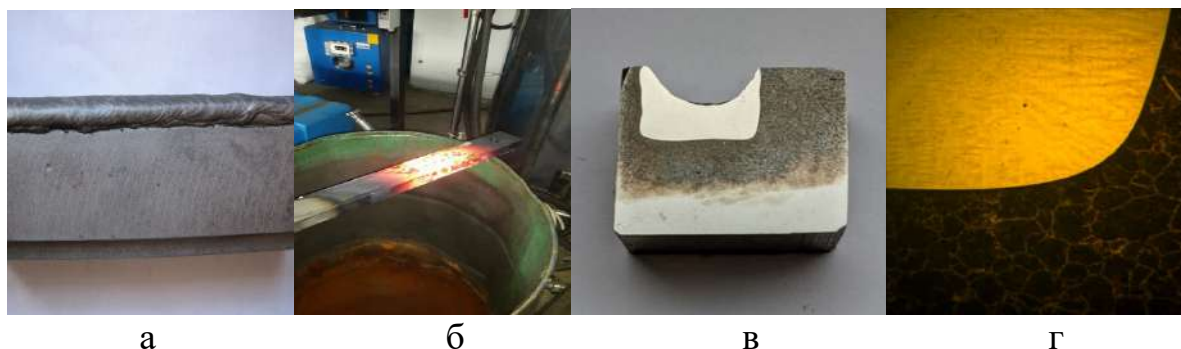


Рис. 1 – Образцы противорежущего бруса с наплавленной кромкой: а – электродуговая наплавка, б – индукционная наплавка, в – поперечное сечение слоя при индукционной наплавке в паз, д – микроструктура наплавленного слоя

Индукционный нагрев (рис. 1б) с целью наплавки осуществляли непрерывно-последовательным методом, используя для этого установки ТВЧ нагрева ФТИ 3.148.1, ФТИ 3.148.2. Оборудование комплектовалось высокочастотными преобразователями в различных диапазонах частот и специальными индукторами, спроектированными и изготовленными в лаборатории скоростных методов термообработки ФТИ НАН Беларуси. При этом для наплавки применялись индуктора с воздействием как внутреннего, так и внешнего поля. При наплавке внешним полем в качестве дополнительных элементов применялись ферритные вставки, цель которых «выдавливает» электромагнитное поле наружу витка. Для наплавки использовались порошки износостойких сплавов на никелевой (Т-термо 55, ПГ-10Н-01 и Т-Термо 650 (ПГ-10Н-01 + 50% WC)) и кобальтовой (ПГ-10К-01) основах.

Выполненные исследования показали следующее. Микроструктура наплавленного нами слоя, полученного с использованием хромсодержащего сплава (состав 1), состояла из первичных частиц карбидов с геометрической формой огранки (шестигранной, ромбической, треугольной и др.) характерной для карбидов хрома, образующихся в системе Fe - C - Cr с микротвердостью порядка 10700...12000 МПа, дендритов твердого раствора и эвтектики из карбидной фазы и твердого раствора. При этом размеры ячеек твердого раствора в дендритных ветвях наплавки изменялись, укрупняясь к границе сплавления с материалом подложки, их твердость составляла 5300...5400 МПа (49...50 HRC), твердость эвтектики была на уровне 6000...6300 МПа (54...55 HRC). Металл подложки, граничащий с наплавленным слоем, претерпевает закалку. Непосредственно на границе располагается мартенситный слой в смеси с остаточным аустенитом глубиной приблизительно 0,3...0,35 мм. Твердость этого слоя составляла 6200...6500 МПа (55...56 HRC).

Характер изменения микроструктуры в образцах с наплавкой на предварительно подогретые подложки аналогичен. В наплавленных слоях

и подложке структурные составляющие те же. Но в структуре материала образцов при наплавке на подогретые образцы изменялась протяженность областей существования фаз. Происходило сужение размеров зон и наблюдался более быстрый переход к области, где фиксируется обособление зерен перлита с приграничными разреженными участками с дальнейшим переходом их в феррит с мелкими карбидами. Таким образом, под слоем наплавки вначале наблюдается образование структур неполной закалки.

Было опробовано также наплавление кромок брусьев стальными (состав 2) и чугунными электродами другого состава по такой же технологии наплавки (состав 3). Микроструктура слоя, наплавленного электродуговым методом с использованием стального электрода, состояла из дендритов твердого первичного раствора, закаленного на мартенсит в смеси с остаточным аустенитом. При этом, твердость слоя, наплавленного на холодную подложку, составляла 6670...7450 МПа (57...60 HRC). На границе сплавления твердость была ~ 4750 МПа (46 HRC). Непосредственно под наплавленным слоем в подложке наблюдалась смесь из перлита, небольшого количества феррита и отпущенного мартенсита. Твердость здесь составляла ~ 3200 МПа (33 HRC), то есть основу приграничного слоя образца составляют структуры неполной закалки в виде претерпевшего отпуск мартенсита в смеси с трооститом и остаточный аустенит. Под этим слоем располагается такая же структура, но твердость этой смеси несколько выше $\sim 4200...4350$ МПа (42...43 HRC) вследствие количественного изменения состава фаз и величины отпуска мартенситной фазы.

При применении этого состава стали на подогретые образцы в структуре дендритов наплавленного слоя наблюдается так же, как и при наплавке на холодную основу, распад пересыщенных легирующими элементами приграничных зон первичного твердого раствора. При этом происходит выделение смеси карбидной фазы и, по-видимому, аустенита на стыках ветвей и по границам зёрен. На всех образцах границы сплавления с подложкой были сплошными а слои без наличия трещин. Однако необходимо отметить, что у этого состава сплава, относительно низкая жидкотекучесть расплава, вследствие чего возможно образование такого дефекта, как неполное заполнение расплавом угла в выборке по ребру образца. Данный состав материала наплавки уступал предыдущему по твердости, но при его применении в наплавленном слое не возникало трещин.

В экспериментах по наплавке электродом из чугуна (состав 3) с содержанием более 3% углерода и других элементов в структуре наплавленного слоя наблюдались первичные выделения карбидных фаз, небольшое количество мелких участков эвтектики из твердого раствора аустенита и карбидов и областей твердого раствора аустенита. При этом

центральные зоны твердого раствора также претерпевали распад на аустенит и карбиды. В результате закалки твердый раствор трансформируется в мартенсит игольчатой морфологии и содержит остаточный аустенит. Твердость наплавленного слоя ближе к границе сплавления составляет ~ 7750 МПа (61 HRC). На границе сплавления в структуре наблюдается мартенсит с остаточным аустенитом при твердости $\sim 6000\ldots 5800$ МПа (57...58 HRC). Под слоем непосредственно в структуре основы располагается смесь мартенсита с некоторым количеством троостита и остаточного аустенита.

При наплавке этого состава на подогретые образцы твердость в слое остается на достаточно высоком уровне вплоть до температуры предварительного нагрева 600°C : $\sim 10080\ldots 7740$ МПа (68...61 HRC) с включениями карбидов и зонами вырожденной карбидной эвтектики, где микротвердость составляет соответственно ~ 28000 МПа и 11000 МПа.

Следует отметить, что переходная зона на границе наплавленного слоя и подложки является плавной, с взаимным проникновением твердых растворов друг в друга, без расслоений, трещин и других дефектов, что способствует постепенному распределению физико-механических свойств по сечению. Как правило, жидкотекучесть расплава износостойкого чугуна более высокая, чем при наплавлении с использованием стальных электродов. Этот фактор будет гарантировать лучшее заполнение пазов, предварительно подготовленных с целью формирования кромок противорежущего бруса при предложенной технологии его изготовления с использованием электродуговой наплавки ребер легированными сплавами с высокой износостойкостью.

На основании проведенных исследований при оптимальном выборе состава наплаваемого материала, режимов и схемы электродуговой наплавки, с учетом условий проведения процесса с целью получения максимального качества наплавленного слоя и минимизации проблем при шлифовке были изготовлены несколько образцов реальных противорежущих брусьев для полевых испытаний. Анализ результатов испытаний показал, что разработанная технология дает положительный эффект, ресурс работы упрочненных деталей повышается. Так, интенсивность износа по ширине рабочих зон противорежущих брусьев в смешанном цикле работы (сенаж-кукуруза) составил не выше $0,11$ мм/1000 тонн. Это дает основание предполагать, что прогнозные ресурсы работы упрочненных деталей будут составлять значения не менее указанных в СТБ 1616-2011.

Проведенный подбор режимов показал, что выбранная технология наплавки может быть весьма перспективной для такого рода деталей. На рисунке 16 показан противорежущий брус с наплавленным участком рабочей кромки. На рисунке 1в приведена фотография заполнения паза расплавом при однократном проходе в процесса наплавки бруса

Следует отметить, что такое формирование наплавленного слоя в пазу связано с усадкой материала при расплавлении порошка, которое может достигать 50% и более. Но при определенных условиях уже одного прохода оказывается в принципе достаточным, чтобы после окончательной шлифовки получить необходимые толщины наплавленного слоя $\sim 4 \dots 5$ мм. Наплавленный слой (рис. 1г) является достаточно однородным и имеет характерную мелкоячеистую и дендритную структуру. При этом наблюдается полное заполнение нужного профиля паза, отсутствуют поры, трещины, несплошности и другие дефекты. Твердость наплавки, например, порошка Т-термо 55 варьировалась от 35 HRC до заявленной его производителем твердости. При выборе порошков с большей твердостью из линейки указанной марки порошков есть возможность получения и более твердых наплавленных слоев на рабочих кромках такого рода деталей.

Основной задачей в этом случае, является недопущение как недогрева, так и перегрева порошков при наплавке выше $1050 \dots 1100$ °С, при этом важным фактором является также скорость осуществляемого нагрева. С этой целью было апробировано несколько типов индукторов с поперечным и продольным их расположением. Установлено, что при продольных схемах оплавления возрастала вероятность проявления негативных тенденций по стабилизации температуры нагрева в оптимальном диапазоне, величине остаточных напряжений, приводящих к деформации детали и др.

Заключение.

В соответствии с типом деталей - «противорежущие брусья» и условий их работы выбран путь повышения их работоспособности, определен выбор легирующих элементов и состав покрытия. Определены технологические параметры процесса и температурные интервалы нагрева подложки для наплавки и формирования режущих износостойких кромок изделий и необходимые условия для устранения поводок и коробления. Проведенные полевые испытания показали, что разработанная технология электродуговой наплавки дает положительный эффект, ресурс работы упрочненных деталей повышается. Так, интенсивность износа по ширине рабочих зон противорежущих брусьев в смешанном цикле работы (сенаж-кукуруза) составил не более 0,11 мм/1000 тонн.

Проведенные эксперименты по индукционной наплавке износостойких слоев на рабочие грани противорежущих брусьев с использованием самофлюсующихся порошков показали, что наплавленный слой является достаточно однородным и имеет характерную мелкоячеистую и дендритную структуру. При этом наблюдается полное заполнение нужного профиля, практически отсутствуют поры, трещины, несплошности и другие дефекты. Это все дает основание полагать, что предложенная технология создания наплавленных слоев вполне может

быть рекомендована применительно к такого рода изделиям, то есть обеспечить им необходимые износостойкость и прочность при ударных нагрузках. Кроме того, процесс наплавки, основанный на индукционном нагреве, может быть в достаточной степени автоматизирован.

УДК 501.22:621.763

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ЛИТЕЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

В.А. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время литые композитные материалы (ЛКМ) довольно широко используются для изделий различного назначения из-за более низкой стоимости и возможности изготовления деталей различной геометрии, практически без ограничений по размерам [1, 2]. Так как данный тип материала используется как правило в качестве подшипников скольжения, то кроме триботехнических свойств немаловажную роль играет сопротивление сжимающим нагрузкам. Это особенно актуально при работе в узлах трения сельскохозяйственных машин, у которых при движении по пересеченной местности подшипники могут испытывать знакопеременные нагрузки различные по величине.

В качестве объекта исследований были выбраны композиционных материалов полученных различными технологическими приемами. Были испытаны слоистые ЛКМ армированные карбидами кремния на лазерно упрочненной подложке. ЛКМ на основе бронзы БрКМц3-1 армированной литыми чугунами гранулами различных диаметров и ЛКМ типа INSITU системы Cu-Ti-C полученные за счет внутренних превращений в материале (рис. 1).

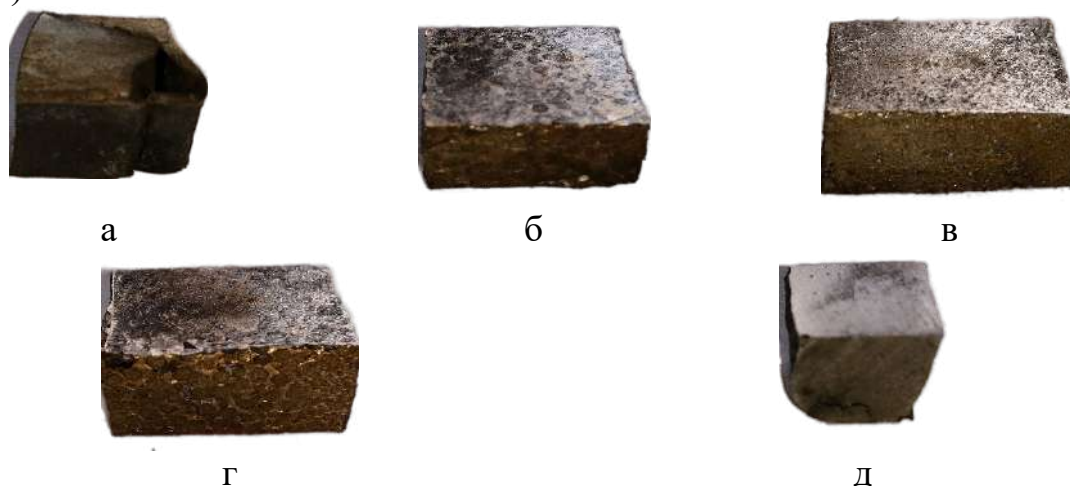


Рис. 1 – Виды образцов после испытаний на сжатие: а – слоистый ЛКМ; б – ЛКМ на основе бронзы БрКМц3-1 армированной чугунами гранулами 0,5 мм; в – такой же ЛКМ с гранулами 0,5 – 1,0 мм; г – такой же ЛКМ с гранулами 1,0 мм; д – ЛКМ типа INSITU системы Cu-Ti-C.

Из данным материалов были изготовлены прямоугольные образцы для оценки сопротивления сжимающим нагрузкам. Испытания образцов первой и второй группы проводились на базе сертифицированного центра структурных исследований и трибо-механических испытаний материалов и изделий машиностроения Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (ЦКП – ЦСИМИ ОИМ НАН Беларуси) с помощью разрывной машины Instron 300LX, данные обрабатывались с помощью программы Bluehill 2 (Великобритания). Результаты проведенных испытаний представлены на рисунке 2.

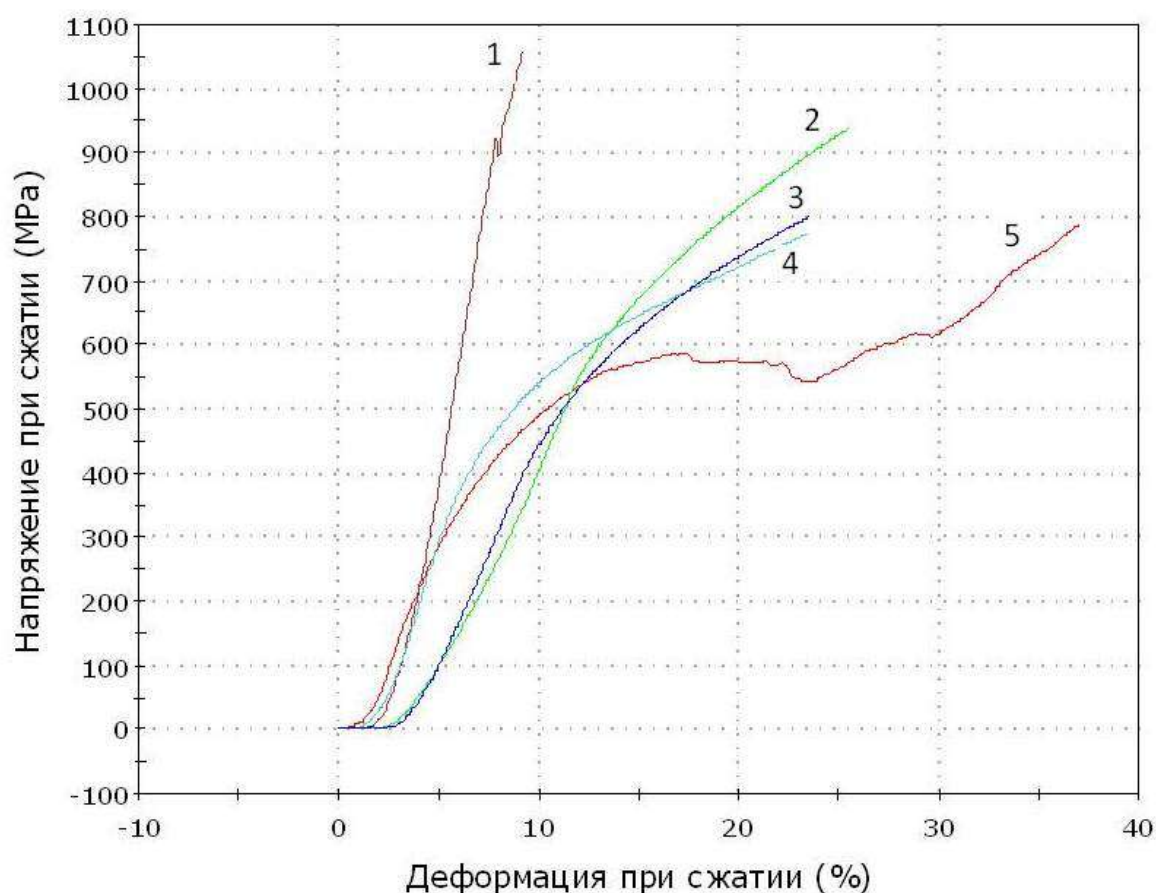


Рис. 2 – Результаты прочностных испытаний на сжатие образцов ЛКМ: 1 – слоистый ЛКМ; 2 – ЛКМ на основе бронзы БрКМц3-1 армированной чугунными гранулами 0,5 мм; 3 – такой же ЛКМ с гранулами 0,5 – 1,0 мм; 4 – такой же ЛКМ с гранулами 1,0 мм; 5 – ЛКМ типа INSITU системы Cu-Ti-C.

Как видно из характера разрушения и деформации испытуемых образцов, а так же их внешнего вида после приложения усилий, видно что образцы армированные гранулами показали сходные свойства в не зависимости от размера гранул. Кроме этого образцы могли пластически

деформироваться, что может быть полезно при использовании в узлах имеющих знакопеременные нагрузки.

Образцы армированные лазерной наплавкой в сочетании с металлическими пластинами показали наиболее высокие прочностные параметры, нагрузка разрушения составила около 900 МПа. Однако далее происходят критические изменения в геометрии образца.

ЛКМ типа INSITU системы Cu-Ti-C показали себя наиболее нестабильными. При нагрузке около 600 МПа испытываемые образцы раскалывались образуя хрупкий излом.

Выводы. Использование исследованных ЛКМ в узлах трения тихоходной сельскохозяйственной техники представляется возможным, в особенности для материалов армированных гранулами. Кроме того авторы считают, что использование ЛКМ типа INSITU системы Cu-Ti-C не желательно, так как данный материал при наличии ударных нагрузок может расколоться в узле трения, что может не только вывести его из строя но и привести к разрушению контр тела, например вала, что может повлечь за собой дорогостоящий ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцева Л.А. Жидкофазная технология изготовления композиционных материалов (Жидкофазные технологии получения композиционных материалов) / Л.А. Мальцева, В.А. Шарапова. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. - 120 с.

2. Теория и практика литых композиционных материалов (Теория и практика литых композиционных материалов): Тез. докл. Наука. Конф. - Владимир : Изд-во. V1SU, 2019. - 140 с.

УДК 621.74

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Калиниченко

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Современное развитие науки и техники требует постоянного создания и применения новых материалов на основе инновационных решений с уникальными свойствами, которые отсутствуют у традиционных металлов и сплавов, для получения деталей, механизмов и машин с повышенными эксплуатационными характеристиками. В технике и быту используются естественные (природные) и искусственные (синтезированные) композиционные материалы (КМ) – композиты.

Под композитами, как правило, понимают искусственно созданные материалы, состоящие из двух или более различных по составу и структуре компонентов, разделенных границей. Такое сочетание компонентов способствует получению новых свойств материала.

Композиты являются перспективными материалами, поскольку из них можно получать изделия с прогнозируемыми, регулируемыми в зависимости от условий эксплуатации свойствами. Они эффективно заменяют остродефицитные металлы и сплавы, производство из них деталей вполне технологично и практически безотходно, обеспечивается обширной сырьевой базой. Литые композиционные материалы (ЛКМ) получают различными способами жидкофазного совмещения, когда отдельные армирующие элементы композита соединяют с матрицей, с использованием расплавленного жидкого металла, которые после затвердевания образуют единое целое. Следует отметить эффективность и доступность литейных технологий, которые позволяют наиболее простым путем получать изделия сложной конфигурации практически неограниченных размеров с минимальными припусками на последующую обработку (либо вообще без неё).

Технологическая схема получения композиционных материалов различными методами литья включает следующие операции: 1. подготовка компонентов (калибровка, подготовка поверхности армирующих элементов); 2. подготовка матричного сплава; 3. размещение армирующих элементов в форме; 4. нагрев формы; 5. заливка металлическим сплавом, пропитка; 6. выдержка в форме, охлаждение и выемка из формы; 7. механическая и термическая обработка композиционных изделий.

Структура ЛКМ формируется под комплексным влиянием трех групп факторов: физико-химических (свойства армирующих элементов и

матрицы, характер их взаимодействия, условия кристаллизации и затвердевания), конструктивных (параметры армирования, геометрические размеры литых заготовок), технологических (подготовка компонентов, способ литья, метод приготовления расплава, последующая обработка заготовки).

Требования к армирующим элементам и матрицам ЛКМ с повышенными триботехническими характеристиками можно изложить в самом общем виде и конкретизировать их в каждом случае. Возможность изменять в широком диапазоне свойства армирующих элементов и матриц при периодическом повторении армирующих гранул, связанных с матрицей, позволяет создавать композиционный материал с заданным комплексом свойств – повышенными триботехническими характеристиками, в котором полностью реализуется принцип Шарпи [1].

Перспективность использования КМ в различных отраслях техники определяется широким спектром самых различных свойств. Высокая прочность и удельная жесткость, малая чувствительность к концентраторам напряжений и повышенное сопротивление усталостному разрушению, износостойкость и жаропрочность, а также антифрикционные, теплозащитные, эрозионностойкие и другие свойства – далеко не полный перечень их важнейших характеристик. Заданный уровень комплекса механических, физических и других свойств формируется в процессе получения – конструирования материала непосредственно из компонентов.

Предварительные расчетные оценки эффективности применения КМ на основании свойств компонентов по правилу аддитивности, показывают возможности повышения прочности в 1,5 - 2 раза, жесткости и сопротивления усталости в 2,5 - 3 раза и т.д. Перспективным является применение металлических композиционных материалов в ракетно- и авиастроении, в частности при создании тяжелых транспортных и сверхзвуковых пассажирских самолетов [2]. Наиболее рационально в этом случае применение титановых и алюминиевых сплавов, армированных волокнами бора или титановых сплавов, армированных волокнами из боралюминия, соединяемых пайкой. Боралюминиевые композиционные материалы могут применяться на космических летательных аппаратах, в узлах конструкций, подвергающихся нагреву от реактивной струи двигателя, в герметических кабинах экипажа.

Литые композиционные материалы также используются в машиностроении, судостроении, автомобилестроении. Целесообразность их применения связана со значительным уменьшением массы конструкций при сохранении или даже повышении прочностных характеристик (например, для облегчения кузовов, коробок передач, поршней цилиндров, передаточных механизмов, рессор и т.д.) [3].

Для изготовления подшипников, работающих без смазки, успешно опробовали антифрикционный композиционный материал на основе свинца, армированный 20% проволоки из нержавеющей стали или оловянистой бронзы. В космических условиях, где применение обычной смазки в узлах трения невозможно, можно также применять ЛКМ с нитевидными кристаллами Al_2O_3 [4].

При эксплуатации машин и оборудования, в частности сельскохозяйственной техники, важную роль играет снижение расходов на техническое обслуживание, плановые и текущие ремонты. В узлах трения данный аспект может быть решен с помощью выхода эксплуатационных свойств используемых материалов в режим «безизносного трения». Для повышения надежности, в том числе износостойкости, целесообразно использование новых перспективных материалов, включая композиционные. Литые композиционные материалы на основе медных сплавов и чугунных гранул или алюминиево-медные композиции максимально приближены к указанному принципу. За счет введения в металлическую матрицу высокопрочных и высокомодульных гранул удается резко повысить прочность, вязкость, жесткость материалов. Сочетание матрицы и гранул, обладающих специальными физическими свойствами, открывает широкие возможности для создания новых композиционных материалов и позволяет эксплуатировать сельскохозяйственные машины в тяжелых условиях, включая режимы сухого трения. При изготовлении деталей узлов трения из литых КМ на основе гранул чугунов марки ДЛЧ с матрицей из бронзы БрКЗМц1 установлено образование массивной прослойки интерметаллида (200-500мкм). С его появлением можно связать высокую износостойкость этих КМ по сравнению с другими материалами подобного типа. Они уже применяются для тяжело нагруженных пар трения, в различных областях промышленности.

Из разработанных материалов могут изготавливаться детали практически любой геометрической формы и размеров, включая биметаллические заготовки, например, направляющие различного назначения, шестерни, подшипники скольжения, втулки и т.п., предназначенные для использования в узлах трения сельскохозяйственных машин. На рисунке 1 представлены полученные изделия из литых композиционных материалов на основе бронз. Благодаря особенностям и высоким механическим свойствам (общий износ пары трения – не более 0,1 мм/ км пути; коэффициент трения со смазкой – 0,04-0,06; удельное давление – до 10 МПа; электрохимическая стойкость при работе с ответной парой трения) данный тип материалов может эксплуатироваться в ряде агрессивных сред с высокой запылённостью, повышенной температурой или влажностью и др., где использование аналогичных

материалов не представляется возможным. Температура эксплуатации деталей до 500⁰С.

Разработанные композиционные материалы использованы для изготовления подшипников скольжения, используемых в элементах подвески тракторных прицепов. Шестерни из композиционного материала применены в качестве червячных пар на Борисовском заводе «Автогидроусилитель» и других предприятиях Республики Беларусь.



Рис. 1 - Образцы изделий из литых композиционных материалов: а) – втулка с волокнисто - гранульным армированием; б) – биметаллическая втулка элемента подвески прицепа; в) – композиционная втулка механизма дверей

Разнообразие армирующих элементов и матриц, способов получения ЛКМ обеспечивают получение изделий с различными и высокими эксплуатационными свойствами, например, конструкционных, износостойких, жаропрочных материалов. В сельхозмашиностроении из КМ изготавливают детали тракторов, режущие части плугов, дисковых косилок и т.д. что позволяет увеличить срок службы сельскохозяйственной техники. Целесообразность их применения заключается в снижении массы, повышении прочности деталей, увеличении проходимости и грузоподъёмности машин, уменьшении расхода горючего и расхода резины, тем самым увеличения срока эксплуатации

Отдельное место занимают композиционные материалы на основе алюминия, применяемые не только в узлах трения, но и в качестве конструкционных деталей. Повышение износостойкости и других эксплуатационных характеристик деталей цилиндра - поршневой группы двигателей внутреннего сгорания достигается армированием алюминиевых сплавов дискретными волокнами и нульмерными частицами, а также использованием пористых каркасов из оксидной керамики. Для их получения наиболее эффективны методы литья с импеллером, под давлением, вакуумная пропитка, которые обеспечивают введение заданного количества армирующей фазы до 25% (TiC, WB. ZO₂, SiC, Al₂O₃, SiO₂). При этом повышаются механические свойства алюминиевых сплавов, износостойкость, качество литой поверхности.

Литые алюминиево-медные композиционные материалы с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами целесообразно использовать для производства высокоэффективных конструктивных узлов сельскохозяйственной техники из-за более низкой стоимости (25 - 40%) по сравнению с аналогами, получаемыми методами порошковой металлургии. Необходимо иметь в виду, что ЛКМ, также как и традиционные сплавы, не являются универсальными. Использование их по назначению в той или иной конструкции рационально только в том случае, когда это является технически обоснованным и экономически целесообразным [5].

Вывод. Качество получаемых ЛКМ определяется правильным выбором состава матрицы и упрочняющей (армирующей) фазы применительно к условиям работы деталей, тщательной подготовкой используемых материалов. Литые композиционные материалы достаточно широко используются в различных областях техники и народного хозяйства. Однако эффективным их применение оказывается только при выполнении следующих условий:

1. специальное конструирование деталей и узлов конструкций с учетом особенностей свойств этих материалов;
2. осуществление контроля технологического процесса и качества исходных материалов и изделий на основных этапах их изготовления для обеспечения надежности материалов при длительной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов и [др.] под общ. ред. Арзамасова Б.Н. – изд. 8-е, М.: из-во МГТУ, 2008 - 648с
2. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 118 с.
3. Песковский С.М., Кезик В.Я., Затуловский С.С. и др. Восстановление деталей нефтяных насосов с применением литых композиционных материалов // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1990. - № 8. – С. 15-19.
4. Композиционные материалы в машиностроении / Ю.Л. Пилиновский, Т.В. Грузина, А.Б. Сапожников и др. – К.: Тэхника, 1990. – 141 с.
5. Калиниченко В.А., Андрушевич А.А., Парфенов А.И. Прикладные исследования: литые композиционные материалы для техники агропромышленного комплекса. Сборник научных трудов по материалам VII Международной научно-практической конференции «Модернизация аграрного образования» 14 декабря 2021 г., г.Томск. С. 846 –84

УДК 501.22:621.763

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Залогом качества получаемых изделий является качество используемых в нем материалов. Для оценки качества применяются различные металлографические методы, в том числе и методы микроскопического анализа. Предпосылкой для всех металлографических исследований является изготовление образцов (шлифов), которые могут быть использованы для микроскопического исследования с помощью светового и электронного микроскопов, для определения микротвердости, а также количественного измерения структурных составляющих и электронно-зондового микроанализа. Изготовление шлифа начинается с разреза заготовок. Материал может быть разрезан на секции (срезы). Срез должен иметь ровную, минимально деформированную поверхность, что бы облегчить и ускорить дальнейшую подготовку.



Рис. 1 – Отрезной станок Streuers Labotom-3

Наиболее подходящий метод – абразивное мокрое отрезание, которое обеспечивает минимум повреждений, например с помощью отрезного станка Streuers Labotom-3 (рис. 1). При абразивном мокром отрезании используются отрезные круги, состоящие из абразива и связующей составляющей. Охлаждающая жидкость омывает круг во избежание повреждения образца из-за перегрева и смывает отходы с отрезаемой поверхности. Для отрезания черных металлов обычно используется оксид алюминия (Al_2O_3) в бакелитовой основе. Нитрид бора (BN) используется для более твердых черных металлов. Цветные металлы режутся карбидом кремния в бакелитовой основе. После отрезки образцы

прессуют в смолу или пластмассу для облегчения последующей шлифовки и полировки (рис. 2).

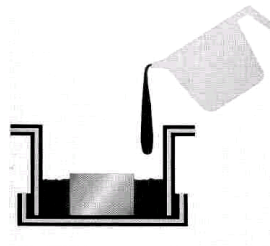


Рис. 2 – Запрессованный образец Рис. 3 – Схема холодной запрессовки

Существует два способа запрессовки, горячая и холодная запрессовка, которые служат для разных задач и используют различные смолы. Для горячего способа запрессовки используют термоактивные и термопластичные смолы, а для холодного – эпоксидные, акриловые, полиэфирные смолы. В методике был использован холодный метод прессования (рис. 3).

Подготовленные образцы шлифуют и полируют, например с помощью автоматического оборудования «Laborol 1» (рис. 4), для снятия повреждений или деформации с поверхности материала. Шлифование подразделяется на две стадии: выравнивание поверхности и тонкое шлифование и полировка.



Рис. 4 – Шлифовально-полировальный станок «Laborol 1»

Полирование подразделяется на две стадии. Алмазное полирование для более быстрого удаления материала и получения наилучшей плоскостности. Полирование производится с помощью полировальных сукон. Для алмазного полирования используется лубрикант (смазка между поверхностью образца и диска). Выбор сукна, размер зерна и лубриканта зависит от полируемого материала. Сначала используют сукно с низкой упругостью и лубрикантом с низкой вязкостью. Для конечного полирования используется сукно с более высокой упругостью и лубрикант с высокой вязкостью. Оксидное полирование используется для некоторых материалов, особенно мягких и пластичных например алюминия и меди. Коллоидальная двуокись кремния с размером зерна 0,04 мкм и РН 9,9 показывает отличные результаты. Комбинация химической активности и легкого абразива приводит к получению поверхности, абсолютно лишенной царапин и деформаций.

УДК 501.22:621.763

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЛИВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВТУЛОК

С.А. Мацинов

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Современные литейные технологии уже сейчас позволяют изготавливать отливки высокого качества весьма сложной конфигурации, практически не требующие дополнительной обработки. Однако затраты на их изготовление остаются еще высокими.

Компьютерное моделирование и оптимизация технологий, в том числе, и литейных технологий, является важным направлением развития программных продуктов компьютерного инженерного анализа – CAE – Computer Aided Engineering. Специализированное программное обеспечение ориентировано на эффективную работу инженера-технолога и позволяет имитировать технологические процессы виртуально.

С помощью пакета «КОМПАС-3D» произвели построение 3D-моделей. Для этого использовали такие элементы построения как: элемент вращения, на примере композиционной втулки, элемент выдавливания, скругление. 3D-модели представлены на рис.1.

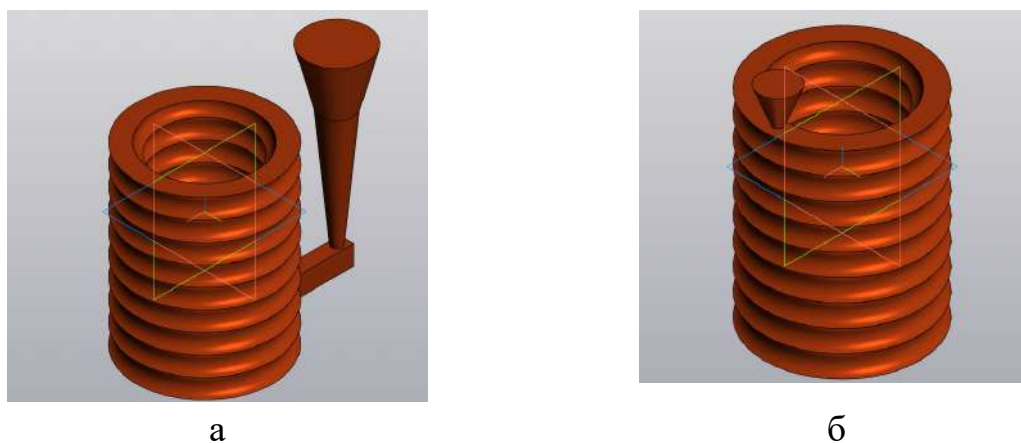


Рис. 1 – 3D модели с заливкой снизу (а) и сверху (б)

Для моделирования процесса заливки и затвердевания отливки была выбрана программа «LVMFlow». Она является простой в использовании, не требует больших усилий и трудоемких расчетов.

Система автоматизированного моделирования литейных процессов «LVMFlow» предназначена для решения задач литейного производства. «LVMFlow» позволяет проследить: заполнение формы металлом, расчет температурных полей, расчет поля жидкой фазы, расчет поля скоростей, расчет конвективных потоков, расчет поля давлений, расчет сегрегации

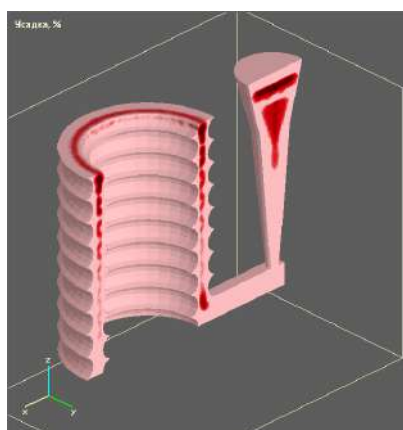
(химическую неоднородность), расчет дефектов и др. «LVMFlow» может быть использован для моделирования практически любого способа литья.



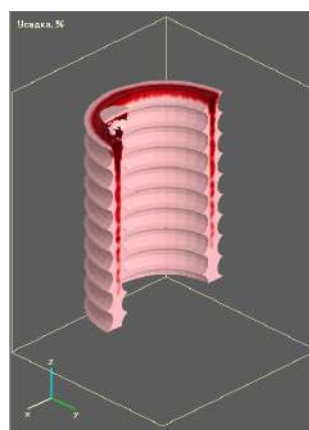
Рис. 2 – Окно программы «LVMFlow»

Начало работы в программе начинается с импортирования моделей в окно программы «Import 3D files». После импортирования сборки идет моделирование размеров бокса в окне «Simulation Setup» программы «LVMFlow». Генерацию конечно-элементной сетки проводим в окне «Simulation Setup» программы «LVMFlow».

Как уже было ранее сказано, программа «LVMFlow» позволяет смоделировать и оценить все необходимые процессы. В них входят: назначение материала отливки и материала формы; процесс заливки непосредственно, затвердевание и расчет его времени и наконец расчет усадки и температурных полей.



а



б

Рис. 3 – Усадка при заливке снизу (а) и сверху (б)

Вывод: при моделировании заливки втулки из композиционного материала была показана перспективность заливки сверху, уменьшает количество тепловых узлов понизу отливки и не требует дополнительной литниковой системы.

УДК 621.753

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Г.С. Кульгейко, Е.М. Голубчикова, А.Д. Дещеня
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Шероховатость поверхности в сочетании с физико-механическими и электрохимическими свойствами поверхностного слоя определяет эксплуатационное состояние поверхности. Микрогеометрия поверхностного слоя совместно с точностью формы является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности, оказывающих определяющее влияние на работоспособность подвижных соединений деталей машин. В подвижных соединениях деталей шероховатость в значительной степени влияет на трение и износ сопрягаемых поверхностей [1].

При недостаточно гладких трущихся поверхностях, то есть при большой шероховатости, соприкосновения между ними происходят в отдельных точках, что значительно увеличивает удельное давление. Вследствие этого смазка выдавливается из зоны контакта, нарушается непрерывность масляной пленки и создаются условия для полусухого и даже сухого трения. А в условиях работы современных быстроходных и точных сопряжений деталей машин особенно важно обеспечить при малых зазорах жидкостное трение при тонких масляных пленках.

Слишком высокие требования к шероховатости поверхности, то есть чрезмерное уменьшение параметров микронеровностей, кроме значительного увеличения затрат на обработку, могут привести к ухудшению эксплуатационных показателей работы сопряжения. Так, например, в узлах скольжения при слишком гладких сопрягаемых поверхностях может возникнуть явление “схватывания”, при котором частицы металла отрываются от трущихся поверхностей, попадают в контактную зону и ускоряют износ.

В процессе эксплуатации состояние поверхностного слоя непрерывно меняется, что проявляется в изменении физико-механических свойств и микрогеометрии поверхности, её шероховатости. В начальный период контакт поверхностей в паре трения происходит по вершинам неровностей. В местах контакта происходит интенсивное начальное изнашивание и в зависимости от условий трения происходит как уменьшение, так и увеличение шероховатости сопрягаемых поверхностей. Формируется некоторая оптимальная для конкретной пары трения

шероховатость. Параметры такой эквивалентной шероховатости образуются на основании параметров шероховатости обеих поверхностей [1,2].

Один из элементов пары трения обычно по своим физико-механическим свойствам отличается от другого, их рабочие поверхности могут быть получены с применением различных методов механической и термической обработки. А так как поверхности имеют различные характеристики, то при контакте микронеровности более жесткого элемента будут внедряться в поверхность менее жесткого, интенсивность изнашивания менее жесткого элемента зависит от многих факторов, в том числе существенно от шероховатости поверхности более жесткого элемента.

И если в начальный период приработки наблюдаются пластические деформации, то постепенно пластические деформации трансформируются в упругие. В результате заданная технологическая шероховатость преобразуется в установившуюся эксплуатационную шероховатость поверхностей, то есть формируется новая микрогеометрия трущихся деталей сопряжения. При одинаковых условиях изнашивания (материалы, режимы работы, смазка и т.п.) после приработки устанавливается примерно одинаковая, оптимальная с точки зрения износа, шероховатость, не зависящая от первоначально полученной при механической обработке.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделия. Выбор числовых значений параметров шероховатости производится в соответствии с условиями работы соединения и требованиями к его эксплуатации. При этом учитывается также возможность технологического обеспечения заданной шероховатости рациональными методами обработки.

В настоящее время применяются следующие основные способы регламентации первоначального качества поверхности:

1. По прототипу (метод прецедентов).

Основан на поиске однотипного решения, подобного проектируемому, в таких же сборочных единицах или других узлах и машинах ранее разработанных и эксплуатируемых в сходных условиях. Назначают значения параметров такие же или близкие к известным, обеспечивающим требуемую работоспособность и долговечность деталей сопряжения.

2. Метод подобия (аналогов).

Является развитием метода прецедентов и основан на классификации деталей машин по конструктивным и эксплуатационным признакам. Выбор значений параметров осуществляется на выявлении аналогий проектируемой сборочной единицы по конструкции и условиям

эксплуатации с признаками подобных решений, представленных в справочной и другой технической литературе.

Общим недостатком этих двух методов является сложность выявления аналогии признаков при недостатке практического опыта разработчика и отсутствии точного технического решения.

3. Расчетный метод.

Методика расчетов базируется на учете условий функционирования сборочной единицы и эксплуатационных требованиях к ней. Например, для подвижных соединений расчеты могут быть выполнены на основе теории трения. По полученным значениям расчетных параметров выбираются стандартные значения, наиболее близкие к расчетным, а средние к оптимальным. Метод является наиболее обоснованным, но и более сложным и трудоемким, требующим высокой квалификации разработчика.

4. Экспериментальный метод.

Осуществляется на основе экспериментальных исследований и опытных данных о работоспособности конкретного сопряжения в данных эксплуатационных условиях. Метод трудоемкий и дорогостоящий. Как правило ему предшествуют предварительные расчеты или выбор значений параметров на основе других известных методов.

5. Комбинированный метод.

Предполагает применение нескольких способов. Например, ориентируясь на общие рекомендации (анalogии) выбор значений параметров дополняют уточняющими расчетами, часто эмпирического характера.

Применительно к шероховатости поверхности в основном используются следующие методы определения параметров Ra или Rz :

1. Для наиболее характерных видов сопряжений имеются общетехнические и отраслевые рекомендации по выбору числовых значений параметров шероховатости.

2. На поверхности некоторых стандартизированных и нормализованных деталей и поверхности, с которыми они соприкасаются, параметры шероховатости определены стандартами.

3. При отсутствии конкретных указаний по назначению шероховатости, ограничение параметров микронеровностей могут быть связаны с допусками размеров, формы или расположения этих поверхностей. Такие рекомендации изложены во многих общетехнических и отраслевых изданиях (справочниках, руководящих материалах, методических пособиях и т.п., например, в [3,4]).

В общем, требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделия. Выбор числовых значений параметров шероховатости производится в соответствии с условиями

работы соединения и требованиями к его эксплуатации. При этом учитывается также возможность технологического обеспечения заданной шероховатости рациональными методами обработки. Оптимальная исходная шероховатость таких поверхностей должна быть близкой к получающейся в процессе приработки [1].

Определенные ограничения параметров шероховатости связаны с точностью размеров и формы поверхности. И хотя однозначной зависимости между этими параметрами нет, однако для деталей сопряжений в зависимости от точности (допуска) размера и формы поверхности устанавливаются минимальные требования к шероховатости в виде максимального значения высотного параметра шероховатости [3].

При изготовлении высокоточных деталей гидромашин и аппаратов накладываются жесткие ограничения на допуски формы цилиндрических поверхностей. В зависимости от соотношения между допуском формы и допуском диаметра применяют высокую (С) и особо высокую относительную геометрическую точность поверхности.

Высокая (С) геометрическая точность (допуск формы составляет 25% от допуска размера) назначается для поверхностей в подвижных соединениях при высоких скоростях и нагрузках, высоких требованиях к плавности хода, снижению трения, герметичности уплотнения.

Особо высокая (допуск формы составляет менее 25% от допуска размера) назначается на поверхности, к которым предъявляются особо высокие требования по обеспечению кинематической точности, плотности и герметичности при больших давлениях, минимального трения, бесшумности, максимальной долговечности при тяжелых режимах работы. А также на детали, сортируемые на размерные группы, при числе групп более пяти.

Для каждого уровня, относительной геометрической точности в зависимости от качества допуска диаметра, устанавливается степень точности формы [3]. Например, 1 – 2-я степень точности применяется для деталей особо точных плунжерных и золотниковых пар, 3 – 4-я степень точности назначается на плунжеры, золотники, поршни, втулки и другие детали гидравлической аппаратура, работающие при высоких давлениях без уплотнения, а 5 – 6-я степень точности рекомендуется для поршней, золотников, гильз, цилиндров и других деталей гидравлической и пневматической аппаратуры при средних и низких давлениях без уплотнений или высоких и средних давлениях с уплотнениями.

Для прецизионных деталей при допуске формы T_ϕ 25% от допуска размера T_p наибольшее допустимое значение параметра Ra , то есть верхний предел шероховатости ограничен

$$Ra \leq 0,012 T_p.$$

При допуске формы менее 25% от допуска размера рекомендуется, чтобы шероховатость

$$Ra \leq 0,15 T_{\phi}.$$

Исходя из выше приведенных рекомендаций на рисунке 1 представлены графические зависимости шероховатости цилиндрических поверхностей от допуска диаметра при особо высокой геометрической точности формы.

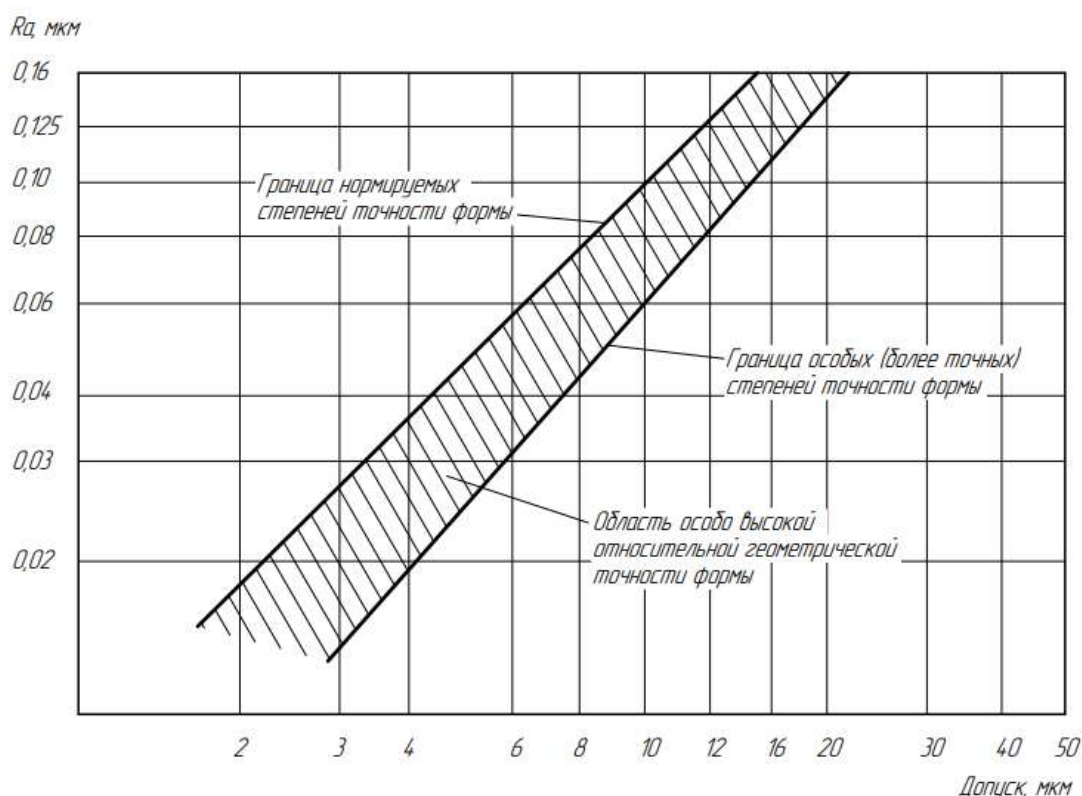


Рис. 1 – Зависимость шероховатости цилиндрических поверхностей от допуска диаметра

Верхняя граница определяет максимальные значения параметров шероховатости для нормируемых степеней точности формы, соответствующих стандартизированным взаимосвязям качеств диаметров и степеней точности. Нижняя граница соответствует параметрам шероховатости для прецизионных деталей при степенях точности, устанавливаемых в особых случаях и выбираемых более точными по сравнению с рекомендуемыми нормированными значениями.

Таким образом, представленные зависимости позволяют установить шероховатость поверхностей прецизионных деталей в зависимости от точности их диаметральных размеров сопрягаемых пар трения в гидромашинах и аппаратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Крагельский И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
3. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – СПб.: Политехника, 2011. – 530 с.
4. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник / Р.И.Гжиров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 464с.

УДК 65.011.56

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЕКТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ КОНСОРЦИУМА РАЗВИТИЕ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ИМПОРТНОГО ПО

Д.В. Дубовский¹, В.И. Пыжик²

¹ОДО «КЭЛС ЦЕНТР ПРО-Технолоджис»,

г. Минск, Республика Беларусь;

²ИООО «АСКОН-БЕЛ»

г. Минск, Республика Беларусь

Весной этого года, после принятия компанией РТС решения о приостановлении своей деятельности в Российской Федерации и Республике Беларусь, компания Pro|TECHNOLOGIES провела тщательный анализ отечественных CAD/PLM-решений, и выбрала в качестве нового ключевого партнера АСКОН, как разработчика лидирующей технологической платформы - единственной, построенной на собственном отечественном геометрическом ядре, что гарантирует импортонезависимость и высокую скорость разработки.

Ключевые вопросы, которые интересуют многие предприятия:

– Надо ли замещать западное инженерное ПО сейчас?

PLM для машиностроительных предприятий относится к элементам критически важной инфраструктуры, это хранение инженерных данных и конструкторско-технологической документации. И если сейчас ПО работает, это не гарантирует его стабильную работу в будущем. К примеру выход из строя сервера и закупка нового в текущих условиях представляет уже сложную задачу, но главное, это совместимость нового сервера с текущим ПО. Насколько стабильно без технической поддержки со стороны правообладателя PLM системы развернуть её на текущей ОС Windows?

– Есть ли возможности параллельного импорта? По законодательству РФ и РБ, понятия параллельного импорта не существует.

– Использование “трофейного” ПО. Взломанное ПО работает нестабильно и передает информацию своим правообладателям.

Подводя итог, можно сделать однозначный вывод о том, что данной проблематикой надо заниматься уже сейчас, ведь внедрение и переход за краткие сроки выполнить невозможно, и предприятие может оказаться без доступа к накопленным инженерным данным.

А есть ли на рынке достойные решения, которые позволят заместить импортные решения на отечественные? Да, есть. Вся классическая архитектура PLM решений вполне может быть закрыта ПО КОНСОРЦИУМА РАЗВИТИЕ.

На рисунке 1 приведена функциональная архитектура и соответствующее ПО.

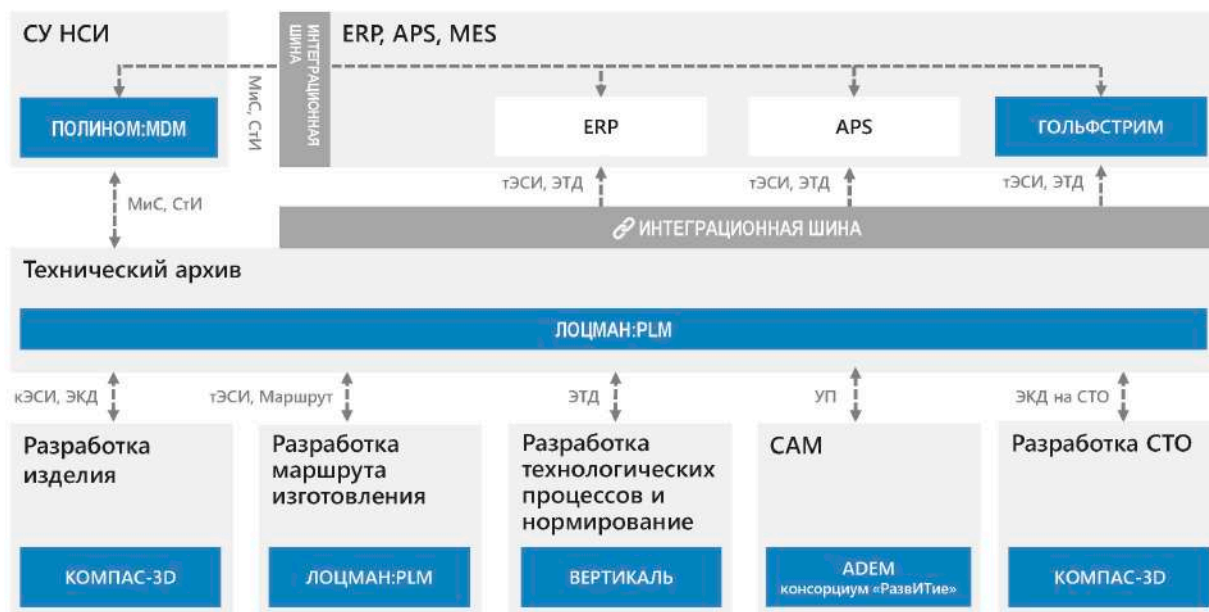


Рис. 1 – Функциональная архитектура и соответствующее ПО.

Не менее важен вопрос зрелости этих продуктов и зрелости предприятия. Тут можно отметить следующее - отечественное инженерное ПО действительно позволяет создавать цифровые продукты, но с другой стороны, подавляющее большинство отечественных предприятий с точки зрения цифровизации находятся на первом уровне зрелости или вообще на нулевом.

Это говорит о том, что проекты перехода на отечественный импортонезависимый софт стоит рассматривать не как переход с одного ПО на другое, а как проект дальнейшего развития предприятия в области цифровизации. Недостаточно поставить задачу по замене одного инструмента на другой, это будет означать вложение в “топтание на месте”. Здесь мы должны в первую очередь ставить перед собой цели по переходу предприятия на следующий уровень зрелости. То есть помимо замещения одного ПО на другое, необходимо ставить задачи развития.

На рисунке 2 представлена схема, характеризующая уровни зрелости компании в области цифровизации Индустрии 4.0 по методике зарубежной консалтинговой компании АКОТЕСН – одной из лидирующих консалтинговых компаний, специализирующейся в этом направлении



Рис.2 – Схема, характеризующая уровни зрелости компании в области цифровизации Индустрии 4.0.

Каким образом делать выбор между теми отечественными решениями, которые представлены на рынке? Несмотря на небольшой промежуток времени, в который мы работаем с ПО Аскон, нам удалось завершить несколько крупных проектов и накопить соответствующие знания, систематизируя которые, мы предлагаем следующий алгоритм:

Шаг номер один:

- Определение цели и постановка задачи в области развития и перехода на следующий уровень зрелости.

- Определение критериев выбора ПО. Они должны быть не только техническими, а в том числе охватывать такие области, как методическая обеспеченность и реальная импортонезависимость, ведь далеко не все отечественные продукты, если рассматривать в деталях архитектуру технологий, на которых построен инженерный софт, являются полностью импортонезависимыми.

- Оценка вендора и внедренца.

- Оценка бюджета, финансовой составляющей.

- Определение технических критериев. При их выработке надо определиться с реальными задачами, которые требуются предприятию. Исходя из практических задач и той продукции, которое предприятие выпускает.

Шаг номер два - организация проекта выбора:

- Формирование плана проекта (дорожной карты).

- Формирование организационной структуры проекта.

- Определение данных контрольных примеров.

Шаг номер три - инициация проекта:

- Определение кандидатов, из которых предприятие будет выбирать. На наш взгляд, оптимальным количеством будет 2, максимум 3 кандидата. Больше их количество, во-первых, потребует больше трудозатрат, а во-вторых, если мы говорим про комплексное PLM-решение, то на рынке РБ и РФ таких компаний всего несколько.

- Проведение переговоров с кандидатами и инициация проекта.

Формирование организационной структуры управления. Мы рекомендуем подход, аналогичный подходу при организации проекта полномасштабного внедрения, а именно выделение трех уровней управления: управляющий комитет, рабочая группа и группа экспертов. И далее объединение в одной организационной структуре как сотрудников предприятия, так и сотрудников компании-поставщика решений. При этом технико-коммерческое предложение поставщика должно включать не только финансовую оценку, но также остальные критерии выбора.

На рисунке 3 обозначены основные шаги алгоритма организации работ и ключевые вехи такого проекта.

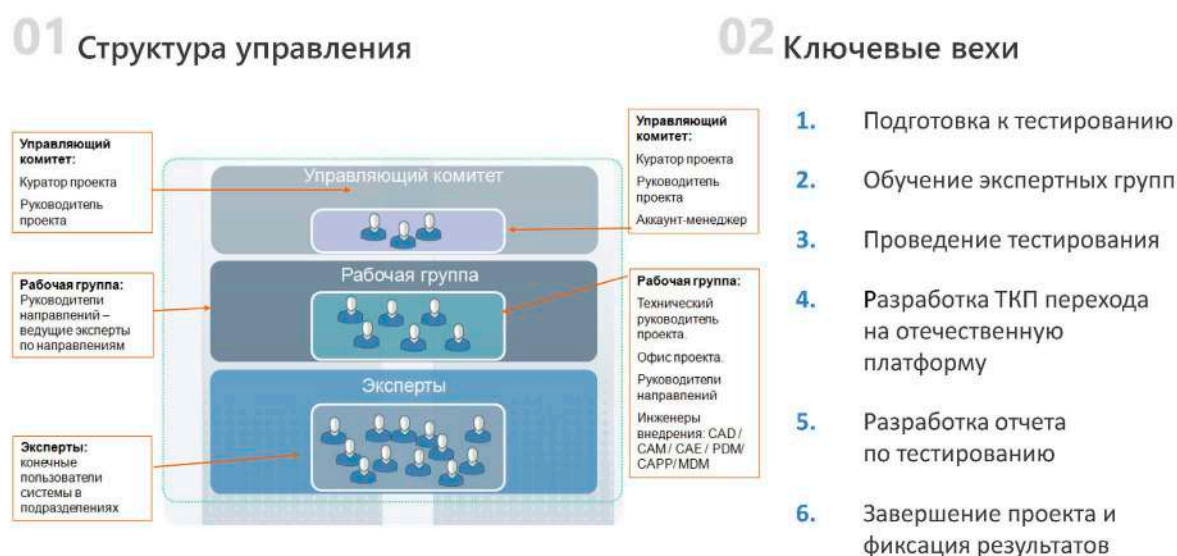


Рис. 3 – Основные шаги алгоритма организации работ и ключевые вехи такого проекта.

Учитывая наш опыт, один из достаточно больших проектов, который охватывал несколько тысяч рабочих мест на семи различных производственных площадках, при правильной организации работ занял два с половиной месяца.

Одним из ключевых моментов, который позволяет с одной стороны соблюсти сроки, и с другой тщательно оценить все критерии, на основании которых осуществляется выбор, это организация взаимодействия в рамках проекта, которая показана на рисунке 4.

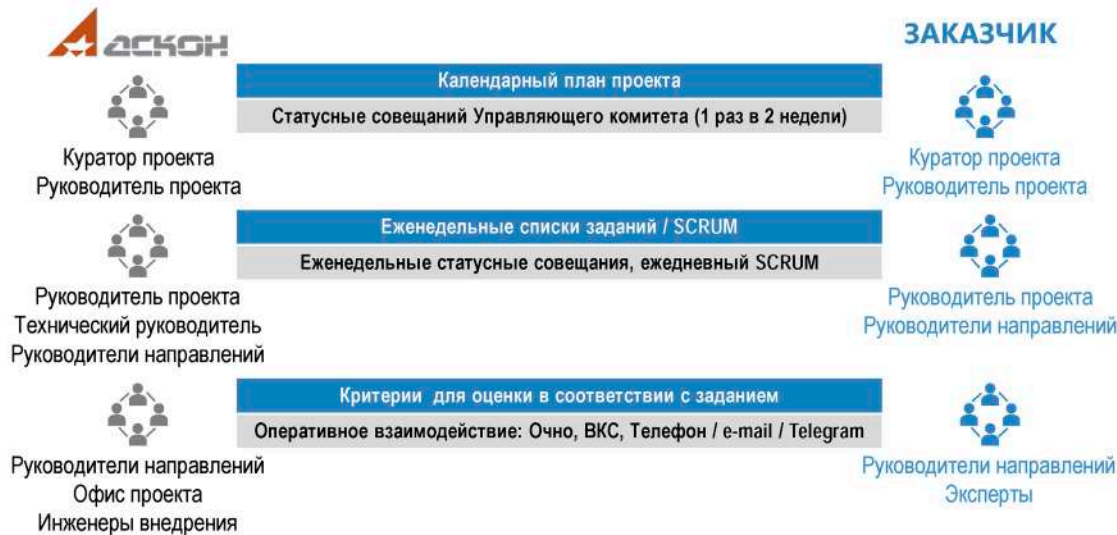


Рис. 4 – Организация взаимодействия в рамках проекта

На рисунке 5 представлен перечень процессов и лучших практик, которые в этих процессах применялись.

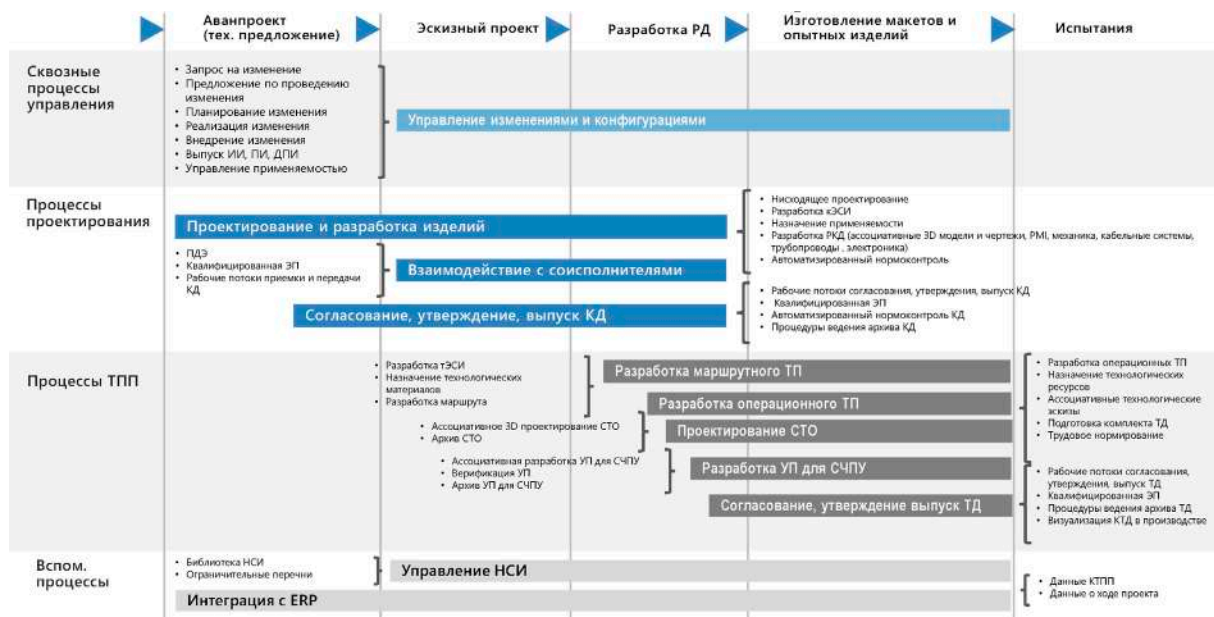


Рис. 5 – Перечень процессов и лучших практик, которые в этих процессах применялись.

Технических критериев может быть достаточно много. На рисунке 6 приведены примеры того, как они сформулированы, сколько их может быть. Главное, чтобы они были применимы для вашего предприятия. И самое главное, чтобы каждый из этих критериев подтверждался на базе контрольных примеров от вашего предприятия.

САПР	MDM + PDM + САПР ТП	CAM	Администрирование
- Создание эскизов - Создание 3D геометрии - PMI - Работа с большими сборками - Перевод в середину поля допуска - Проектирование детали типа «XYZ» - Разработка листовых деталей - Проектирование кабельных систем и систем трубопроводов ...	- Заполнение учетных карточек объектов - Согласование и утверждение документации - Функции технического архива - Формирование ИИ / ПИ / ДПИ - Создание маршрутов - Разработка единичных ТП, ГТП / ТТП - Формирование карт эскизов ...	- Токарная обработка - Фрезерная обработка - Токарно-фрезерная обработка - Электроэрозионная обработка - Пяти-осевая обработка - Обработка отверстий и бобышек - Настройка вспомогательных перемещений инструмента - Настройка припусков ...	- Настройка модели данных - Настройка рабочих потоков - Настройка ролевой модели - Шаблоны документов - Политики автоматического уведомления - Генерация отчетов - Конфигурирование кластерной архитектуры - Обмен данными между независимыми сайтами ...
Всего 40 – 50 критериев	Всего 30 – 40 критериев	Всего 90 – 100 критериев	Всего 10 – 30 критериев

Рис. 6 – Примеры технических критериев.

По итогу предприятию необходимо определиться с направлениями импортозамещения и целями развития, выбором наиболее важных функциональных задач и ответственных руководителей. При этом замена одного софта на другой не должна быть единственной целью, необходимо ставить в том числе и цели развития охватываемых процессов, внедрение новых практик, новых методик в деятельность инженерных служб.

УДК 631.372

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ВЕТВЯХ ГУСЕНИЧНОГО ОБВОДА КОМБАЙНА С РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЕЙ

С.И. Кирилук, С.А. Шишков

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

Анализ конструкций зерноуборочных комбайнов с гусеничным и полугусеничным шасси таких как VECTOR 450 Track, Fendt IDEAL TrakRide, CLAAS LEXION 760/770 TERRA TRAC, GS812S “Амур-Полесье”, John Deere S680i и сменного модуля гусеничного хода GX2-1840 для зерноуборочных комбайнов производства ОАО “Гомсельмаш” и ОАО “Ростсельмаш” можно сделать заключение, что комбайны с полугусеничной компоновкой комбайны Fendt IDEAL TrakRide, CLAAS LEXION 760/770 TERRA TRAC и John Deere S680i показывают хорошую проходимость на увлажнённых почвах и почвах с низкой несущей способностью. Гусеничные движители этих машин имеют большую опорную поверхность, но не максимально возможную, также они имеют сложную систему подвески гусеничного движителя.

Гусеничный движитель для зерноуборочного комбайна КЗС-10 (рис. 1). С целью повышения проходимости комбайна КЗС-10 на почвах с низкой несущей способностью на шасси была установлена тележка гусеничного типа. Данная конструкция максимально уменьшает удельное давление на почву, что увеличит проходимость машины на почвах с низкой несущей способностью и позволит её использование на переувлажнённых и болотистых почвах, а также использование машины на уборке рисовых культур.

Гусеничный движитель представляет собой механизм для передвижения посредством двух замкнутых, параллельно вращающихся резиноармированных лент, называемых гусеницами. Гусеничная лента, замкнутая по контуру образованному ведущим колесом, поддерживающими и опорными катками и каретками, направляющим колесо. При трогании на величину усилий в ветвях оказывает влияние только усилие на ведущем колесе ($F_{вк}$, Н): $F_{вк} = \frac{M_{вк}}{r_{вк}}$, где $M_{вк}$ – момент на ведущем колесе, Н·м; $r_{вк}$ – радиус ведущего колеса, м.

При движении трактора в тяговом режиме происходит перематывание резиноармированной гусеницы относительно остова, и общее натяжение в гусеничном обводе увеличивается за счет

возникновения центробежных сил (F_y , Н) [1]: $F_y = \frac{qv^2}{g}$, где q – вес единицы длины гусеницы, Н/м; V – теоретическая скорость движения трактора, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с². Установим взаимосвязь между скоростью движения трактора, предварительным статическим натяжением F_n и статическим натяжением резиноармированной гусеницы в движении (F_c , Н).

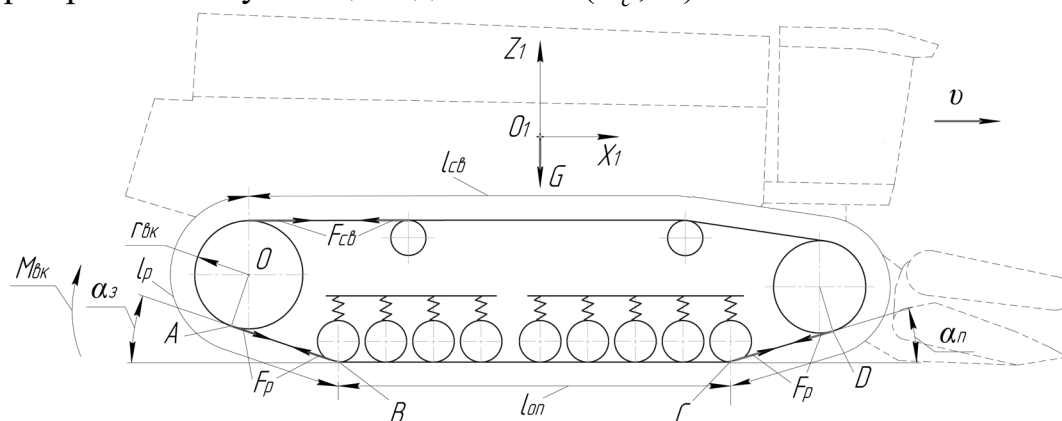


Рис. 1 – Схема гусеничного обвода.

При отсутствии силы тяги общее натяжение в свободной ветви $F_{св}$ в состоянии покоя определяется зависимостью: $F_{св} = F_n$, (1) натяжение в свободной ветви в движении при отсутствии силы тяги ($F_{св}$, Н) [1, с. 34]: $F_{св} = F_{св} + F_y$, (2). Приращение растягивающих усилий в свободной ветви гусеницы ($\Delta F_{св}$, Н) определим, как разность усилий в свободной ветви в движении $F_{св}$ (2) и в состоянии покоя $F_{св}$ (1): $\Delta F_{св} = F_{св} + F_y - F_{св}$. (3).

С достаточным приближением резиноармированная гусеница может быть заменена лентой, с равномерно распределенной по ее длине удельной массой. Подобное допущение позволяет использовать для анализа методы механики материалов и получить точные аналитические зависимости. Тогда жесткость гусеницы при растяжении EA для ветвей, находящихся под натяжением, примет вид [2]: $EA = \frac{FL_n}{\Delta L}$, (4), где F – растягивающее усилие в гусенице, Н; L_n – номинальная длина ветви при отсутствии растягивающей нагрузки, м; ΔL – удлинение ветви по сравнению с ее первоначальным состоянием, м.

С достаточной степенью точности при высоких натяжениях и малых стрелах прогиба гусеницы свободную ветвь гусеничного обвода трактора можно привести к пролету ветви длиной $l_{св}$. Тогда выражение (4) с учетом выражения (3) после преобразований примет вид: $\Delta S_{св} = \frac{l_{св}}{EA} (F_{св} + F_y - F_s)$,

(5) где ΔL_{cv} – удлинение свободной ветви по сравнению с ее первоначальным состоянием, м. С другой стороны, ΔL_{cv} можно определить, как разность длин свободной ветви при движении трактора ($L_{cv}, м$) со скоростью V , когда натяжение определяется выражением (2) и длиной свободной ветви в состоянии покоя ($L_{cv}, м$), когда натяжение определяется выражением (1): $\Delta L_{cv} = L_{cv} - L_{cv}$. (6) Длина свободной ветви в состоянии покоя S_{cv} согласно [1, с. 33] с учетом (1), определяется выражением: $L_{cv} = l_{cv} + \frac{q^3 l_{cv}}{24 F_c^2}$. (7)

Длина свободной ветви при движении трактора L_{cv} со скоростью V с учетом выражения (2) и при условии, что натяжение от центробежных сил будет равно нулю, т.к. оно не создает реакции на опорах, и, следовательно, не влияет на изменение геометрии обвода, определится выражением:

$$L_{cv} = l_{cv} + \frac{q^3 l_{cv}}{24 F_{cv}^2} \cdot (8)$$

Тогда формула (6) с учетом выражений (7) и (8) примет вид:

$$\Delta L_{cv} = \frac{q^3 l_{cv}}{24 F_{cv}^2} \left(\frac{1}{F_{cv}^2} + \frac{1}{F_c^2} \right) \cdot (9)$$

В случае абсолютно жесткой подвески выражение для определения статического натяжения в движении ($F_{cv}, Н$) гусеничного обвода (9) примет

$$\text{вид: } F_{cv} + F_{\psi} - F_c = \frac{EA q^3 l_{cv}}{24} \left(\frac{1}{F_{cv}^2} + \frac{1}{F_c^2} \right).$$

Для режима абсолютно жесткой подвески, преобразуя выражения (8) и (9), получим зависимости для определения усилий в свободной ($F_{cv}, Н$) и рабочей ($F_{pv}, Н$) ветвях обвода с резиноармированной гусеницей в движении [2]:

$$\text{– в свободной ветви в движении } F_{cv} = F_{cv} - F_{\psi} \left(\frac{1}{l_p + l_{cv}} \right) + F_{\psi}; (10)$$

– в рабочей ветви в движении при блокированной подвеске

$$F_{pv} = F_{cv} + F_{\psi}. (11)$$

Следует отметить, что полученные зависимости (10) и (11) аналогичны выражениям В.Ф. Платонова [1] для определения усилий в свободной и рабочей ветвях движителя с металлическими гусеницами без учета подвески.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусеничные транспортеры – тягачи / В.Ф. Платонов [и др.]; под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.
2. Жданович Ч.И., Плищ В.Н. Определение усилий в ветвях обвода трактора с резиноармированной гусеницей и упругой подвеской/Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ// Агропанорама: БГАТУ – 2021 – №6 – С. 2-7.

УДК 621.22-226

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОКЛАПАНОВ С ПНЕВМОУПРАВЛЕНИЕМ

Ю.И. Железнякова, Д.Л. Стасенко

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

В гидравлических системах мобильных и технологических машин для регулирования изменения скорости и направления потока рабочей жидкости применяют направляющие гидравлические клапаны. Динамические процессы в гидроприводе обуславливаются колебаниями давления и характером преодолеваемой нагрузки. Внутренние динамические процессы в самом гидроклапане, колебания элементов управления направляющей аппаратуры могут оказывать существенное влияние на его динамику и гидросистему в целом.

Целью исследования является определение особенностей проектирования гидроклапана с пневматическим управлением для исследования и оптимизации его частотных характеристик работы.

Объектом исследования является золотниковый направляющий гидроклапан со встроенным клапаном предохранительным MR100.T2. На рисунке 1 представлена конструкция модернизированного гидроклапана с принципиальной гидравлической схемой, где линия P – отверстие для подачи рабочей жидкости под давлением, A – отверстие для подключения к рабочему органу, T – линия слива рабочей жидкости в бак, a – линия для подачи сигнала управления, $KП$ – клапан предохранительный [1].

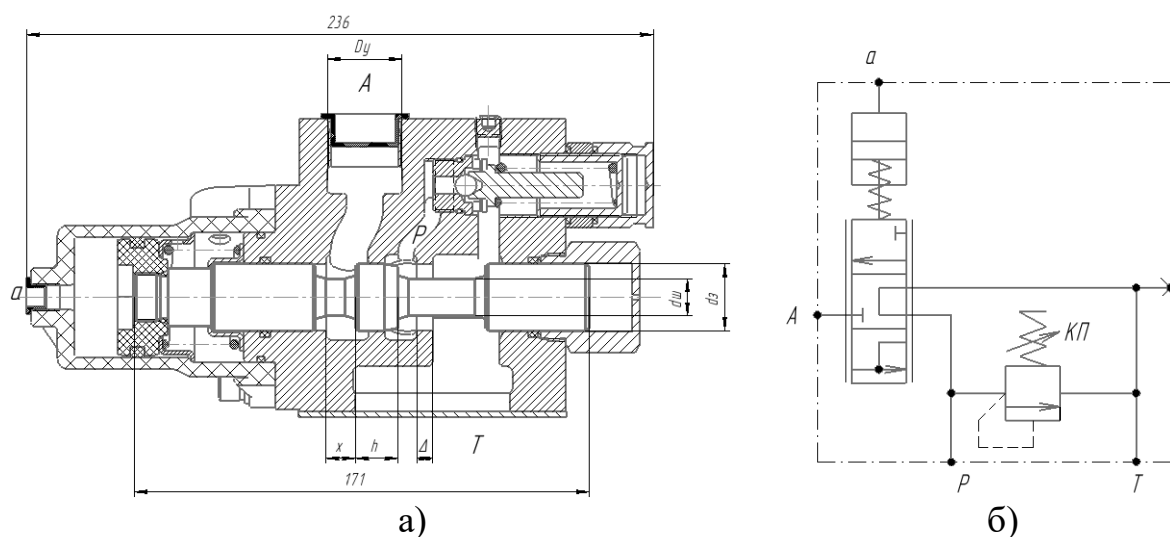


Рис. 1 – Гидроклапан MR100.T2: а) конструкция гидроклапана; б) схема гидравлическая принципиальная

При проектировании направляющих гидроклапанов определяются его конструктивные параметры (диаметры проходных каналов, диаметры пояска и шейки золотника, рабочий ход золотника и т.д.) [2], а также действующие на гидроклапан усилия.

Согласно гидравлической схеме и конструкции гидроклапана MR100.T2 (рис. 1) выполняется представление расчетной схемы запорно-регулирующего элемента, находящегося под действием сил нагружения (рис. 2).

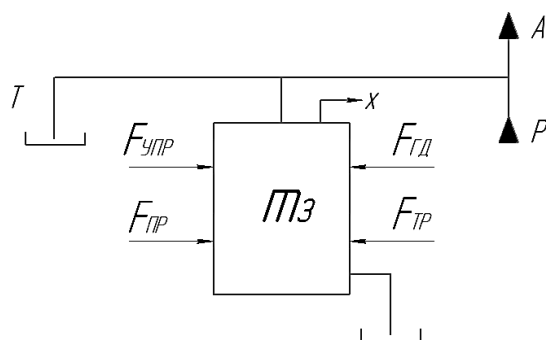


Рис. 2 – Расчетная схема золотника гидроклапана

Дифференциальное уравнение движения золотника отражает его равновесие под действием приложенных сил и определяется по выражению:

$$m_3 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{упр} + F_{пр} - F_{тр} - F_{гд}, \quad (1)$$

где m_3 – приведенная масса золотника.

x – перемещение золотника;

$F_{упр}$ – усилие управления;

$F_{пр}$ – сила сжатия пружины;

$F_{тр}$ – сила трения;

$F_{гд}$ – гидродинамическая осевая сила.

Сила трения определяется по выражению:

$$F_{тр} = F_{тр.п} + F_{в} = F_{тр.п} \cdot \text{sign} \frac{dx}{dt} + \nu \cdot \rho \cdot \frac{A_{\max}}{\varepsilon} \cdot \frac{dx}{dt},$$

где $F_{тр.п}$ – сила трения покоя;

$F_{в}$ – сила трения со смазочным материалом.

ν – кинематическая вязкость рабочей жидкости;

ρ – плотность рабочей жидкости;

v_3 – скорость движения золотника относительно гильзы (корпуса);

ε – зазор между золотником и корпусом гидроклапана.

Если пренебречь инерционностью жидкости внутри гидроклапана, гидродинамическую силу, действующую в каждом из окон гидроклапана и

стремящуюся вернуть золотник в нейтральное положение, можно определить по выражению:

$$F_{\text{гд}} = 2 \cdot \mu^2 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot x \cdot \cos \theta \cdot \Delta p,$$

где μ – коэффициент расхода жидкости;

θ – угол наклона вектора гидродинамической силы к оси золотника;

Δp – потери давления на входе и выходе гидроклапана.

Усилие пружин, обеспечивающих принудительное возвращение золотника в нейтральную позицию:

$$F_{\text{пр}} = c_{\text{пр}} \cdot (z + x),$$

где $c_{\text{пр}}$ – коэффициент жесткости пружин;

z – предварительный натяг пружины.

Основные исходные данные, принятые при расчетах: максимальный расход жидкости в гидроклапане $Q_{\text{max}} = 150$ л/мин; номинальное давление в системе $p_{\text{н}} = 16$ МПа; усилие управления $F_{\text{упр}} = p_{\text{у}} \cdot s_{\text{п}} = 180$ Н; давление управления $p_{\text{у}} = 0,5$ МПа; площадь поршня пневмоцилиндра $s_{\text{п}} = 0,38 \cdot 10^{-3}$ м²; угол наклона вектора гидродинамической силы к оси золотника $\theta = 69^\circ$; жесткость пружины $c_{\text{пр}} = 12500$ Н/м; предварительный натяг пружины $z = 16$ мм.

Таким образом, уравнение движения золотника (1) принимает вид:

$$0,27 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = 180 + 12500 \cdot (0,016 + x) - 50 \cdot \frac{dx}{dt} - 330 \cdot x. \quad (2)$$

С целью исследования и оптимизации частотных характеристик гидроклапана находится общая передаточная функция [2]. Для этого необходимо уравнение динамик золотника (2) с учетом встроенного в гидроклапан клапана предохранительного привести к операторному виду с помощью оператора Лапласа.

Для построения и анализа частотных характеристик в качестве входного сигнала подается возмущающее воздействие, в качестве выходного сигнала – положение золотника.

С использованием программы MathCAD выполнен расчет и получены графики частотных характеристик (рис. 3), позволившие отобразить отклик запорно-регулирующего элемента гидроклапана на гармоническое воздействие.

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как пропускает система сигнал различной частоты. Оценка пропускания делается по отношению амплитуд выходной и входной величин. Фазочастотная характеристика показывает фазовые сдвиги, вносимые звеном на различных частотах. Модуль частотной передаточной функции

представляет собой четную функцию частоты, а фаза — нечетную функцию частоты.

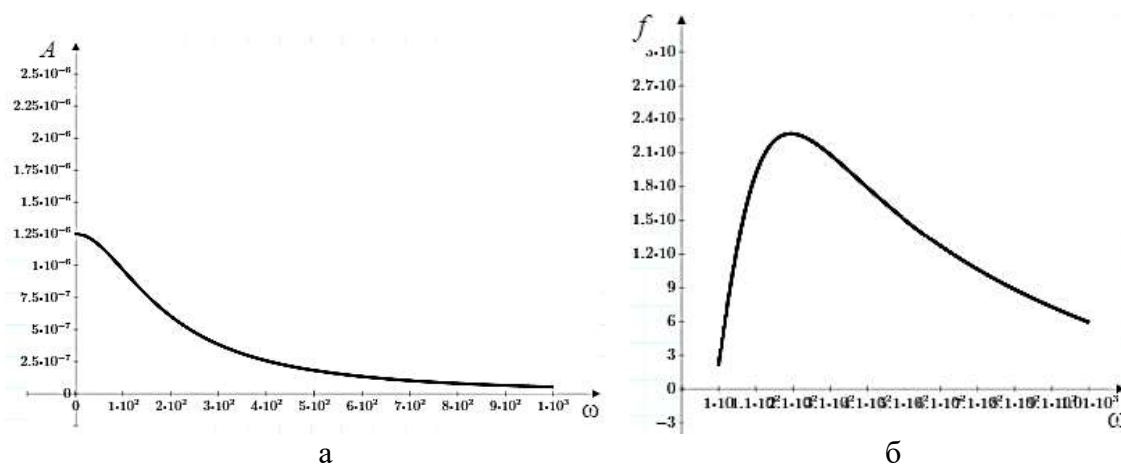


Рис. 3 – Частотные характеристики: а) амплитудная частотная характеристика; б) фазовая частотная характеристика

Вывод. Представлена методика проектирования гидрораспределителя на примере MR100.T2. Показаны частотные характеристики работы клапана при типовом воздействии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железнякова Ю.И. Расчет золотникового гидрораспределителя с улучшенными динамическими характеристиками / Ю.И. Железнякова, Д.Л. Стасенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28-29 апр. 2022 г / Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; редкол.: А.А. Бойко [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 41 – 43.
2. Машиностроение. Энциклопедия [Текст]: [в 40 т.] Т. IV-2. Электропривод. Гидро- и виброприводы. [в 2-х кн.] Кн. 2. Гидро- и виброприводы / Д.Н. Попов, В.К. Асташев, А.Н. Густомясов и др.; под общ. ред. Д.Н. Попова, В.К. Асташева. – М.: Машиностроение, 2012. – 304 с.

УДК 004.942:532

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ LS-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ LMS IMAGINE.LAB AMESIM

А.С. Колодко, Ю.А. Андреев

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

Развитие современных САПР сопровождается увеличением требований к проектировщику, а также увеличивает точность проводимых исследований. Соответственно, уровень решаемых задач постоянно растёт. В результате повышение функциональных и технических требований к гидроприводу сопровождается развитием программного обеспечения. Для многодвигательных систем современной техники особенно актуально использовать адаптацию к нагрузке. Т.к. в комбайнах для привода ходовой части и рабочего оборудования применяется чаще всего регулируемый насос это дает возможность использовать LS-распределители, применяя типовую схему гидросистемы с LS-управлением.

Гомельским ГСКТБ ГА созданы и выпускаются LS-гидрораспределители типа РАМ. Гидравлическая схема системы, построенной на основе этих распределителей, приведена на рисунке 1а [1].

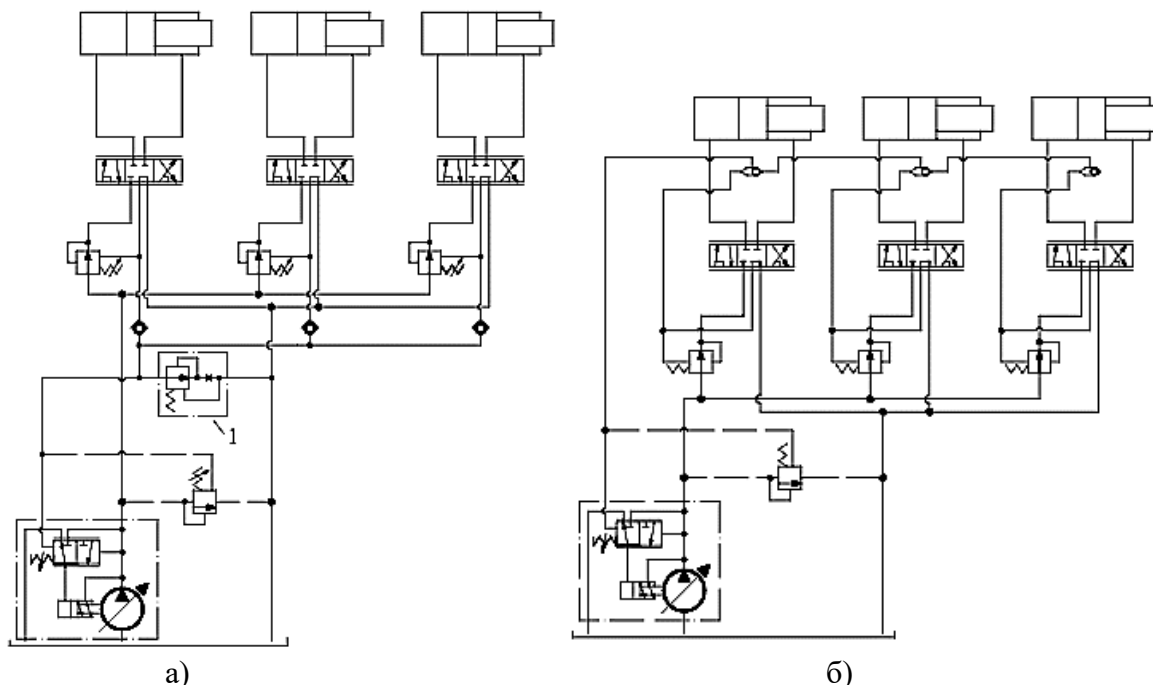


Рис. 1 – Типовые схемы систем с LS-управлением: а) фирмы «ГСКТБ ГА», б) фирмы «Mannesmann Rexroth»

По сравнению с классической схемой (рис. 1б) фирмы «Mannesmann Rexroth» в эту схему введен элемент 1, представляющий собой

ограничитель расхода (двухлинейный регулятор расхода, имеющий постоянную настройку). Он настроен на очень малый расход (порядка 0,4-0,5 л/мин).

В процессе работы системы происходит постоянный перелив рабочей жидкости из гидролинии управления в сливную магистраль через ограничитель расхода. Величина настройки ограничителя мала и практически не оказывает влияния на работу системы и на ее КПД. Это позволяет поддерживать давление в гидролинии управления системы постоянно равным давлению на наиболее нагруженном исполнительном органе, что требуется для нормальной работы LS-системы.

В этих аппаратах системный гидроклапан разности давлений и гидроклапаны разности давлений, установленные перед золотниками, выполняются регулируемыми. Регулировка клапанов секций позволяет потребителю, изменяя перепад давлений на золотниках, индивидуально настраивать диапазон регулирования расходов на каждом исполнительном органе, что заметно повышает удобство использования аппарата, особенно в гидросистемах машин с большой разностью между расходами, потребляемыми различными исполнительными органами.

Т.о. в многодвигательных энергетически насыщенных системах, особенно при разных скоростях движения и нагрузках на рабочих органах необходимо применение комбинированных LS-систем управления. Наиболее предпочтительным схмотехническим решением является типовая схема, предложенная Гомельским ГСКТБ ГА и применение распределителей типа РАМ.

Гидрораспределитель секционный состоит из клапанной секции (рис. 2а), рабочих секций (рис. 2б) и замыкающей крышки (рис. 2в) [2].

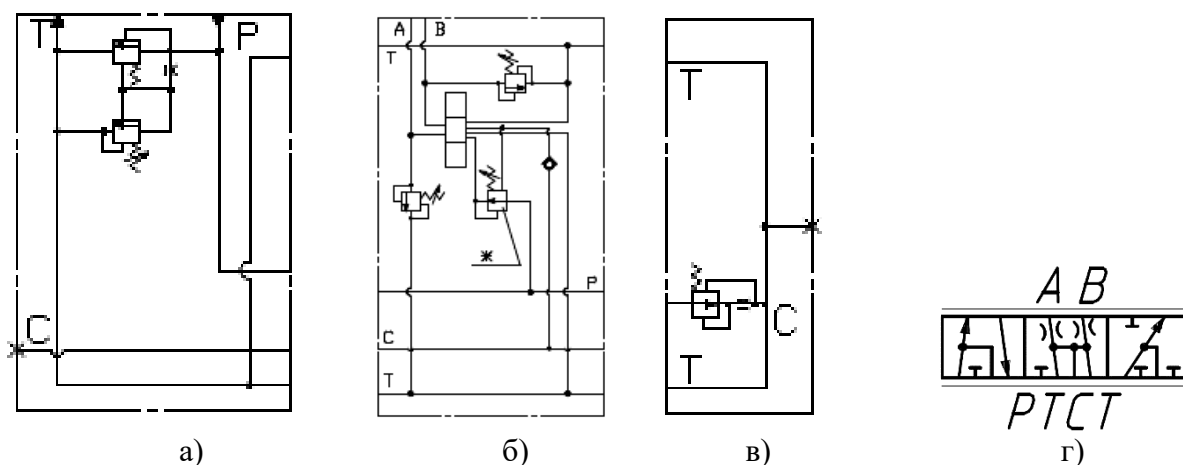


Рис. 2 – Схемы составных частей распределителя: а) клапанной секции; б) рабочей секции; в) замыкающей крышки; г) запорно-регулирующего элемента

Рассматриваемый распределитель является дросселирующим и управляет расходом и направлением потока рабочей жидкости в

нескольких гидролиниях одновременно. Может иметь пропорциональное управление, контролируя давление в гидролиниях рабочих органов, обеспечивает разгрузку гидросистемы при выстое рабочих органов под давлением, регулирование скорости исполнительных органов не зависимо от нагрузки на нем и количества одновременно работающих гидродвигателей, независимое регулирование расхода на каждой секции; предохранение от перегрузки и поддержание необходимого давления в гидролиниях рабочих органов [2]. Перечисленные функции обеспечиваются встроенным гидроаппаратами и специальным видом золотника (рис. 2 г).

AMESim - это система моделирования, позволяющая виртуально оценивать и оптимизировать производительность систем, проектировать новые гидроустройства и оценивать их работу без достаточно больших затрат времени и средств на производство опытного образца [3].

Целью данной работы является моделирование работы распределителя типа РАМ в программе LMS Imagine.Lab AMESim.

При моделировании использовалась встроенная библиотека гидравлических элементов (*library tree* → *hydraulic*), однако в библиотеке элементов отсутствует распределитель такого типа, но программа позволяет разработать схему LS-распределителя в окне редактирования в режиме эскиза (*sketch mode*).

Из перечня предлагаемых распределителей, выбираем *Valve Builder* (рис. 3), здесь знак «+» означает возможность создания нового гидроаппарата, в частности, распределителя.

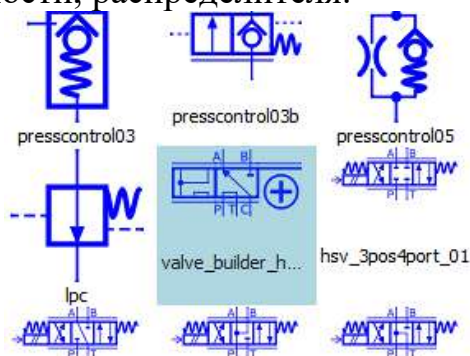


Рис. 3 – Valve Builder

При выборе данной функции открывается окно создания распределителя, в котором дана базовая версия распределителя без направлений и имеется выбор количества подключений снизу (*number of ports on bottom*), количества позиций (*number of positions*), количества подключений сверху (*number of ports on top*) и выбор нейтральной позиции (*neutral position*). Так же мы можем выбрать тип управления (рис. 4).

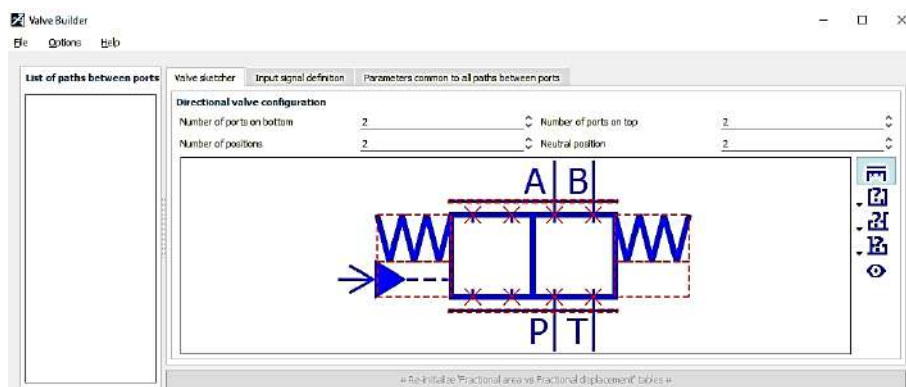


Рис. 4 - Интерфейс окна подмодели valve builder

После создания распределителя появляется характеристика, указывающая на движение жидкости. Так же можно указать минимальное проходное давление и расход или выбрать размер проходного сечения (рис. 5)

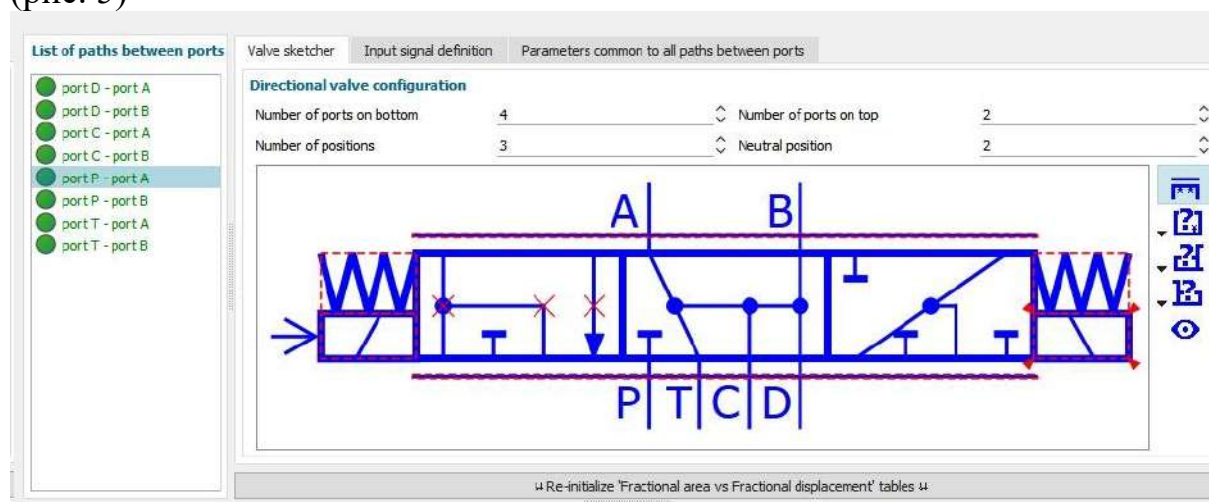


Рис. 5 – Модель секции LS-распределителя

После ввода требуемых параметров переходим в режим симуляции (*simulation mode*). В данном режиме при нажатии на кнопку старта симуляции (*start a simulation*) программа начинает просчитывать режимы работы гидрораспределителя.

Результатом симуляции являются различные графики, которые показывают изменение параметров, интересующих исследователя, например, прохождение рабочей жидкости через распределитель и изменение параметров потока во времени (рис. 6) без построения сложной математической модели, без составления громоздких аналитических уравнений. Следовательно, сокращаются сроки выполнения теоретических и экспериментальных исследований.

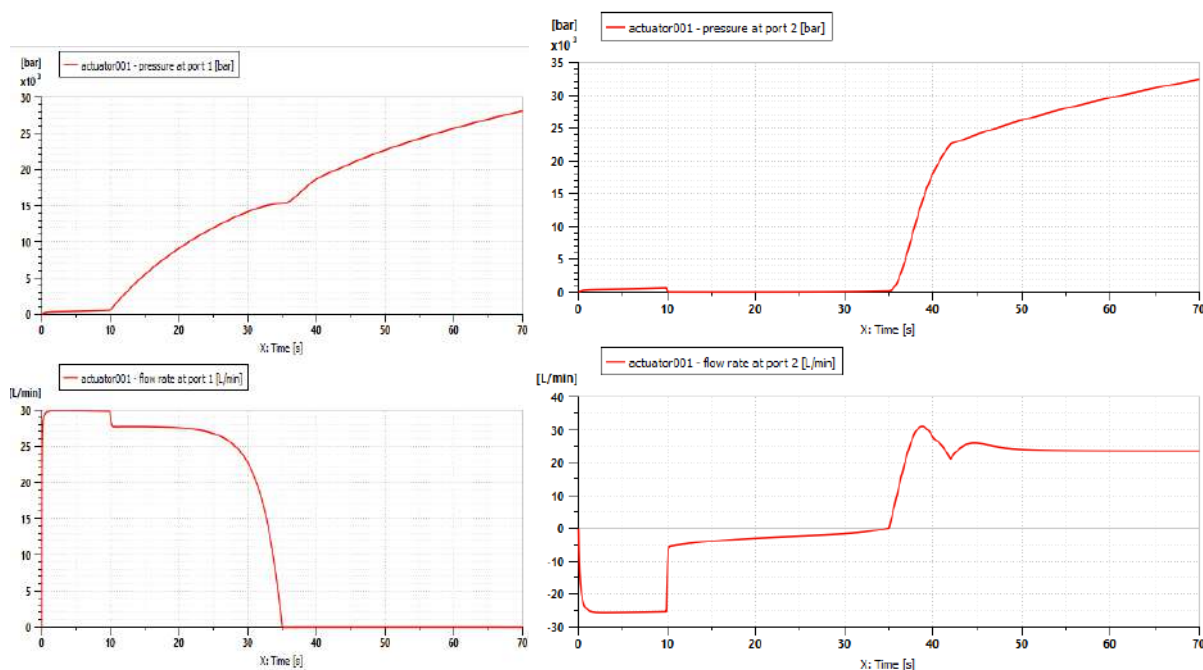


Рис. 6 – График

Таким образом, применяя данную программу, можно значительно ускорить процесс разработки гидроаппарата, проверить ее работоспособность, избежать потерь и улучшить качество на этапе проектирования, а в дальнейшем применять созданную модель для построения имитационной модели многодвигательной энергонасыщенной гидросистемы любой мобильной машины, в том числе и сельскохозяйственной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.А. Дроссельное регулирование в гидросистемах и адаптация гидропривода к нагрузке (LS-принцип). Курс лекций для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин». Гомель: Издательский центр УО «ГГТУ им. П.О.Сухого», 2007. 77 с
2. Каталог изделий Гомельского ОАО «ГСКТБ ГА». – КР 44XX X12-01/10.00. Распределители гидравлические секционные типа РАМ-12/3. – Гомель: ОАО «ГСКТБ ГА», 2010: [Электронный ресурс]. URL: <https://gsktb.com/catalog/4.pdf> (Дата обращения: 09.10.2022)
3. Гимадиев А.Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков; – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014.

УДК 621.225(075.8)

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ LS-СИСТЕМ С КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

А.А. Гинзбург¹, Ю.А. Андреевец²

¹ Открытое акционерное общество «Гомельское специальное
конструкторско-техническое бюро гидропневмоавтоматики»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

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

Гидравлические системы с адаптацией к нагрузке (load sensing или LS-системы) решают основную проблему управления скоростями нескольких одновременно работающих исполнительных органов гидропривода – проблему высоких потерь мощности в гидросистеме. Для этого они оснащаются системой выбора наибольшего из давлений на исполнительных органах и устройством, поддерживающим постоянную разность давлений между этим давлением и входным давлением гидросистемы, в качестве которого используется либо насос с регулятором разности давлений (система с объемной адаптацией к нагрузке) либо гидроклапан разности давлений (система с клапанной адаптацией к нагрузке), см [1], [2]. Традиционно считалось и подтверждалось расчетами [3], [4], что объемная адаптация является более энергетически эффективной, чем клапанная, поскольку в системе с клапанной адаптацией постоянная подача насосов практически постоянно все время превышает потребляемый расход, и излишек подаваемой рабочей жидкости переливается через клапан разности давления, создавая дополнительные потери мощности, а в системах с объемной адаптацией такой излишек отсутствует. В результате разработчики обычно выбирают принцип объемной адаптации.

Однако применение регулируемых насосов сдерживает внедрение LS-систем, поскольку регулируемые насосы являются существенно более дорогими по сравнению с нерегулируемыми и заметно уступают им по надежности, ремонтпригодности и требовательности к техническому обслуживанию – особенно, с учетом того, что обычно в системах с объемной адаптацией используются регулируемые аксиально-поршневые гидромашины, в то время, как в качестве нерегулируемых могут использоваться намного более дешевые, неприхотливые и надежные шестеренные насосы.

При этом упомянутые расчеты проводились около трех десятилетий назад и не отражали современного состояния элементной базы LS-систем.

Методика расчета энергетических характеристик гидросистем с адаптацией к нагрузке, учитывающая их структуру и параметры современной элементной базы (см., напр., [5]), созданная ОАО «ГСКТБ ГА» и ГГТУ им. П.О.Сухого, показывает, что в ряде случаев современные LS-системы с клапанной адаптацией могут превосходить LS-системы с объемной адаптацией по энергетической эффективности. Особенно это относится к известным (см., напр., [6]) двухпоточным и трехпоточным гидросистемам с клапанной адаптацией, в которых один или несколько насосов автоматически разгружаются от давления при снижении потребляемого в гидросистеме расхода и подключаются к напорной магистрали при его повышении, что существенно снижает величину избыточной подачи в гидросистеме. Гидравлическая схема таких систем приведена на рисунке 1.

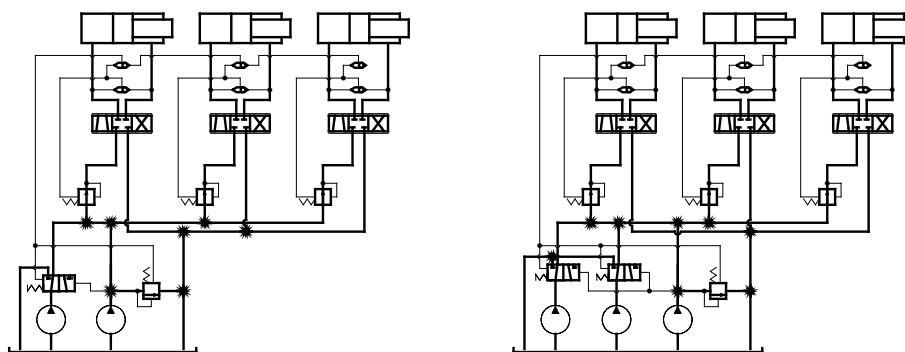


Рис. 1 – Принципиальная гидравлическая схема двух- и трехпоточных LS-систем с клапанной адаптацией к нагрузке

Расчет и анализ потерь мощности подобных систем при случайном равномерном распределении потребляемого расхода для случаев двух- и трехпоточной системы был проведен ОАО «ГСКТБ ГА» и ГГТУ им. П.О.Сухого [7]. При этом были получены следующие результаты:

1. Для двухпоточной системы, в которой потребляемый расход $Q(t)$ равномерно распределен в интервале расходов от $Q_{\min}$ до $Q_{\max}$, минимальные потери мощности обеспечиваются, если подачи постоянно работающего и разгружаемого насосов равняются

$$Q_{21opt} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2} \quad (1)$$

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

При этом средние переменные потери мощности гидросистемы:

$$\Delta N_{K2opt} = 0,25p_0(Q_{\max} - Q_{\min}) + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (3)$$

Если минимальное значение диапазона потребляемых расходов равно нулю, и потребляемый расход равномерно распределен в диапазоне от нуля до $Q_{\max}$, выражения (1) – (3) приобретают вид:

$$Q_{21opt} = Q_{22opt} = 0,5Q_{\max}$$

$$\Delta N_{K2opt} = 0,25p_0 Q_{\max} + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (4)$$

При этом потери мощности в гидросистемах с объемной и клапанной адаптацией равны при выполнении следующего условия

$$\frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = 1 - 4 \frac{\Delta p_{LS0} - \Delta p_{LSK}}{p_0 + 2\Delta p_{LS0}}$$

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

2. Для трехпоточной системы в этих условиях минимальные потери мощности обеспечиваются, если подачи постоянно работающего насоса и разгружаемых насосов соответствуют следующим выражениям:

$$Q_{31opt} = Q_{\min} + \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{3}$$

$$Q_{32opt} = Q_{33opt} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{3}$$

При этом средние потери мощности в гидросистеме равняются

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

Для случая нулевого минимального потребляемого расхода подачи всех насосов должны быть равными друг другу:

$$Q_{31opt} = Q_{32opt} = Q_{33opt} = 0,33Q_{\max}$$

Средние потери мощности в гидросистеме в этом случае:

$$\Delta N_{K3opt} = 0,167p_0 Q_{\max} + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (5)$$

Поучительным является случай четырехпоточной системы. Аналогичные расчеты показывают, что для него минимальные потери мощности обеспечиваются при следующих величинах подач постоянно работающего и разгружаемых насосов:

$$Q_{41opt} = Q_{\min} + \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{4}$$

$$Q_{42opt} = Q_{43opt} = Q_{44opt} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{4}$$

Средние потери мощности четырехпоточной гидросистемы:

$$\Delta N_{K4} = \frac{1}{2} p_0 \left(\frac{(Q_{41} - Q_{\min})^2 + Q_{42}^2 + Q_{43}^2 + Q_{44}^2}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T}$$

Очевидно, что для случая нулевого минимального потребляемого расхода подачи всех четырех насосов также должны быть равными друг другу:

$$Q_{41opt} = Q_{42opt} = Q_{43opt} = Q_{44opt} = 0,25Q_{\max}$$

В этом случае средние переменные потери мощности равны

$$\Delta N_{K4opt} = 0,125p_0 Q_{\max} + \Delta p_{LSK} Q_{\max} + \frac{\int_{t=0}^T \Delta N_{LS} dT}{T} \quad (6)$$

Сравнивая выражения (4), (5) и (6), получаем важные результаты.

Если минимальный расход системы $Q_{\min}$ равен нулю, а подачи всех насосов системы выбраны оптимальными, разность потерь мощности двух- и трехпоточной гидросистем с клапанной адаптацией составляет $\Delta N = 0,083p_0 Q_{\max}$. Учитывая, что p_0 – максимальное текущее значение давления в гидросистеме, а $Q_{\max}$ – максимальный потребляемый расход, получаем, что использование трехпоточной гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке по сравнению с двухпоточной обеспечивает снижение потерь в гидросистеме и повышение ее КПД более, чем на 8% от общей потребляемой гидроприводом мощности. Это – достаточно большая величина, так что замена двухпоточной гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке на трехпоточную может обеспечить заметное повышение энергетической эффективности гидропривода.

Вместе с тем, аналогичное сравнение выражений (5) и (6) показывает, что разность потерь мощности трех- и четырехпоточной гидросистем в этих же условиях составляет в два раза меньшую величину – $\Delta N = 0,0417p_0 Q_{\max}$. То есть, увеличение количества нерегулируемых насосов в гидросистеме с клапанной адаптацией с трех до четырех обеспечивает в два раза меньший эффект, чем аналогичное увеличение с двух до трех. С учетом усложнения и удорожания такой гидросистемы это ставит под сомнение целесообразность подобной замены.

Очевидно, что эффект от дальнейшего увеличения количества насосов в гидросистеме будет и далее снижаться аналогичным образом.

Эти же выводы могут быть наглядно проиллюстрированы в табличной форме, аналогичной использованной в [7]. В таблице 1 приведены диапазоны потребляемых расходов, в которых многопоточные LS-системы с нерегулируемыми насосами превосходят по энергетической эффективности системы с регулируемым несамовсасывающим насосом.

Таблица 1. Диапазон изменения потребляемых расходов

Диапазон максимальных давлений, МПа	Диапазон изменения потребляемых расходов		
	Двухпоточная система	Трехпоточная система	Четырехпоточная система
до 6 МПа	$0 - Q_{\max}$	$0 - Q_{\max}$	$0 - Q_{\max}$
до 12 МПа	$0,2 \dots 0,4 Q_{\max} - Q_{\max}$	$0 - Q_{\max}$	$0 - Q_{\max}$
12 – 20 МПа	$0,4 \dots 0,6 Q_{\max} - Q_{\max}$	$0,3 \dots 0,4 Q_{\max} - Q_{\max}$	$0,25 \dots 0,35 Q_{\max} - Q_{\max}$
более 20 МПа	более $0,6 Q_{\max} - Q_{\max}$	более $0,4 Q_{\max} - Q_{\max}$	более $0,35 Q_{\max} - Q_{\max}$

Нетрудно видеть, что трехпоточные гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке должны являться не только более надежными и долговечными (и построенными на более дешевом и надежном аппаратурном обеспечении), но и более энергетически эффективными по сравнению с гидросистемами с регулируемыми насосами в весьма широком диапазоне возможных применений. При этом увеличение числа насосов многопоточной гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке с трех до четырех не приносит существенного эффекта.

Таким образом, двухпоточные и многопоточные системы с клапанной адаптацией к нагрузке и нерегулируемыми насосами являются достаточно энергетически эффективными. Существует широкий диапазон условий применения, в котором двухпоточные LS-системы обеспечивают снижение потребляемой мощности по сравнению с LS-системами с регулируемыми насосами. Трехпоточные системы позволяют еще более повысить энергетическую эффективность, и снижение потерь мощности трехпоточных систем по сравнению с двухпоточными может превышать 8% от потребляемой гидроприводом мощности. При этом эффект дальнейшего увеличения количества нерегулируемых насосов в гидросистеме с клапанной адаптацией существенно снижается, и можно считать, что использование четырехпоточных систем (тем более, систем с большим количеством насосов) в общем случае не является оправданным или может быть рекомендовано только для систем весьма высокой мощности при условии выполнения соответствующих технических и экономических расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.А. Дроссельное регулирование в гидросистемах и адаптация гидропривода к нагрузке (LS-принцип). Курс лекций для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин». Гомель: Издательский центр УО «ГГТУ им. П.О.Сухого», 2007. 77 с.
2. Sculthorpe H. Hydraulic Horsepower Comes out of Its Corner. Hydraulics & Pneumatics, 1989. № 3.
3. Klotzbücher W. Energieverluste in Hydrauliksystemen von Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik, Bd.34 (1984) Nr.6.

4. Hesse H. Vergleich der Energieverluste von Hydrauliksystemen für Ackerschlepper, /H. Hesse // Vortrag auf der VDI-Tagung Landtechnik, München, 27/29 Oktober 1976.

5. Гинзбург А.А., Стасенко Д.Л. Сравнение однопоточных гидросистем с объемной и клапанной адаптацией к нагрузке по уровню потерь мощности. Минск: Механика машин, механизмов и материалов - 2018 - № 3(44) - с. 67-74.

6. Esseniyi A. Circuits make gear pumps more versatile. / A. Esseniyi // Hydraulics & Pneumatics Exclusive Insight; 1/28/2012, p. 21.

7. Гинзбург А.А., Андреев Ю.А. Направления повышения энергетической эффективности гидравлических LS-систем с клапанной адаптацией к нагрузке. Материалы V Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра». Гомель, 17 ноября 2021 г. – с. 75-83.

УДК 621.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ УСТАНОВКИ ТОПЛИВНОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЯ

Г.М. Кухарёнок¹, В.И. Березун², Д.В. Пахарев², В.В. Вересов²

¹Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь;

²ОАО «УКХ «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,

г. Минск, Республика Беларусь

При отработке компоновочных решений размещения навесного оборудования, а также обосновании выбора конструктивных параметров элементов их крепления, возникает необходимость оценки динамического поведения проектируемого объекта в закреплённом на двигателе состоянии. Идеальным конечным решением является осуществление прочностной оценки на этапе проектирования до изготовления опытного образца в программном обеспечении компьютерного моделирования, позволяющего проводить инженерный анализ. В действительности же валидация результатов расчета компьютерных моделей в широком диапазоне вариации входящих параметров является серьезным сдерживающим фактором реализации современного подхода оценки прочности навесного оборудования и его элементов крепления.

В рамках настоящей работы проводилась отработка методики экспериментального определения частот и форм собственных колебаний установки топливного фильтра на дизеле, необходимых для валидации динамической компьютерной модели. Объектом исследования была установка топливного фильтра (УТФ), закреплённая на дизеле (рис. 1а), состоящая из кронштейна 1, крышки 2 и топливного фильтра тонкой очистки 3.

Элементы УТФ при проведении испытаний закреплялись на штатные места дизеля, установленного на стендовые опоры. Для передачи импульсных нагрузок использовался ударный молоток РСВ PIEZOTRONIC 086D05 для модальных испытаний (с резиновым наконечником без утяжелителя), отклик на ударное возбуждение регистрировался одноосевыми акселерометрами (рис. 1б), которые закреплялись на УТФ посредством магнитных площадок по осям в продольной (X), поперечной (Y) и вертикальной (Z) плоскостях. Частотный диапазон измерений находился в диапазоне от 0 до 1024 Гц с частотным разрешением 0,5 Гц. Синхронизация записи сигналов с датчика силы ударного молотка и акселерометров проводилась в многоканальном анализаторе сигналов SCADAS Mobile Recorder. Для улучшения оценки

частотной характеристики проводилось усреднение данных в частотной области по 5-и ударам, неудачные удары отфильтровывались и вычленялись из общего массива данных.

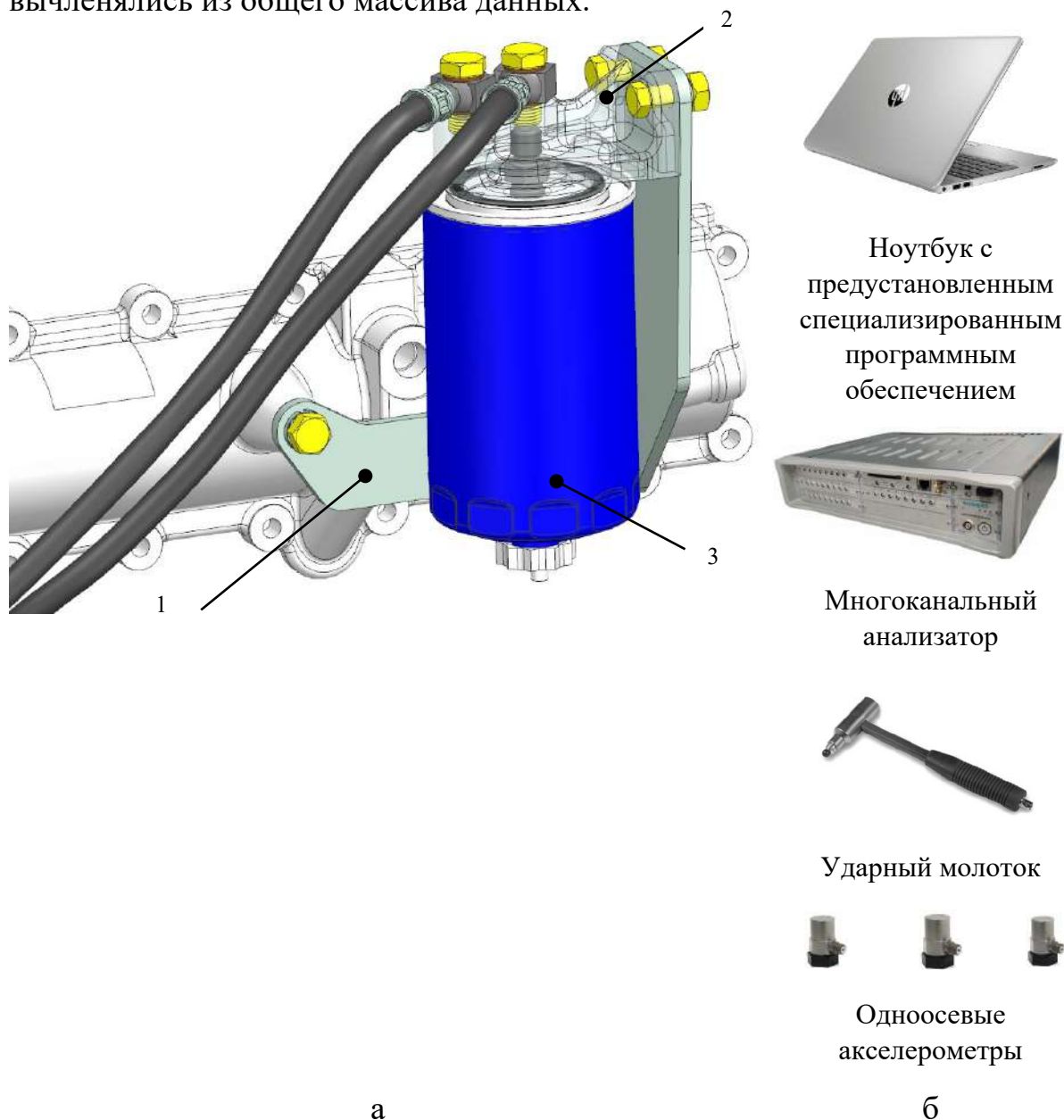


Рис. 1 – Общий вид объекта исследования (а) и основные компоненты виброизмерительной системы (б)

Контроль правильности измерений проводился по анализу функции когерентности [1], обработка сигналов (дискретизация сигнала, преобразование Фурье, определение частот, форм и демпфирования собственных (резонансных) колебаний), визуализация отображения форм (мод) колебаний [1] проводилась с использованием процедур, функций и алгоритмов программного обеспечения Simcenter Testlab.

Места нанесения ударов, расположение акселерометров на объекте исследования и каркасная модель УТФ показаны на рисунке 2. Удары выполнялись по нормали к элементам УТФ последовательно в 14 точках.

По результатам работ была получена усредненная амплитудно-частотная характеристика, из которой были выделены 7 областей резонанса в диапазоне частот от 0 до 200 Гц (37,80; 46,98; 62,59; 79,60; 110,96; 172,14; 185,96 Гц). Идентификация частот и форм собственных колебаний проводилась с помощью утилиты PolyMAX программного обеспечения Simcenter Testlab [2], которая позволяет оценивать динамическое поведение объекта по перемещению узловых точек каркасной модели. Для получения каркасной модели определялись точные координаты точек нанесения ударов и положений установки акселерометров на УТФ.

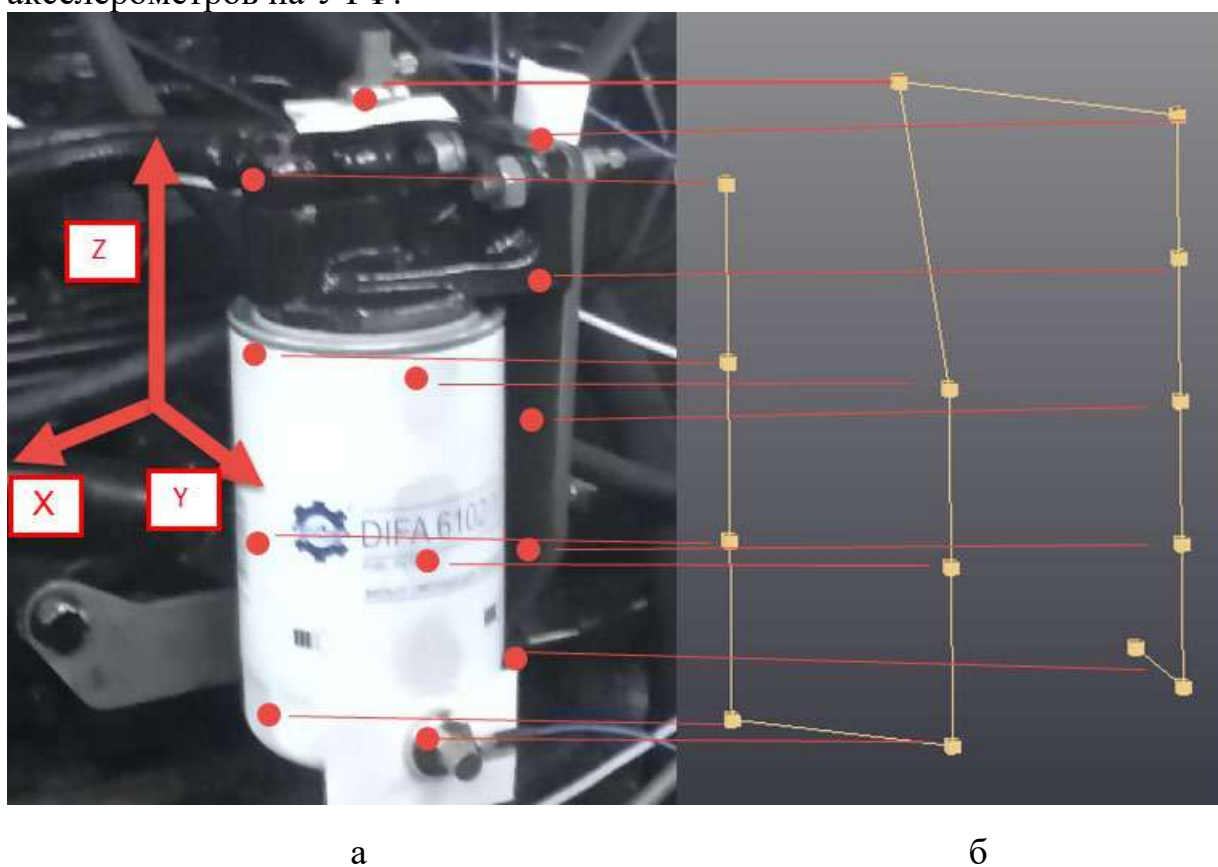


Рис. 2 – Расположение точек нанесения удара (а) и каркасная модель УТФ (б)

Получена высокая сходимость результатов экспериментальных исследований с расчетными, которая показывает, что предложенная последовательность процедур проведения экспериментального исследования, выбор мест установки акселерометров и мест нанесения ударов, а также выбор предустановок измерительной аппаратуры и методов обработки результатов виброиспытаний являются приемлемыми и

достаточными для идентификации частот и форм собственных колебаний конструкций установки навесного оборудования двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 5. Измерения, использующие ударное возбуждение возбудителем, не прикрепляемым к конструкции: ГОСТ ИСО 7626-5-99. – Введ. 01.07.2001. – Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 20 с.
2. Getting Started with Modal Curvefitting. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://community.sw.siemens.com/s/article/getting-started-with-modal-curvefitting>. - Дата доступа: 03.10.2022.

УДК 621.313.333

РАСЧЕТ РОТАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В.В. Брель, В.Д. Салтыков

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

Среди работников, связанных с эксплуатацией ротационных пневматических двигателей и инструмента, существует мнение, что в этих двигателях используется кинетическая энергия сжатого воздуха. Иногда даже эти двигатели могут называть «пневматическими турбинками». В действительности это не так: в ротационных двигателях используется потенциальная энергия сжатого воздуха, а поэтому принцип работы их не отличается от работы поршневых двигателей. Как и в поршневом, в ротационном двигателе внешняя работа совершается за счет изменения параметров состояния сжатого воздуха, находящегося в рабочей камере. При этом в общем цикле работы ротационного двигателя, так же как и поршневом, можно выделить главные рабочие процессы: наполнения, расширения и выталкивания воздуха из рабочей камеры [1].

Рабочая камера двигателя образуется внутренней поверхностью статора и торцами крышек, наружной поверхностью ротора и боковыми поверхностями двух соседних лопаток. Уплотнение рабочей камеры обеспечивается малыми линейными зазорами между торцами крышек и ротором, между торцами крышек и лопатками (0,02-0,1мм), масляной пленкой, а также прижатием лопаток к внутренней поверхности статора под действием центробежной силы, возникающей при вращении ротора.

В редких случаях можно встретить ротационные двигатели, в которых скользящая лопатка расположена в статоре, а наружная поверхность ротора выполнена эксцентрично по отношению к оси его вращения. Из-за сложности изготовления и трудностей, связанных с динамической балансировкой, подобные конструкции практического применения не получили [2].

Авторы провели исследование различной центробежной силы, возникающей при вращении ротора и влияющей как на лопатки так и на воздух для маломощных ротационных двигателей работающих в интервале 10000 – 15000 об/мин.

Лопатки испытывают усилие центробежной силы в интервале 100-180Н, а рабочий воздух 1,0-2,5Н. Поэтому усилие прижима лопаток часто является достаточным и не требует дополнительных пружин.

Исследование вращающегося воздуха показало незначительность создаваемого разряжения от центробежной силы при стандартном давлении 0,62МПа.

На кафедре «Автоматизированный электропривод» УО «ГГТУ имени П.О. Сухого» были экспериментально подтверждены полученные результаты, представленные в докладе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленецкий С.Б. Ротационные пневматические двигатели / С.Б. Зеленецкий, Е.Д. Рябков, А.Г. Микеров. // - Л. : «Машиностроение». Ленингр. отд-ние, 1976. - 239 с.
2. Кусницин Г. И Пневматические ручные машины. Справочник. / Г.И. Кусницин, С.Б. Зеленский, С.Д. Доброборский. // - Л., «Машиностроение», 1968. 276 с.

УДК 631.27

СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА

Д.Ю. Барсуков

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

В настоящее время в конструкциях жаток для трав и зерновых культур зачастую используется одноножевой режущий аппарат с односторонним приводом. В качестве привода режущего аппарата в большинстве случаев применен планетарный редуктор со встроенной конической ступенью.

Преимуществом жаток с одноножевым режущим аппаратом является простота конструкции и меньшая металлоемкость. Однако их недостатком является ограничение пропускной способности в результате возрастания вибрационных нагрузок с увеличением числа двойных ходов ножа свыше 620..650 об/мин. Такая скорость движения ножей достаточна для уборки зерновых культур и злаковых трав, но при уборке мягких трав ограничивает рабочую скорость до 7..8 км/ч. Причиной повышенной вибрации является неуравновешенные силовые воздействия ножа на привод и рамные конструкции.

Наиболее эффективным способом снижения вибрационных нагрузок является уравнивание инерционных нагрузок от ножа и его привода за счёт применения двухножевого режущего аппарата с двухсторонним синхронизированным приводом, обеспечивающим поступательное движение ножей навстречу друг другу. Данное изменение позволит увеличить число двойных ходов ножей, обеспечив тем самым увеличение рабочей скорости косилки.

В качестве примера рассмотрим изменение конструкции валковой жатки захватом 9,2 м. к самоходной косилке CS-200. Для привода ножей режущего аппарата применим конические редукторы от которых карданными валами вращение передается на планетарные редукторы без встроенной конической ступени. Привод конических редукторов производится от гидромотора через ременную передачу. Для синхронизации движения ножей конические редукторы связаны между собой валом (рис. 1).

Для синхронизации движения ножей маховик одного из приводов выполнен разъемным с возможностью регулировки за счёт V-образных мелких зубьев. (рис. 2).

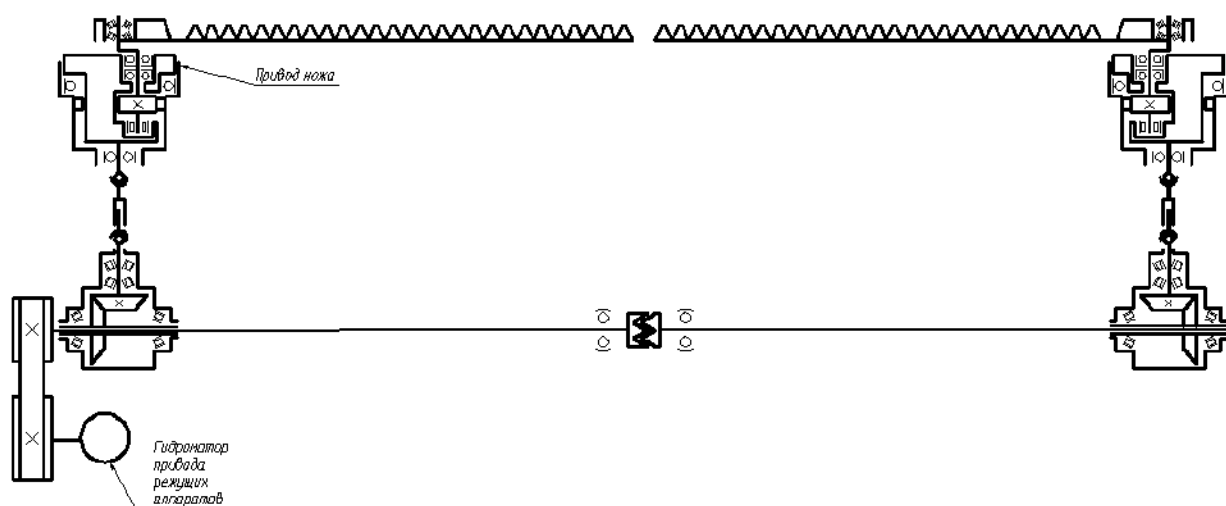


Рис. 1 – Принципиальная схема привода двухножевого режущего аппарата.

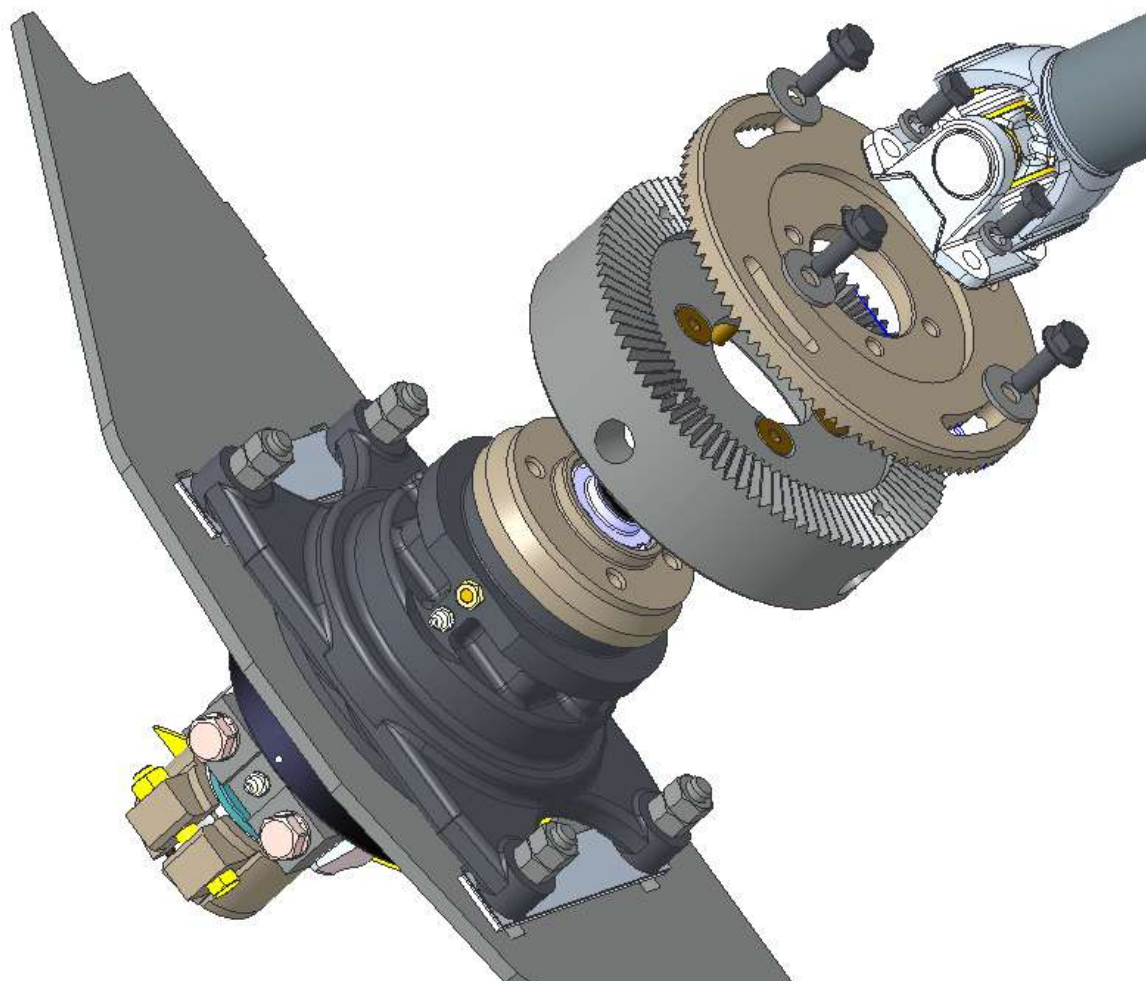


Рис. 2 – Схема разъемного маховика привода режущего аппарата.

УДК 631.35

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В КОНСТРУКЦИИ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УБОРОЧНЫХ МАШИН

О.В. Рехлицкий, А.А. Дакука, Т.П. Слепенюк

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

Условия эксплуатации зерноуборочных комбайнов характеризуются высокой запыленностью и наличием витающих частиц убираемых культурных растений и сорняков, образующихся во время выполнения технологического процесса уборки в рабочих органах жатки, молотильно-сепарирующего устройства, очистки, соломосепаратора. Активно применяемые в последнее время соломоизмельчители и половоразбрасыватели при неблагоприятных направлениях ветра значительно увеличивают количество частиц растений, находящихся в зоне расположения моторных установок зерноуборочных комбайнов. Усиление запыленности также сопутствует современному тренду на увеличение производительности комбайнов за счет совершенствования рабочих органов технологического тракта и, соответственно, повышение средней скорости движения машины по полю. Существенный вклад в увеличение содержания пыли в воздухе, окружающем зерноуборочный комбайн при его работе в поле, вносят также происходящие в последние десятилетия климатические изменения, так как засушливая погода, наряду с повышенной температурой воздуха, способствует усилению пылеобразования.

Применение высокопроизводительных рабочих органов, расширение их номенклатуры, повышение средних рабочих скоростей зерноуборочных комбайнов реализуется, благодаря применению двигателей, соответствующих решаемым в каждой марке и модификации машины задачам.

В настоящее время зерноуборочные комбайны, выпускаемые ОАО «Гомсельмаш», широко оснащаются дизельными двигателями производства ПАО «Автодизель», РФ, номинальной мощностью 330 л.с., с увеличением выпуска новых высокопроизводительных марок комбайнов расширяется применение двигателей мощностью 450, 520 л.с. На примере семейства дизелей ЯМЗ 658, см. табл. 1 [1,2] можно проследить, что повышение мощности, по сравнению с базовой моделью, на модификациях большей мощности достигается увеличением избыточного давления наддувочного воздуха и, соответственно, увеличением объема воздуха, подаваемого в цилиндры.

Таблица 1. Технические характеристики двигателей семейства ЯМЗ 658

Технические характеристики	ТУ 37.319.427-2016			ТУ 37.319.461- 2020
	ЯМЗ 65852-05 ЯМЗ 65852-06	ЯМЗ 65853-03, ЯМЗ 65853-05	ЯМЗ 65856	ЯМЗ-65802
Параметр	Значение			
Допустимая запыленность воздуха, г/м ³ , не более	2			
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	221 (300)	243 (330)	331 (450)	382,5 (520)
Номинальная частота вращения, об/мин	1900+50-20			
Масса двигателя, кг	1250			1250
Допустимое сопротивление по "горячему" воздуху, включая соединительные трубопроводы, не более кПа (кгс/см ²)	12 (0,12)			15 (0,15)
Система питания двигателя воздухом, средний коэффициент пропуска пыли по ГОСТ 8002, %, не более	0,2			
Разрежение, замеренное в месте установки индикатора засоренности, на номинальном режиме работы двигателя при максимально загрязненном фильтре должна быть не более, кПа (при начальном сопротивлении, не более)	7 (3)			
Рабочий объем, л	14,86			
Избыточное давление наддувочного воздуха на входе в двигатель на номинальном режиме работы двигателя, кПа (кгс/см ²)	95 (0,97)	140 (1,43)	153 (1,53)	165 (1,68)
Номинальный расход воздуха при номинальной мощности, м ³ /ч	1470	1520	1650	1770

Следовательно, с учетом вышеизложенных обстоятельств, связанных с запыленностью воздуха, сопутствующих применению по назначению зерноуборочных комбайнов, увеличение мощности дизелей семейства ЯМЗ 658 сопряжено с ростом вероятности попадания в

цилиндропоршневую группу большего количества пыли. Что, при прочих равных условиях, для сохранения установленных требований к надежности двигателя, предъявляет повышенные требования к системе питания двигателя воздухом. Ужесточение требований производителей двигателей к системе фильтрации реализовано введением более жесткого, по сравнению с требованиями ГОСТ Р 53837—2010, значения среднего коэффициента пропуска пыли. Так, согласно требованиям ТУ на двигатели [1,2], «система питания двигателя воздухом, устанавливаемая на изделии, должна быть оборудована воздушным фильтром со сменным фильтрующим элементом сухого типа и индикатором засоренности. Средний коэффициент пропуска пыли по ГОСТ 8002 не более 0,2». ГОСТ Р 53837—2010 для дизелей с турбонаддувом, оснащенных воздухоочистителем с сухой фильтрующей перегородкой, устанавливает средний коэффициент пропуска пыли, %, не более 0,6 [3].

Например, для двигателя ЯМЗ 65802 при потреблении воздуха 1770 м³/ч в допускаемых условиях средней запыленности 2 г/м³ при годовой нормативной наработке 130 часов основного времени [4] при одноступенчатой очистке воздуха в цилиндры двигателя может попасть согласно (1) 920 г пыли (без учета отбора воздуха эжектором очистки корпуса воздухоочистителя, и фактической средней загрузки двигателя, которая для зерноуборочных комбайнов находится в пределах 65...75%):

$$G_{\text{ц}} = \varphi_1 \times Q_{\text{ном}} \times \varepsilon \times \tau, (1)$$

где $G_{\text{ц}}$ -среднее количество пыли, поступившей с воздухом в двигатель за время τ , г; φ_1 -запыленность воздуха на входе в воздухоочиститель, г/м³, $\varphi_1=2$; $Q_{\text{ном}}$ - номинальный расход воздуха на номинальной мощности, м³/ч, $Q_{\text{ном}}=1770$; ε -коэффициент пропуска пыли, %, $\varepsilon=0,2$; τ -продолжительность работы комбайна в данных условиях запыленности, ч, $\tau=130$.

То есть, с одним кубическим метром воздуха, прошедшим через воздухоочиститель, в двигатель поступает согласно (2) 0,004 г пыли:

$$g_{\text{д}} = \frac{G_{\text{ц}}}{Q_{\text{ном}}} \times \tau, (2)$$

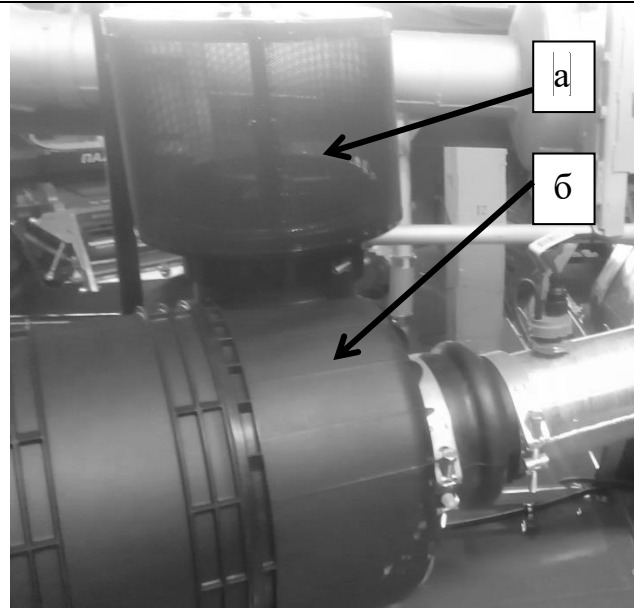
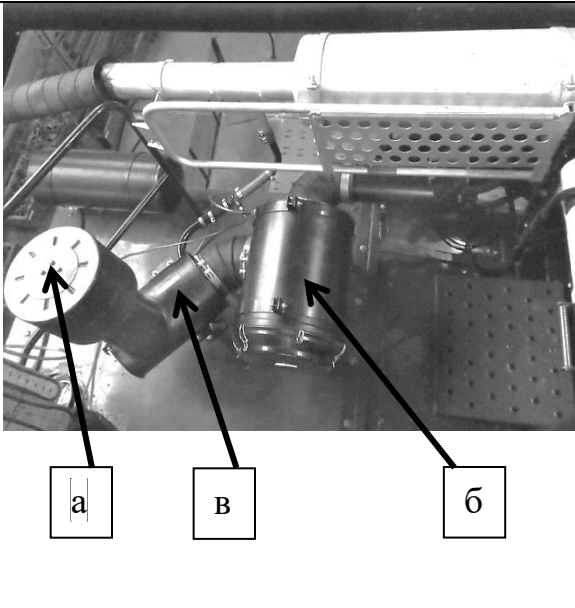
где $g_{\text{д}}$ - среднее количество пыли, поступающей в двигатель с одним метром кубическим воздуха, прошедшего через воздухоочиститель.

Известно, что, если запыленность не превышает 0,001 г/м³, то пыль практически не влияет на работу двигателя [5]. В рассматриваемом случае наблюдаем четырехкратное превышение безопасного уровня запыленности.

Следовательно, одноступенчатой очистки воздуха от пыли для обеспечения надлежащей безотказности двигателя с использованием воздухозаборника с сухой фильтрующей перегородкой недостаточно. Кроме того, для нормального функционирования воздухоочистителя с сухой фильтрующей перегородкой необходимо предварительно

произвести очистку воздуха от витающих растительных частиц, налипание которых на поверхность фильтрующего элемента снижает его пропускную способность, ведет к сокращению объема поступающего в цилиндры воздуха, обогащению топливной смеси, неполному сгоранию топлива, снижению мощности двигателя, повышению дымности ОГ и другим негативным последствиям. В связи с чем, на машинах, выпускаемых ОАО «Гомсельмаш», работающих в зоне повышенной засоренности воздуха пылью и измельченными частицами растительной массы, применяется до трех ступеней очистки воздуха (см. фото №1, №2): две ступени предварительной и одна ступень тонкой очистки [6,7].

Предварительная очистка воздуха выполняется в один или два этапа: 1 этап – применение сухого инерционного воздухозаборника роторного типа; 2 – применение инерционно-центробежных воздухоочистителей без вращающихся деталей (циклонов). Совместное или поэлементное использование данных способов очистки обуславливается конструктивными особенностями машины.

	
Фото №1 – двухступенчатая система очистки.	Фото №2 – трехступенчатая система очистки.
а - сухой инерционный воздухозаборник роторного типа, б – воздухоочиститель с сухой фильтрующей перегородкой, в - инерционно-центробежный воздухоочиститель без вращающихся деталей (циклон)	

В инерционно-центробежном воздухоочистителе без вращающихся деталей (циклоне), под действием сил инерции частицы пыли осаждаются на стенках корпуса, и выводятся через эжектор глушителя. В настоящее время ОАО «Гомсельмаш» применяет на зерноуборочных машинах для предварительной очистки воздуха перед воздухозаборником с сухой фильтрующей вставкой предочиститель инерционный ЯМЗ 238-10Б.06.000-30 пр-ва АО "Автоагрегат" (РФ, г. Ливны).

Воздухозаборники сухие инерционные роторного типа, применяемые на ОАО «Гомсельмаш», являются изделием собственной разработки, выполненной по аналогии с воздухозаборником 31-12СЗ-1А Харьковского конструкторского бюро по двигателестроению (ранее ГСКБД). В настоящее время ОАО «Гомсельмаш» изготавливает три модификации сухого инерционного воздухозаборника роторного типа, которые были разработаны для двигателей с различным расходом воздуха. Применяемость воздухозаборников и ориентировочное потребление воздуха двигателем сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Применяемость сухих инерционных воздухозаборников роторного типа, изготавливаемых ОАО «Гомсельмаш»

Вращающийся воздухозаборник	Среднее значение расхода воздуха в мощностной группе двигателей, м ³ /мин	Применение на с/х техники (пример)
ТИП 1	25	КЗС-1218А-1, КЗС-10К, КЗС-812, КС-100
ТИП 2	30	КВК-800
ТИП 3	41	КВК-8060

Воздухозаборники отличаются габаритными, присоединительными размерами, а также внутренним устройством крыльчатки. Совокупность данных параметров обуславливает частоту вращения сетки воздухозаборника, необходимую для отбрасывания за счет центробежных сил растительных частиц, прижимаемых к поверхности сетки потоком нагнетаемого в цилиндры двигателя воздуха. Однако, применение данной ступени очистки воздуха создает дополнительное сопротивление на входе в систему питания двигателя воздухом, значение которого также ограничено производителями дизелей (табл.1).

НТЦК ОАО «Гомсельмаш», с целью сравнительного анализа, проведены опытные работы по замеру сопротивления трех модификаций сухого инерционного воздухозаборника роторного типа на одной машине в идентичных условиях при номинальной нагрузке двигателя и расходе воздуха 29.5 м³/мин, результаты измерений сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Экспериментально установленные значения сопротивления сухого инерционного воздухозаборника роторного типа

Сухой инерционный воздухозаборник роторного типа	Создаваемое сопротивление при расходе воздуха 29.5 м ³ /мин, кПа
ТИП 1	1.1
ТИП 2	1,49
ТИП 3	0,51

Выбор в качестве первой ступени очистки воздуха питания дизелей конкретной модификации сухого инерционного воздухозаборника роторного типа обуславливается конструктивными особенностями машины, в первую очередь характеристиками используемого двигателя, а также характеристиками применяемых воздухозаборников второй и третьей ступеней очистки, которые в совокупности должны обеспечить параметры и характеристики, заданные требованиями изготовителей двигателей и нормативными документами [8]:

- -начальное сопротивление комбинированного воздухоочистителя,
- -средний коэффициент пропуска пыли,
- -продолжительность работы до достижения предельного сопротивления или до технического обслуживания,
- -герметичность системы питания воздухом.

Конструкции системы питания дизеля воздухом для каждой марки зерноуборочных комбайнов и их модификаций проходят верификацию в процессе стендовых испытаний независимо от стадии жизненного цикла машины и валидацию в реальных полевых условиях при проведении периодических, типовых, приемочных испытаний серийно выпускаемой, модернизированной и новой техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ 37.319.461-2020 «Двигатель ЯМЗ-65802 и его комплектации с ЯМЗ-65802-01 по ЯМЗ-65802-99. Технические условия.»
2. ТУ 37.319.427-2016 «Двигатели ЯМЗ 65852-05, ЯМЗ 65852-06, ЯМЗ 65853-03, ЯМЗ 65853-05, ЯМЗ 65856. Технические условия.»
3. ГОСТ Р 53837—2010 «Двигатели автомобильные. Воздухоочистители. Технические требования.»
4. СТБ 1616-2011 «Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности»
5. <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/sistema-pitaniya-vozduhom/>-точка доступа 26.10.2022 15:00.
6. Краснокутский В.В. Системы питания дизельных двигателей. Часть 1: Назначение и конструкция: учебное пособие / В.В. Краснокутский, М.А. Русанов, И.П. Трояновская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 72 с.
7. Каптюшин Г.К., Баженов С.П., Конструкция, основы теории, расчет и испытание тракторов.-М.: Агропромиздат, 1990.-511 с.: ил.
8. ГОСТ 8002-2020 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Воздухоочистители. Методы стендовых безмоторных испытаний».

УДК 631.35, 681.52, 631.354

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ КОПИРОВАНИЯ УБОРОЧНЫХ МАШИН

Д.В. Джасов

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

Самоходные уборочные сельскохозяйственные машины – это машины функциональным назначением, которых является уборка и первичная переработка технологического продукта сельскохозяйственной деятельности.

Для обеспечения качественного технологического процесса уборки с поля технологического продукта с минимальными потерями необходимо обеспечить поддержание заданной высоты среза относительно опорной поверхности поля. Учитывая, что поверхность поля имеет естественные неровности, для поддержания постоянства высоты среза необходимо обеспечить возможность копирования адаптером рельефа поля. Копируя рельеф поля, адаптер перемещается в вертикальном направлении относительно рамы сельскохозяйственной машины, опираясь на поверхность поля опорными элементами – башмаками, колесами, режущим брусом.

Адаптеры сельскохозяйственных машин имеют значительную массу, и перенос всей массы на опорные элементы не допустим, так как это приведет к значительному увеличению сопротивления передвижению, уплотнению верхнего слоя почвы, ее разрушению и попаданию в технологический тракт, а также к повышенным потерям или нарушению технологического процесса. С целью снижения нагрузки на опорные элементы адаптера до необходимого уровня применяют системы уравнивания, которые, переносят значительную часть массы адаптера на раму сельскохозяйственной машины, снижают величину нагрузки на опорные элементы до допустимой величины, обеспечивая при этом постоянный контакт опорных элементов с почвой.

Из вышеизложенного следует основная функция механизма копирования профиля поля адаптером при работе уборочной сельскохозяйственной машины – поддержание постоянства высоты расположения рабочего органа относительно поверхности поля, а также допустимого давления на почву опорными элементами адаптера для обеспечения непрерывного качественного выполнения технологического процесса с минимальными потерями.

Все разнообразие систем копирования можно разделить на три большие группы: пассивные, активные и гибридные.

К пассивным системам копирования можно отнести системы, у которых отсутствует управление параметрами, влияющими на высотное регулирование, в процессе работы. В таких системах механизм настраивается один раз перед работой и в процессе копирования рельефа поля не проводится перенастройка его параметров под изменяющиеся условия работы. Такие системы могут быть, как механического типа, с использованием пружинно-рычажных механизмов, так и гидропневматического типа, с использованием замкнутого контура гидроцилиндр-пнеumoгидроаккумулятор (ГЦ-ПГА). В последнем случае ПГА совместно с ГЦ выполняет роль упругого элемента.

По способу работы механизмов копирования относительно вектора движения сельскохозяйственной машины их можно разделить на: копирующие в продольной плоскости; в поперечной плоскости; в продольно-поперечной плоскости. Последний вариант чаще всего используется в пассивных системах с использованием пружинно-рычажных механизмов на самоходных косилках, в которых левая и правая сторона навески независимы, а блок пружин используется, как для продольного, так и для поперечного уравнивания. Несмотря на компоновочные достоинства такой схемы, ее недостатком является затрудненность целевого контроля реакции на башмаке из-за сложного взаимного влияния параметров механизма при копировании рельефа поля, как в продольной, так и в поперечной плоскости.

В конструкции зерноуборочных комбайнов с использованием пружинно-рычажных механизмов копирования функции продольного и поперечного копирования разделены. Такое решение позволяет обеспечить заданные значения целевых параметров и максимального снижения их взаимного влияния друг на друга при копировании рельефа поля во всех направлениях.

Для отсутствия взаимного влияния механизмов поперечного и продольного копирования их стремятся расположить в различных плоскостях. Поэтому расположение пружинно-рычажных механизмов относительно наклонной камеры отличаются на комбайнах разных производителей. В связи с этим по расположению пружинно-рычажных механизмов относительно приемного устройства комбайна (наклонная камера или питающе-измельчающий аппарат) можно выделить механизмы уравнивания с боковым (в вертикальной плоскости), фронтальным (спереди) или горизонтальным (верхним/нижним) расположением.

Как показывает многолетний опыт эксплуатации сельскохозяйственной уборочной техники, пружинно-рычажные механизмы копирования обладают конструктивной простотой и ремонтпригодностью и хорошо зарекомендовали себя на полях с небольшими неровностями поверхности. Однако, как правило, такие механизмы хорошо отрабатывают неровности в узком диапазоне значений.

При превышении этого диапазона вверх происходит резкое увеличение нагрузки на башмаках, что приводит к эффекту “бульдозерения”, чрезмерному уплотнению или разрушению верхнего слоя почвы и попадания почвы вместе с убираемой культурой в технологический тракт. При выходе из рабочего диапазона вниз происходит зависание адаптера, что приводит к потерям по высоте среза. Кроме того, такие механизмы также подвержены появлению эффекта “галопирования” адаптера, при котором ухудшается качество среза.

Следующей группой пассивных систем копирования являются системы копирования гидропневматического типа. Такие системы получили широкое распространение на самоходных кормоуборочных комбайнах и на зерноуборочных комбайнах некоторых производителей. В качестве упругого элемента в данных системах вместо пружин используются гидроцилиндры с присоединенными к ним ПГА.

Основной принцип работы механизмов гидропневматического типа на кормоуборочных комбайнах заключается в том, что адаптер жестко присоединен к питающе-измельчающему аппарату (ПИА) и совершает копирование профиля поля за счет качания совместно с ПИА вокруг шарнира, расположенного на оси вращения вала измельчающего барабана. Такая схема получила широкое распространение в кормоуборочных комбайнах благодаря тому, что она позволяет организовать стационарную зону перехода технологической массы из адаптера в питающий аппарат.

В пассивных системах данного типа для разгрузки опорных элементов адаптера используются те же гидроцилиндры, которые осуществляют подъем и перевод адаптера в транспортное положение. Отсюда первое неоспоримое преимущество этих систем – нет необходимости иметь два исполнительных элемента: установленный гидроцилиндр служит, как для разгрузки адаптера при осуществлении технологического процесса в диапазоне копирования, так и для подъема адаптера в транспортное положение. Вторым преимуществом этих механизмов является то, что система ГЦ-ПГА, являясь упругим элементом, позволяет подбирать необходимую характеристику изменения реакции на опорных элементах адаптера [1].

Несмотря на универсальность механизма копирования гидропневматического типа, позволяющего настраивать его использование с различными типами адаптеров из разных весовых групп, к недостаткам, так же как и в пружинно-рычажных механизмах, можно отнести ограниченный диапазон удовлетворительной характеристики по высоте профиля поля. Система копирования гидропневматического типа с рабочим замкнутым контуром ГЦ-ПГА обладает большой инерционностью и запаздыванием при копировании на больших скоростях движения, поэтому «не позволяет обеспечить качество технологических операций при больших кинематических возмущающих воздействиях» [2].

При резком изменении высоты профиля поля, вызванного, например, кочкой, из-за наличия повышенной инерционности происходит резкое увеличение нагрузки на башмаке, что приводит к эффекту “бульдозерения”, последующий подъем, а затем – замедленное опускание, которое приводит к потерям по высоте среза. С другой стороны инерционность замкнутой системы ГЦ-ПГА играет положительную роль в снижении либо практическом отсутствии эффекта “галопирования” адаптера.

Следующей группой систем, обеспечивающих копирование рельефа поля адаптерами зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов, являются активные системы копирования.

Можно предположить, что активные системы копирования это усовершенствованные пассивные системы копирования гидропневматического типа. В пассивных системах копирования функцию отслеживания изменения высоты профиля поля выполняет опорный элемент конструкции (колесо, башмак и пр.), который контактирует с почвой и воспринимает часть массы адаптера. Однако такое копирование не является эффективным в связи с вышеперечисленными недостатками. Для устранения этих недостатков в системах копирования гидропневматического типа появился комплекс дополнительных элементов и управляющих блоков, позволяющих отслеживать неровности поля и принудительно реагировать на изменение их высоты. Т.е. для улучшения работоспособности систем копирования гидропневматического типа в нее стали добавляться различные датчики, сенсоры, электронные компоненты и блоки, анализирующие входные сигналы, и на базе этих сигналов, позволяющие управлять необходимыми параметрами системы по определенному алгоритму. Эти системы получили название активных либо автоматических систем копирования.

По принципу взаимодействия элементов системы копирования с поверхностью поля активные системы можно разделить на системы силового и позиционного типа.

Силовое взаимодействие определяется, как правило, контактом опорного элемента адаптера с почвой. В технической литературе данные системы называют системами контактного копирования рельефа поля с электрогидравлическим приводом, чувствительным к нагрузке. Научно-методическое построение и функционирование подобной системы подробно изложено в публикации [2].

В активных системах копирования рельефа поля позиционного типа взаимодействие элементов системы с поверхностью характеризуется способом измерения высоты неровности поверхности поля. Эти системы можно разделить на системы контактного и бесконтактного копирования.

В системах контактного копирования рельефа поля позиционное взаимодействие определяется контактом специального щупа с почвой,

который фиксирует изменение высоты неровностей поля с помощью присоединенного к нему датчика положения.

В системах бесконтактного копирования рельефа поля используется принцип позиционного взаимодействия основанного на акустических [3], оптических либо совмещенных акустико-оптических методах измерения расстояния [4]. В настоящее время эти системы не нашли своего применения на косилках, кормоуборочных и зерноуборочных комбайнах из-за наличия в составе агрофона после среза растений стерни и пожнивных остатков, которые формируют частотные помехи и ложные срабатывания.

Как показала практика, удовлетворительная работа активных систем копирования с электрогидравлическим приводом, чувствительным к нагрузке или позиционированию, обеспечивается на скорости движения комбайна не превышающей 6 м/с. Это вызвано как ограничивающим быстроедействие всех компонентов системы, так и тем фактом, что такие системы проявляют пассивность при движении адаптера вниз. Как следствие, при работе на повышенных скоростях движения происходит запаздывание опускания адаптера, что приводит к потерям по высоте среза.

Логичным шагом для решения указанных выше проблем активных систем автоматического копирования это совмещение преимуществ быстрогодействия рычажно-пружинных систем с достоинствами управляющего воздействия активных систем. К таким совмещенным гибридным системам можно отнести системы, у которых в малом диапазоне копирования рельефа (микрорельеф) поля основную функцию копирования выполняет механическая система, а при выходе из этого диапазона (макрорельеф) в работу вступает активная электрогидравлическая система. Как правило, с помощью активной электрогидравлической системы происходит перевод механической системы в новую зону работы на уровне макрорельефа. Теоретически для таких систем частично устраняется недостаток, связанный с медленным опусканием адаптера, который фиксируется в активных системах с электрогидравлической схемой копирования.

Некоторыми авторами предполагается, что использование гибридной схемы копирования, приведет к повышению производительности зерноуборочного комбайна за счет работы его на повышенных скоростях и к устранению эффекта “галоирования” жатки во время работы [5]. Один из вариантов гибридных систем приведен в публикации М.В. Кандели [5], в которой представлена описательная часть устройства для автоматического копирования рельефа поля жаткой, предложенного авторами. Несмотря на то, что в работе подробно излагается принцип работы предложенной системы автоматического

копирования на различных режимах, авторами не приводятся результаты теоретического либо практического исследования работы такой системы.

Вариант гибридной системы автоматического копирования поверхности поля был разработан и прошел успешные полевые испытания на опытном образце зерноуборочного комбайна, разработанного в НТЦК ОАО «Гомсельмаш», что показывает перспективность развития подобных систем.

Заключение. Пассивные системы копирования – исторически первая группа систем уравнивания. Они хорошо себя зарекомендовали в узких диапазонах работы, но обладают некоторыми недостатками. Эти системы не могут перенастраиваться под резкие изменения высоты профиля поля и не являются автоматическими. Применение активных систем копирования предполагает автоматизацию высотного регулирования рабочих органов с помощью различных средств. Эти системы позволяют автоматизировать и управлять процессом копирования непрерывно в процессе работы, однако также не лишены недостатков. Гибридные системы – перспективные системы копирования поверхности поля, совмещающие положительные качества первых двух групп и обеспечивающие работоспособность системы копирования сельскохозяйственных машин на повышенных скоростях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рехлицкий О.В. Математическое описание системы уравнивания адаптеров мобильной кормоуборочной машины с применением пневмогидроаккумулятора/ О.В. Рехлицкий, Ю.В. Чупрынин // Механика машин, механизмов и материалов.– 2014. – №1(26). – С. 40–48.
2. Строк Е.Я. Построение активной системы контактного копирования рельефа поля / Е.Я. Строк, Л.Д. Бельчик, А.А. Ананчиков, Т.Л. Александрова// Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / ГНУ «Объед. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси». – Минск, 2018 – Вып. 7/ редкол.: С.Н. Поддубко (пред.) [и др.]. – С. 115-120.
3. Строк Е.Я. Бесконтактное копирование рельефа поверхности поля рабочими органами сельхозмашин с использованием акустических методов/ Е.Я. Строк, Л.Д. Бельчик, А.В. Ващула, А.В. Захаров // Тракторы и сельхозмашины, 2012, №6. – С.35-40.
4. Бышов Н.В. Копирование рельефа почвы без механического контакта при удалении картофельной ботвы/ Н.В. Бышов, М.Н. Горохова и др.// Научный журнал КубГАУ, №90(06), 2013.
5. Канделя М.В. Устройство для автоматического копирования рельефа поля жаткой /М.В. Канделя, П.А. Шилько, Р.Р. Фатхуллин// «Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема», 2016, № 1(22). – С.18-24

УДК 631.354.2.076

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ РЕШЕТ

И.А. Баран, А.Н. Вырский

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

Аннотация. В статье рассматривается влияние увеличения длины технологического тракта системы очистки зерноуборочного комбайна и влияние различных параметров на формирование технологического потока в системе очистки. Предлагается выполнять подбор оптимальных параметров системы очистки на основе экспериментальных данных и численного моделирования аэродинамики технологического тракта.

На современном этапе развития машиностроительного комплекса при разработке высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции, возникает необходимость использования перспективных компьютерных технологий. Данные технологии позволяют обеспечить поддержку жизненного цикла продукции, так называемых CALS технологий. Ядро CALS-технологий составляют CAD/CAE/CAM/PDM – технологии, в которых традиционный последовательный подход к разработке новых изделий заменен принципиально новым интегрированным подходом, получившим название «параллельное проектирование». В основе этой технологии лежит идея совмещенного во времени компьютерного проектирования изделия (CAD), выполнения многовариантных инженерных расчетов (CAE, компьютерный инжиниринг – наукоемкая составляющая CALS-технологий) и технологической подготовки производства (CAM), что позволяет использовать проектные данные, начиная с самых ранних стадий проектирования и инженерного анализа одновременно различными группами специалистов (PDM).

Необходимость применения CAE-технологий в промышленности возникает в связи с тем, что ведущие фирмы мира в своих разработках используют наукоемкие CAE-технологии инженерного анализа. В РКУП “ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике” активно внедряются современные компьютерные CAE-технологии: с 1995 года для решения пространственных задач механики деформируемого тела и задач теплопередачи и теплообмена используется интегрированная система прочностного анализа (FEM-система) ИСПА; для решения задач кинематического и динамического моделирования сложных механических систем внедрена система ADAMS; для решения нелинейных и

быстропротекающих процессов в деформируемых средах со сложными реологическими свойствами, задач контактного динамического взаимодействия, а также задач механики конструкций, содержащих жидкость, используются системы MARC и LS-DYNA.

До недавнего времени в НТЦК ОАО «Гомчельмаш» не были задействованы CAE-технологии исследования газодинамических процессов в рабочих органах сельскохозяйственных машин. Это исследования термодинамики и аэродинамики в подкапотном пространстве самоходных сельскохозяйственных машин, исследование системы очистки в зерноуборочных комбайнах, исследование процесса транспортировки технологической массы в кормоуборочных комбайнах.

Объектом исследования, описываемым в данной статье, является система очистки зерноуборочного комбайна (СОЗК).

Цель работы – обоснование и выбор формализованного описания аэродинамики в СОЗК, обеспечивающего лучшие показатели производительности и энергоемкости технологического тракта.



Рис. 1 – Самоходный зерноуборочный комбайн КЗС-3219

При решении задач получения заданного характера распределения скоростей воздушного потока по длине и ширине решет очистки определяются необходимые конструктивные изменения проточных частей, а также необходимости применения различного рода дефлекторов и делителей, которые позволяют направить поток необходимым образом. Без применения CAE-технологий такая задача требует проведения множества экспериментальных трудоемких работ по оценке влияния на распределение скоростей воздушного потока геометрических параметров дефлекторов в сочетании с изменением геометрической формы корпуса самого вентилятора. Задача усложняется еще тем, что для адекватной оценки полученных экспериментальных значений для каждого значения влияющего параметра необходим статистический набор массива данных,

так как течение воздуха носит неустановившийся характер и может значительно измениться при незначительном изменении условий численного эксперимента.

Проточная область системы очистки зерноуборочного комбайна, предназначенной для выделения зерна из вороха, поступающего из молотильного устройства и соломотряса, обладает рядом конструктивных особенностей.

Основными узлами очистки являются: один или два решетных стана, колеблющихся на подвесках, вентилятор, зерновой и колосовой шнеки и приводной механизм. Основными вентиляторами, применяемыми в классических комбайнах, являются центробежные.

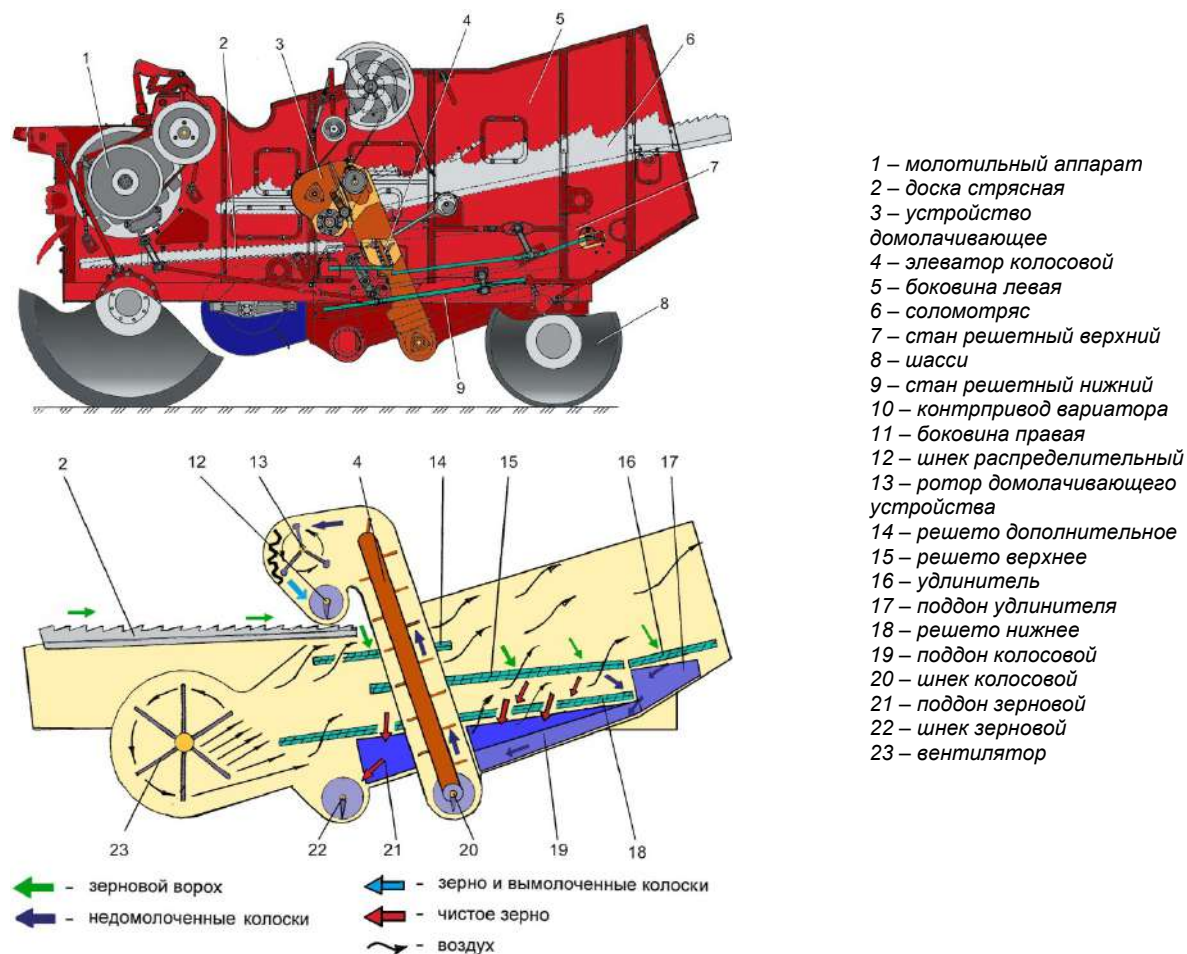


Рис. 2 – Схема работы очистки зерноуборочного комбайна.

В современных зерноуборочных комбайнах применяются двухстанные ветрорешетные очистки при совершении колебаний решет в противоположные стороны. Качество выделения зерна из вороха, при прочих равных условиях, зависит от воздушного потока вентилятора, размеров отверстий решет и их кинематики. Разделение вороха в очистке на зерно и незерновые примеси производится в основном по крупности и по парусности частиц. В зерноуборочных комбайнах применяют

регулируемые жалюзийные решета очисток для настраивания размеров отверстий. Для улавливания охвостья (невыделевшегося зерна, колосьев) верхнее решето обычно заканчивается удлинителем.

Зерновой ворох, прошедший через отверстия удлинителя верхнего решета, и сходы со второго решета поступают в колосовой шнек, откуда в зависимости от содержания недомолоченного колоса направляются в молотильный аппарат или на начало соломотряса.

Зерновой ворох подается на очистку стрясной доской, снабженной пальцевой решеткой, которая располагается над передней частью верхнего решета. Она предназначена для отвода крупных солоmistых примесей к середине решета, чем создаются благоприятные условия для просеивания основной части зерна в начале его.

Зерновой материал после выделения его из вороха представляет в большинстве случаев смесь, состоящую из семян основной культуры, семян посторонних растений и из примеси разнородного сора минерального и органического происхождения.

Одним из способов повышения производительности очистки является увеличение площади решет. Этот способ достаточно широко применяется в мировом комбайностроении, однако несмотря на кажущуюся простоту решения, он имеет и свои негативные стороны. Увеличение площади сепарации приводит к увеличению габаритов и металлоемкости комбайна, затрудняется равномерное распределение обрабатываемого вороха по ширине решет, а установка дополнительных решет неизбежно приводит к излишнему усложнению и, следовательно, к снижению надежности. Учитывая отмеченные нежелательные последствия увеличения площади решет, в мире проведено немало исследований направленных на повышение производительности и качества работы систем очистки путем интенсификации технологического процесса их работы.

Усовершенствования в данной области можно разделить на несколько групп:

- применение различных конструктивных изменений существующей системы решет (применение дифференцированной расстановки пластин верхних жалюзийных решет для достижения большего соответствия эпюре воздушного потока; замена конца стрясной доски непродуваемым решетом; применение двухпоточной очистки, позволяющей отдельно собирать зерно из-под первого молотильного барабана и из-под остальных рабочих органов молотилки; применение жалюзийных решет с увеличенным расстоянием между гребенками и увеличенной высотой зуба; применение решет с шахматным расположением зуба; применение жалюзийно-струнных решет);

- применение конструкций систем очисток с рациональным использованием воздушного потока (использование многосекционных

центробежных вентиляторов, использование диаметральных и осевых вентиляторов вместо центробежных, использование дефлекторов и направляющих воздушного потока; рациональный подбор геометрических параметров вентиляторов и наклона жалюзей решет);

- использование нетрадиционных систем очисток (конвейерно-решетная система очистки, конвейерно-роторная система очистки, пневмоинерционные очистки, циклонно-аспирационные сепараторы, центробежно-пневматические сепараторы).

Однако, как показали многочисленные исследования, при изменении схемы традиционной очистки существенный прирост производительности получали либо для узкого диапазона агротехнических показателей сепарируемого вороха (влажность, соломистость, засоренность и т.п.), либо за счет существенного усложнения конструкции. В случае незначительного усложнения конструкции и при стабильной работе очистки во всем диапазоне агротехнических показателей зернового вороха для разных культур, прирост производительности был незначительным.

Таким образом, основной путь увеличения производительности зерноуборочного - подбор оптимальных параметров системы очистки путем компьютерного моделирования процесса очистки на основании экспериментальных данных.

Однако в связи с большим количеством влияющих параметров данный путь сопряжен с большим количеством экспериментальных работ. Экспериментальные работы требуют значительных материальных и временных затрат, а в случае с определением оптимального сочетания множества равновлияющих факторов проведение данных работ по увеличению производительности становится экономически неэффективным.

Выходом в данной ситуации является проведение компьютерного моделирования процессов, происходящих в системе очистки на основании реальных физических процессов с помощью численного моделирования аэродинамики технологического тракта. Для компьютерного моделирования турбулентных течений в системе очистки зерноуборочного комбайна в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» используется модуль ANSYS Fluent программно-аппаратного комплекса ANSYS. Использование возможностей программного комплекса ANSYS Fluent при моделировании аэродинамических потоков позволяет получить реальное представление о физических процессах, происходящих внутри исследуемой области, что в свою очередь дает возможность улучшить конструкции проточных частей систем очистки зерноуборочных комбайнов.

Так как характер аэродинамических потоков в системе очистки является турбулентным, для анализа этой турбулентности необходимо

выбрать определенные алгоритмы решения, предлагаемые ANSYS Fluent. Одной из важнейших составляющих алгоритма решения является модель турбулентности. В ANSYS реализованы множество моделей турбулентности для расчета механики сплошных сред таких как Спаларта-Аллмараса, k - ϵ , k - ω , SST и др а также различные их вариации.

Модель Спаларта-Аллмараса.

Эта модель относится к классу однопараметрических моделей турбулентности. Здесь появляется только одно дополнительное уравнение для расчета кинематического коэффициента вихревой вязкости. Это низкорейнольдсовая модель, которая описывает всю область течения, включая пристеночные слои. Изначально модель была предложена для решения аэродинамических задач. Ее выгодно отличают относительно хорошая устойчивость и надежность, а также не слишком высокие требования к плотности расчетной сетки. Опыт показывает, что данная модель не очень хорошо описывает сдвиговые и отрывные течения, а также затухание турбулентности. Преимуществом этой модели является ее устойчивость и хорошая сходимость, а также отсутствие высоких требований к вычислительным мощностям.

k - ϵ модель турбулентности.

В k - ϵ модели турбулентности записываются два дополнительных уравнения для расчета кинетической энергии турбулентности k и скорости диссипации кинетической энергии ϵ . Буферный слой не моделируется, для расчета скорости у стенки используются пристеночные функции. Благодаря быстрой сходимости и относительно низким требованиям к объему памяти k - ϵ модель очень популярна при решении промышленных задач. Она не очень точна при моделировании течений с положительным градиентом давления, струйных течений и течений в области с сильно искривленной геометрией. Модель хорошо подходит для решения задач внешнего обтекания тел сложной геометрической формы. Например, k - ϵ модель можно использовать для моделирования потока вблизи плохо обтекаемого тела.

Модели турбулентности, перечисленные ниже, отличаются более высокой степенью нелинейности по сравнению со стандартной k - ϵ моделью, и поэтому зачастую в расчетах на основе этих моделей бывает трудно добиться сходимости, если только не воспользоваться хорошим начальным приближением. Результаты расчета, полученные с помощью стандартной k - ϵ модели, могут послужить таким начальным приближением.

k - ω модель турбулентности.

Модель k - ω похожа на k - ϵ , только здесь решается уравнение для удельной скорости диссипации кинетической энергии ω . Эта модель относится к низкорейнольдсовым, но она также может быть использована совместно с пристеночными функциями. Она отличается более высокой

степенью нелинейности, а потому хуже сходится, чем стандартная k - ϵ модель, а кроме того, достаточно чувствительна к начальному приближению. Использование k - ω модели дает хорошие результаты в тех задачах, где k - ϵ модель недостаточно точна, например, при моделировании внутренних течений, течений по сильно искривленным каналам, отрывных и струйных течений.

k - ω -модель относится к классу дифференциальных моделей турбулентности с двумя уравнениями, в ней строятся два дополнительных дифференциальных уравнения переноса для осредненных пульсационных характеристик, через которые затем выражается коэффициент турбулентной вязкости μ_t .

К достоинствам k - ω -моделей относится высокая точность при расчете свободных сдвиговых течений. Они достаточно универсальны и не требуют задания каких-либо дополнительных параметров. Тем не менее, трудности, связанные с их применением в пристенных областях, заставляют исследователей изобретать все новые и новые модели. Однако до настоящего времени никаких предпочтений среди моделей, базирующихся на концепции осреднения по Рейнольдсу, по существу, не наблюдается, поскольку не существует «универсальной» модели турбулентности.

SST-модель.

SST-модель представляет собой комбинацию k - ϵ и k - ω моделей турбулентности: для расчета течения в свободном потоке используются уравнения k - ϵ модели, а в области вблизи стенок — уравнения k - ω модели. Это низкорейнольдсовая модель, которая стала своего рода стандартом для инженерных приложений. Требования к плотности сетки здесь те же, что и у k - ω модели и низкорейнольдсовой k - ϵ модели, однако эта модель лишена некоторых недостатков исходных k - ω и k - ϵ моделей.

Модель Reynolds Stress (RSM).

Модель напряжения Рейнольдса является наиболее полной классической моделью турбулентности. В этих моделях избегают гипотезы вихревой вязкости и непосредственно вычисляют отдельные компоненты тензора напряжений Рейнольдса. Эти модели используют точное уравнение переноса напряжения Рейнольдса для их формулировки. Они учитывают направленные эффекты напряжений Рейнольдса и сложные взаимодействия в турбулентных потоках. Модели напряжения Рейнольдса обеспечивают значительно лучшую точность, чем модели турбулентности на основе вихревой вязкости, и при этом проще в вычислительном отношении, чем прямое численное моделирование (DNS) и моделирование больших вихрей. Однако для реализации данной модели турбулентности при решении задач аэродинамики очистки необходимы достаточно большие вычислительные мощности.

На основании анализа результатов расчетов, проведенных с использованием приведенных выше моделей турбулентности, и экспериментальных исследований аэродинамических потоков в системах очистки зерноуборочных комбайнов, проведенных в НТЦК ОАО «Гомсельмаш», для расчета сплошной среды в системе очистки зерноуборочного комбайна было принято решение об использовании k - ω -модели турбулентности при проведении компьютерного моделирования аэродинамики в проточных частях аэродинамического тракта комбайнов.

Для повышения производительности системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-3219КР был рассмотрен вариант конструкции с удлиненными верхним и нижним решетными станами с увеличением площади решет на 23%.

Как показало компьютерное моделирование измененной очистки, при удлинении решет значительно изменяются скоростные характеристики воздушных потоков и их направление, что потребовало проведения ряда расчетов для разработки предложений по изменению геометрии проточных частей очистки с целью получения требуемого характера распределения воздушных потоков над верхним и нижним решетными станами.

На рисунке 3 представлены расчетные поля скоростей аэродинамических потоков в исходной конструкции системы очистки, а также графики этих скоростей, замеренных экспериментально и рассчитанных в ANSYS Fluent с использованием k - ω модели турбулентности. Как следует из рисунка 3, результаты расчета с использованием компьютерного моделирования и результаты эксперимента практически одинаковы с разницей в пределах погрешности расчета и эксперимента.

На рисунке 4 представлены расчетные поля скоростей аэродинамических потоков в измененной конструкции системы очистки с удлиненными решетками и графики этих скоростей, замеренных экспериментально и рассчитанных в ANSYS Fluent с использованием k - ω модели турбулентности.

Таким образом используемые в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» алгоритмы и методики компьютерного моделирования и оптимизации аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна позволяют разрабатывать необходимые конструктивные изменения проточных частей очистки для получения ее заданных характеристик.

Оптимальное решение проблем повышения производительности и технологического уровня зерноуборочных комбайнов на этапе проектирования невозможно без использования методов математического моделирования аэродинамических процессов в рабочих органах комбайнов.

Наличие только теоретических и экспериментальных полей распределения скоростей воздушных потоков недостаточно для принятия решения о необходимости дальнейшего совершенствования конструкции системы очистки. Это объясняется тем, что свойства зерен и частиц примесей меняются в широком диапазоне, и для выработки заключения о соответствии конструкции очистки заявленным техническим параметрам по производительности, степени очистки, повреждаемости, и т.д., необходимо проведение большого объема экспериментальных исследований при уборке различных культур с различной урожайностью, влажностью, соломистостью и др., анализа этих результатов, принятия решений о внесении конструктивных изменений, проверке данных изменений в полевых условиях и т.д. Из вышеприведенного следует, что экспериментальная доводка системы очистки комбайна является весьма трудоёмким процессом.

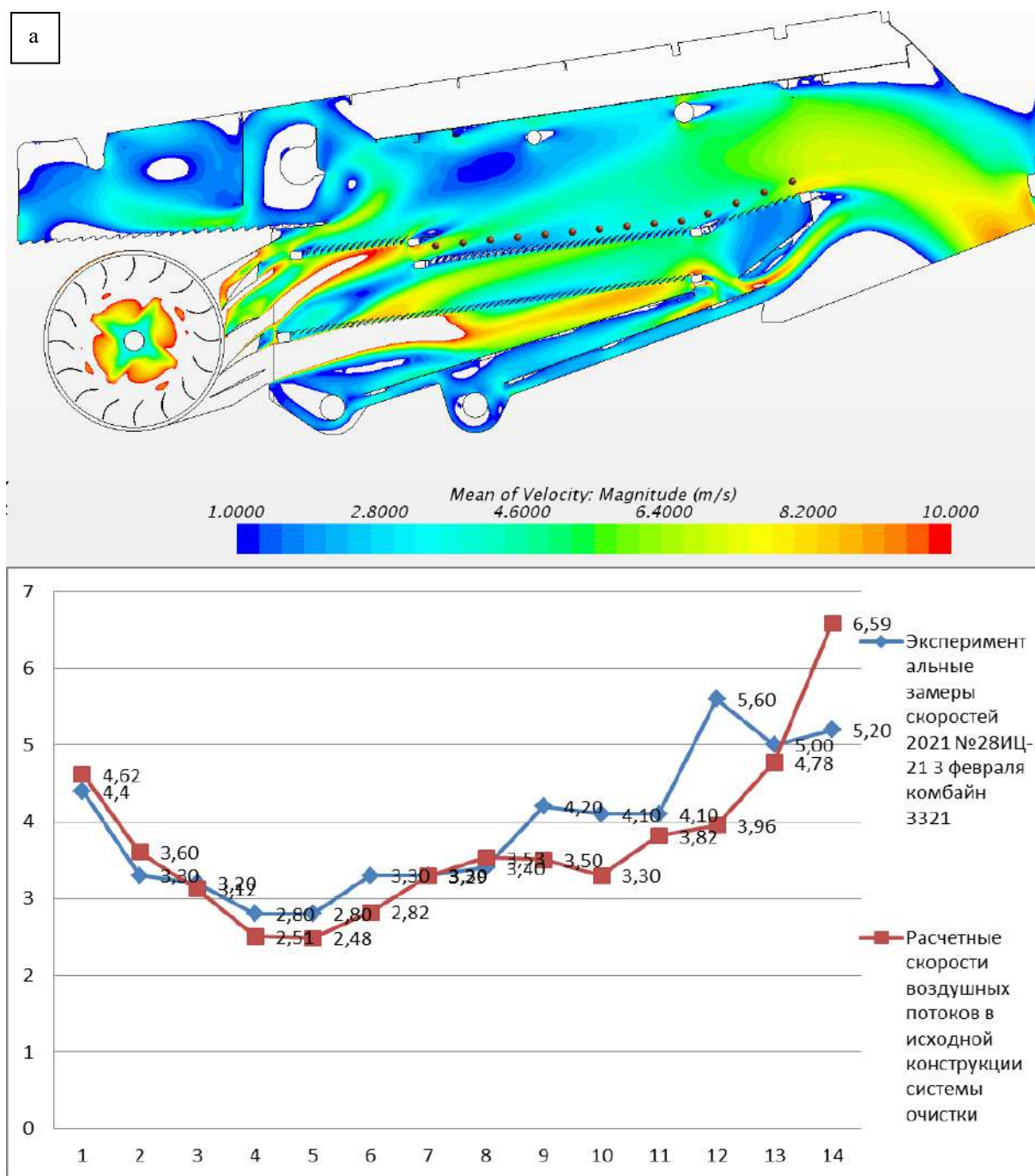


Рис. 3 – Поля и графики распределения скоростей аэродинамических потоков системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-3219КР исходной конструкции

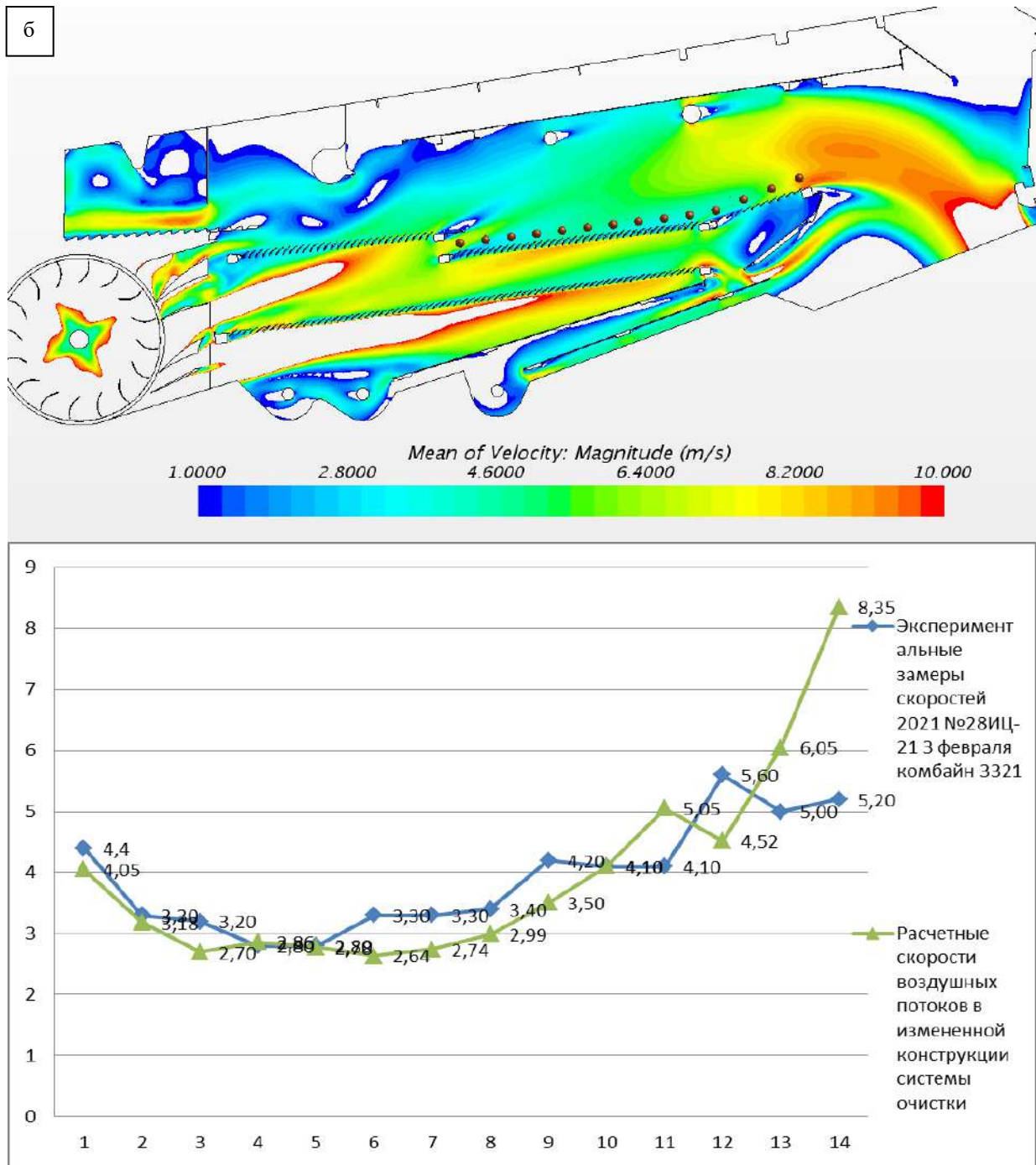


Рис. 4 – Поля и графики скоростей аэродинамических потоков системы очистки зерноуборочного комбайна в модернизированной конструкции

ЛИТЕРАТУРА

1. Крот А.М., Минервина Е.Б., Ткачева П.П., Балдин В.А. Численное моделирование на основе программного пакета STAR-CD аэродинамических потоков с целью выявления ударных волн в турбокомпрессоре //II международная научно-техн. конференция «Авиадвигатели XXI века», Москва, ЦИАМ, 6-9 декабря 2005г. - Т.1-С.3

2. Бойко Л.И. Динамическое взаимодействие колеблющегося органа ашины с источником энергии ограниченной мощности // Весці НАН РБ. Сер. фізіка-тэхнічных навук-1998.-№3.-С.28-36.

3. Попов В.Б. Алгоритм параметрического анализа механизма двухстанной очистки зерноуборочного комбайна / В.Б. Попов, А.В. Голопятин, А.А. Новиков // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно - практический журнал. - 2018. - № 2. - С. 27-33.

4. Попов В.Б. К вопросу о параметрической оптимизации механизма очистки зерноуборочного комбайна / В.Б. Попов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра : сб. тезисов докладов 2-ой междунар. науч.-практ. конф., 4-5 окт. 2018 г. - Гомель, 2018. - С. 50-52.

5. Баран И.А. Использование компьютерного моделирования аэродинамических потоков при проектировании систем очистки зерноуборочных комбайнов / И.А. Баран, А.Н. Вырский, С.В. Труханович // Молодежь в науке — 2014 : приложение к журналу "Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі" : [материалы Международной научной конференции молодых ученых, Минск, 18—21 ноября 2014 г.] : в 5 ч.. Ч. 3: Серия физико-технических наук; Серия физико-математических наук. Минск 2015 — с.56-61.

6. Баран И.А. Исследование распределения воздушных потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1319 в зависимости от геометрических параметров проточных областей / И.А. Баран, С.В. Труханович // Вестник аграрной науки Дона — 1(45)2019: Теоретический и научно-практ. журнал. Россия. Зеленоград — с.29-38.

7. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.Ф. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование Т. IV-16/И.П. Ксенович, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Ксеновича. 2002. с.228-233

8. Крот А.М. Компьютерное моделирование пароводяных потоков внутри рабочей камеры микротурбины и оценивание коэффициента полезного действия для усовершенствования конструкции турбоагрегата / А.М. Крот, П.П. Ткачева, И.Н. Спагар // Информатика. – 2017. - №. 2(54).

9. Баран И.А. Исследование распределения воздушных потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1319 в зависимости от геометрических параметров проточных областей / И.А.Баран, С.В.Труханович // Вестник аграрной науки Дона — 1(45)2019: Теоретический и научно-практ. журнал. Россия. Зеленоград — с.29-38.

УДК 62-83-52

НАГРУЖЕННОСТЬ ПОВОРОТНОГО КУЛАКА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ УКЛОНА

П.Е. Родзевич

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

Зерноуборочный комбайн может работать на полях с уклоном до 8° . При движении по горизонтальной поверхности ($\alpha = 0^\circ$) на ось поворотного кулака будут действовать следующие нагрузки (рис. 1): в вертикальной плоскости сила F_1 , которая соответствует весу комбайна, приходящемуся на одно колесо, сила сопротивления перекачиванию F_2 с коэффициентом сопротивления качению $f = 0,1$ (для стерни).

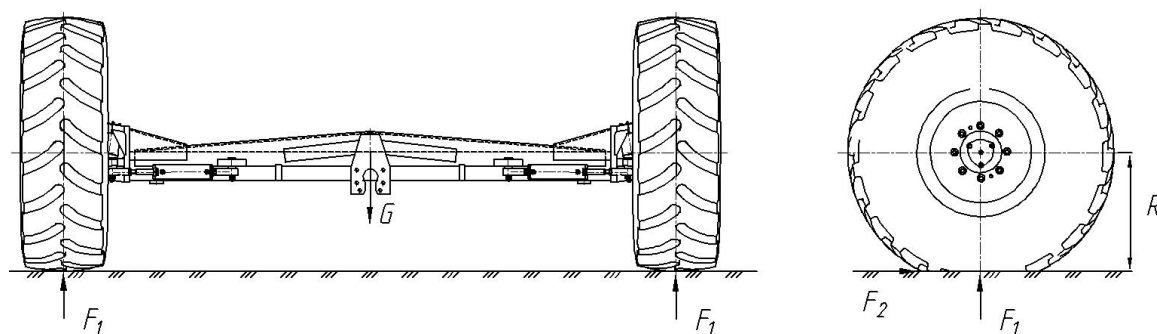


Рис. 1 – Схема приложения нагрузок при движении комбайна по горизонтальной поверхности

При движении комбайна на склоне с углом $\alpha = 8^\circ$ со стороны почвы будет возникать сила F_3 , создающая изгибающий момент на плече R (рис. 2).

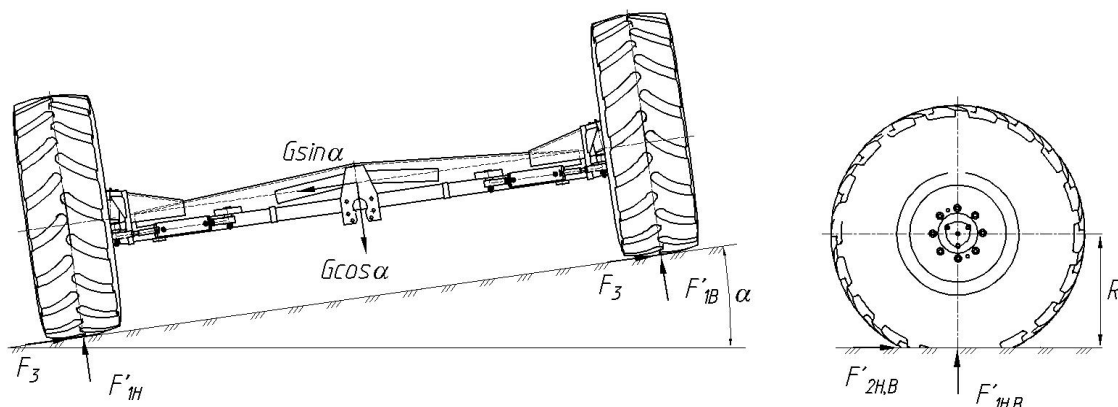


Рис. 2 – Схема приложения нагрузок при движении комбайна на поперечном уклоне ($\alpha > 8^\circ$)

Анализ схем приложения нагрузок, показывает, что на горизонтальном участке нагруженность левого и правого кулака одинакова, на уклоне сила F_3 будет создавать изгибающий момент. И если для левого кулака моменты от силы F_3 и реакции опоры F'_{1H} разнонаправлены, то для правого они суммируются. На рисунках 3, 4 представлены картины изолиний эквивалентных напряжений (по Мизесу) оси поворотного кулака при движении комбайна на горизонтальном участке и на уклоне, соответственно.

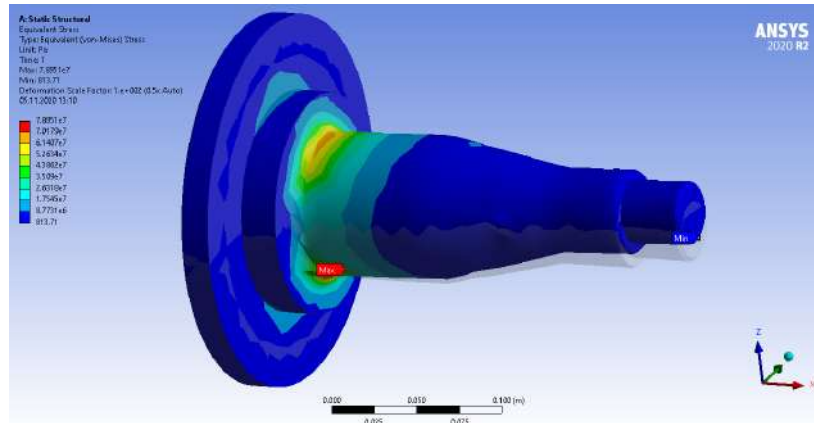


Рис. 3 – Картины изолиний эквивалентных напряжений

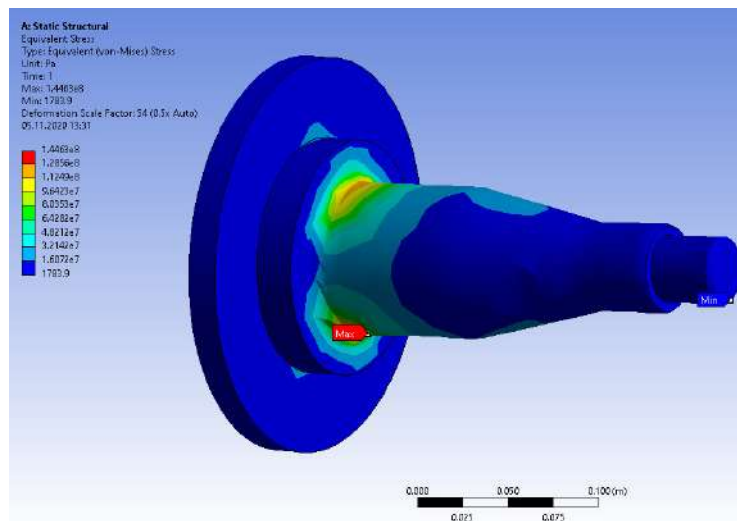


Рис. 4 – Картины изолиний эквивалентных напряжений

Максимальные статические напряжения, возникающие в оси поворотного кулака управляемого моста зерноуборочного комбайна при его движении по горизонтальному участку и по поперечному уклону, изменяются в широких пределах и составляют 78,95 МПа при движении комбайна на горизонтальном участке и 144,6 МПа при движении по уклону. Значительное влияние на рост напряжений имеет действие боковой силы F_3 , создающей на радиусе колеса значительный изгибающий момент.

УДК 631.354.2.076

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО АППАРАТА НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЖАТКИ

Н.Л. Прокопенко, А.Н. Кондрашова

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

Введение. Большинство жаток современных сельхозмашин оборудованы сегментно-пальцевым режущим аппаратом, который предназначен для срезания стеблей зерновых, технических культур и состоит из пальцевого бруса и подвижного ножа (рис. 1). Привод ножа осуществляется с помощью планетарного редуктора через клиноременную передачу. Резание стеблей происходит в зазоре между режущими лезвиями и краями противорежущих пластинок при колебательном (возвратно-поступательном) движении ножа в пальцевом брус.

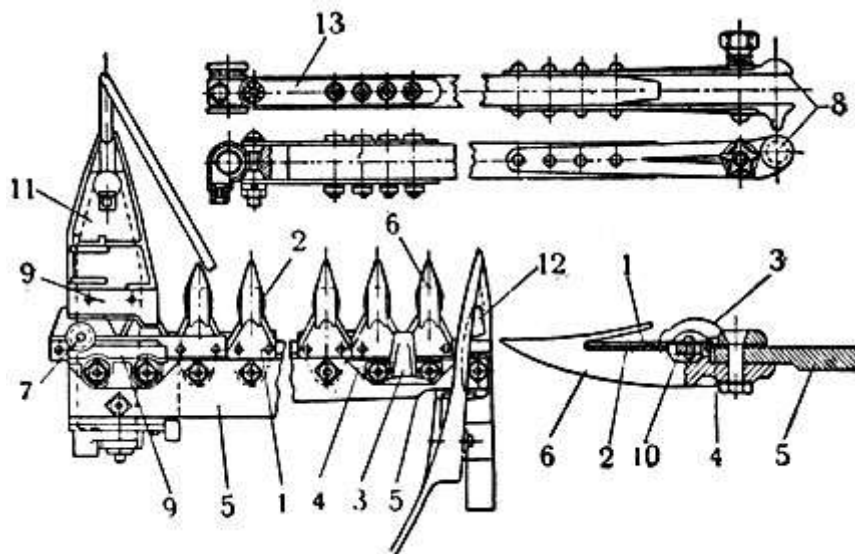


Рис. 1 - Режущий аппарат жатки: 1 - сегмент ножа; 2 - вкладыш пальца; 3 - нажимная лапка; 4 - пластинка трения; 5 - пальцевый брус; 6 - палец; 7 - головка ножа; 8 - ложечка шатуна; 9 - направляющие крышки; 10 - спинка ножа; 11 - внутренний башмак; 12 - наружный башмак; 13 - шатун

Нож состоит из стальной полосы с приклёпанными к ней сегментами, представляющими собой плоские стальные пластинки трапецевидной формы. Боковые стороны трапеций заточены. Ножи соединяется с шатуном кривошипно-шатунного механизма, приводящего нож в возвратно-поступательное движение. Пальцевый брус жаток жёстко скреплён с платформой машины. При работе ножа, давление

воспринимается пластинками трения, расставленными по длине пальцевого бруса на некотором расстоянии друг от друга. Для предупреждения отхода ножевых сегментов от противорежущих пластинок служат нажимные лапки, расставленные по пальцевому брусу над пластинками трения.

Движение ножа зерноуборочной машины складывается из двух движений, переносного поступательного вместе с машиной и относительного - ножа в пальцевом брусе [1]. В результате сложения этих двух движений каждая точка лезвия ножа перемещается по некоторой кривой линии (синусоиде). За один оборот кривошипа сегмент ножа перемещается из начального положения в крайнее, а из крайнего в начальное положение.

Скорости резания имеют большое значение, как для качества среза, так и для требуемого усилия срезания. При срезании на небольшой скорости стебель сначала сплющивается вдавливающимся в него лезвием сегмента, затем часть волокон разрывается, часть скалывается, а остальная - срезается или отрывается. Усилие, требуемое для такого рваного среза, достаточно велико. При увеличении скорости срезание происходит легче и чище, но возрастают инерционные силы колеблющихся масс, а также расход мощности на холостые движения ножа.

В данной работе авторами проиллюстрировано моделирование возмущения инерционной нагрузки режущего аппарата в специализированном расчетном пакете, ее влияние на нагруженность жатки, а так же проведено сравнение результатов моделирования с натурным экспериментом. Путем пошаговой оптимизации методом последовательных приближений, на основе анализа подобраны геометрические параметры опор шнека, обеспечивающие равно прочное состояние конструкции и требуемый уровень отстройки собственных частот конструкции шнека от частоты возмущения режущего аппарата.

Методика исследования. Исследование влияния вибрационного отклика на усталостную прочность установки шнека жатки, применяемого для жатки ЖЗК-9, выпускаемой ОАО «Гомсельмаш». Потребность в расчете опор шнека возникла в связи усталостным разрушением во время эксплуатации.

Для исследования возникшей научно-технической проблемы было проведено моделирование конструкции установки шнека на жатке с использованием программного обеспечения Ansys Workbench [7], в частности для данного расчета использовалась система динамического расчета Transient Structural с применением метода суперпозиций, который заключается в предварительном расчете модальных форм и собственных частот конструкции установки шнека.

Для того чтобы процесс моделирования возмущающего отклика от режущего аппарата был более точен, необходимо учесть моменты инерции боковин, а также точечных сосредоточенных масс с учетом их инерционных характеристик. Важным параметром, для определения виброускорения в зоне установки вибродатчика, является коэффициент демпфирования, который представляет собой отношение коэффициента модального затухания к круговой частоте свободных колебаний. Для расчета принят коэффициент демпфирования 2% согласно [3].

На рисунке 2 показан режим нагружения конструкции жатки ЖЗК-9 от силы инерции режущего аппарата. Конструкция нагружалась силой изменяющейся по гармоническому закону с амплитудой 3550Н, с частотой двойных ходов режущего аппарата $f = 10,5$ Гц.

$$F = m \cdot a = 19,19 \cdot 184,98 = 3550 \text{ Н}, \quad (1)$$

где F - сила инерции подвижной части (косы) режущего аппарата, Н; m - масса подвижной части (косы), $m = 19,19$ кг; a - ускорение подвижной части (косы), м/с^2 ;

$$a = w^2 \cdot A = (2 \cdot 3,14 \cdot 10,5)^2 \cdot 0,0425 = 184,98, \quad (2)$$

где $w = 2\pi \cdot f$ – круговая частота двойных ходов режущего аппарата, рад/с ; A - амплитуда подвижной части режущего аппарата, м;

$$A = 0,5 \cdot H = 0,5 \cdot 0,085 = 0,0425 \text{ м}, \quad (3)$$

где H – размах подвижной части (косы) режущего аппарата, $H = 85$ мм.

Для верификации проведенного расчета были выполнены экспериментальные замеры виброускорения на рычаге опоры шнека. Расположение датчика (Зона А) изображено на рисунке 2.

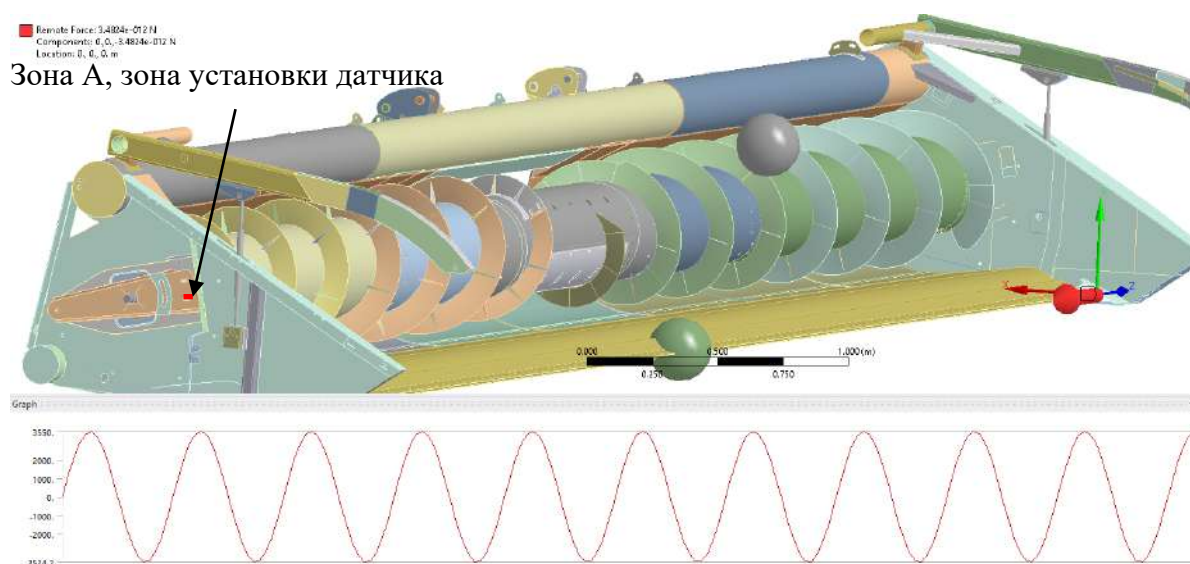


Рис. 2 – Режим нагружения конструкции жатки от силы инерции режущего аппарата.

Анализ переходных процессов предназначен для нахождения динамической реакции системы при действии некоторых нагрузок, зависящих от времени. Мы используем этот тип анализа для определения временной зависимости перемещений, деформаций, напряжений и сил в системе как реакцию на некоторую комбинацию статических, переходных и гармонических сил. Расчет во временной шкале означает, что эффекты инерции и демпфирования являются важными [6].

Основное уравнение движения имеет вид

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + c \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F(t) \quad (4)$$

где m – матрица масс; c – матрица коэффициентов радиального или осевого демпфирования конструкции; k – матрица коэффициентов радиальной или осевой жесткости конструкции; x – обобщенная координата системы; $F(t)$ – вектор нагрузок.

В данный момент времени это уравнение может интерпретироваться как набор статических уравнений равновесия с учетом сил инерции и сил демпфирования. Использует метод Ньюмарка в процедуре интегрирования по времени. Приращение по времени задается временными шагами [5].

На основе геометрической 3D модели построена конечно-элементная сетка. Для уменьшения количества элементов сетки и соответственно ускорения расчета были применены четырехузловые элементы с шестью степенями свободы. Для получения более качественной картины в зоне появления усталостной трещины, было локальное разбиение с более мелким размером сетки [4].

Результаты исследования и их обсуждение.

Процент «отстройки» от резонансной частоты (P) и динамический коэффициент усиления внешнего воздействия при приближении к зоне резонанса (k_d), рассчитываем по формулам 5 и 6 [3]:

$$P = \left(1 - \frac{\varphi}{\omega}\right) \cdot 100\% \quad (5),$$

$$k_d = \frac{1}{1 - \frac{\varphi^2}{\omega^2}} \quad (6)$$

где: ω – собственная частота, Гц; φ – частота возбуждающей силы (вынужденные колебания), Гц.

Собственная частота первой формы колебаний составляет 9,08 Гц (рис. 3), отстройка от резонансной частоты двойных ходов режущего аппарата равна 15,6 %, что не удовлетворяет условиям виброустойчивости (минимально допустимая отстройка $[\Delta]_{\min} \geq 20\%$). Однако характер

деформаций шнека не соответствует направлению возмущению от режущего аппарата, поэтому эта форма не критична для опор шнека.

Собственная частота второй формы колебаний составляет 12,74Гц (рис. 4), отстройка от резонансной частоты двойных ходов режущего аппарата равна 17,5 %, что не удовлетворяет условиям виброустойчивости (минимально допустимая отстройка $[\Delta]_{\min} \geq 20\%$).

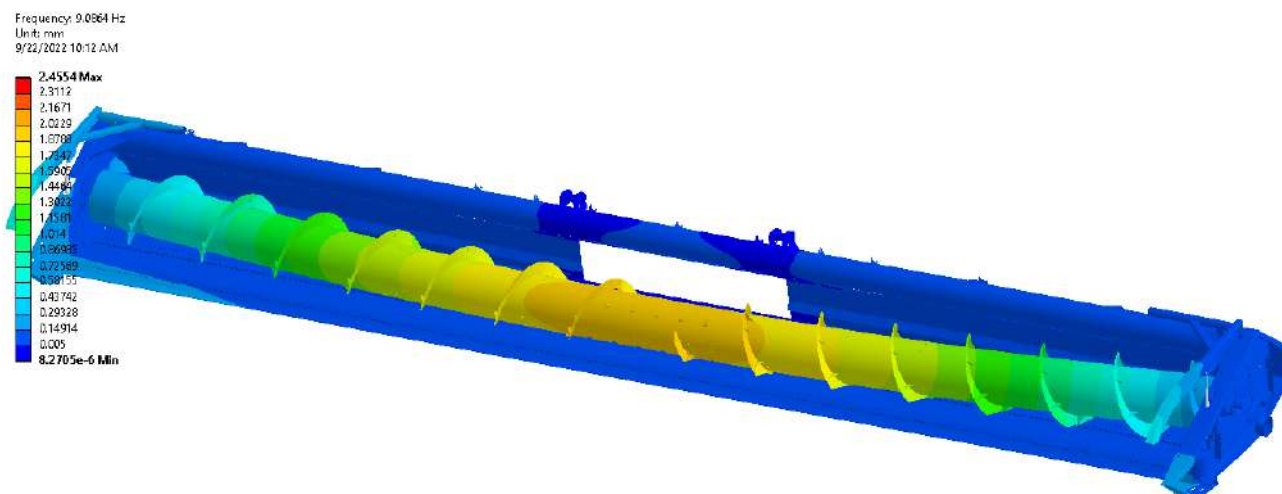


Рис. 3 – Первая форма собственных колебаний серийной конструкции жатки.

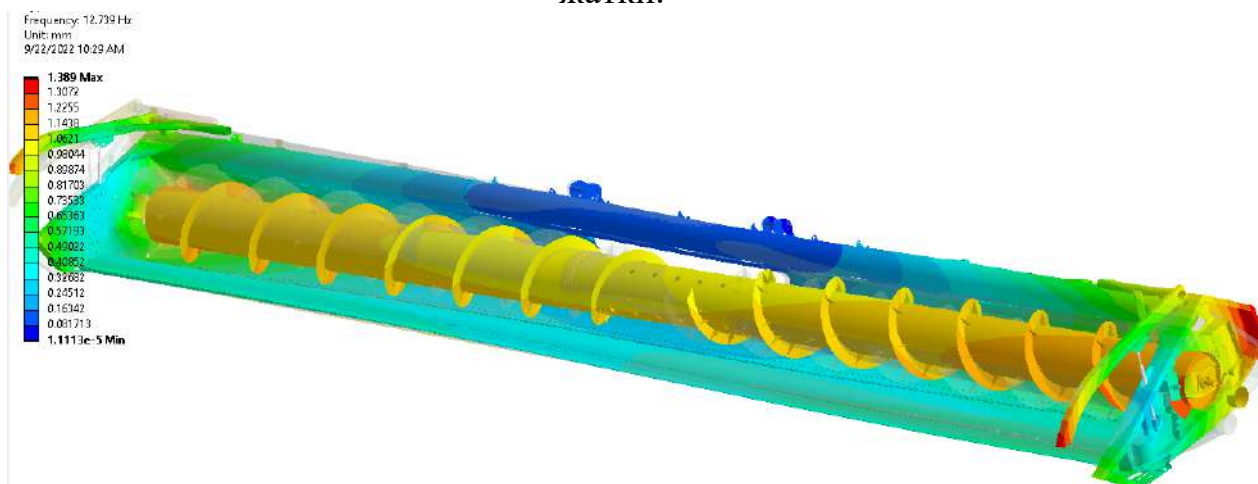


Рис. 4 – Вторая форма собственных колебаний серийной конструкции жатки.

Так как отстройка от резонансной частоты двойных ходов режущего аппарата не обеспечивается, для более детального анализа рассмотрим отклик данной конструкции на гармоническое воздействие и определим величину виброускорения для зоны А расчетным и экспериментальным путем.

Анализ отклика конструкции рычага опоры шнека в зоне А (рис. 2).

На рисунке 5 приведены результаты расчета гармонического отклика серийной конструкции опоры шнека в зоне А при воздействии нагрузок от режущего аппарата.

Как показал расчет, значения виброускорения в зоне установки датчика на частоте двойных ходов режущего аппарата рапсового приспособления $f = 10,5 \text{ Гц}$ составляет $A_p = 8,5 \text{ м/с}^2$.

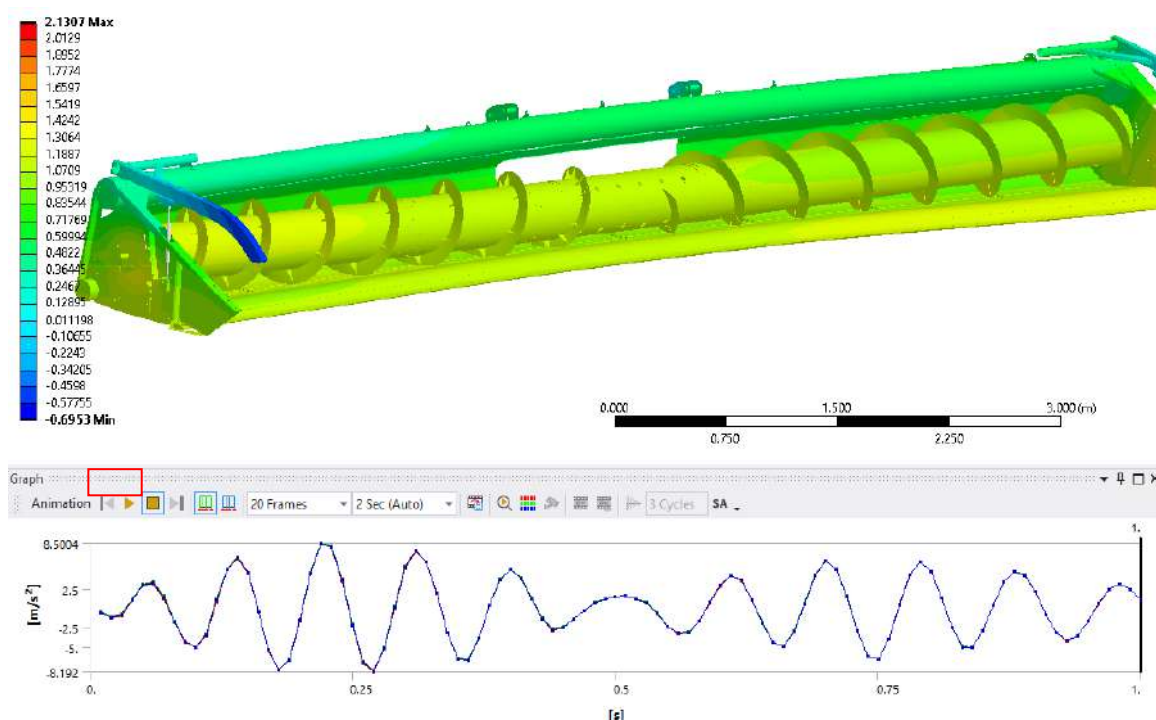


Рис. 5 – Амплитуда вынужденной частоты серийной конструкции в зоне установки датчика.

Рассмотрим результаты замеров виброускорений в конструкции жатки при действии нагрузки от режущего аппарата. Согласно результатам виброметрирования (рис. 6), в месте установки датчика, соответствующему расчетному, значение виброускорения составляет $A_{on} = 8,55 \text{ м/с}^2$ на частоте двойных ходов режущего аппарата $f = 10,5 \text{ Гц}$.

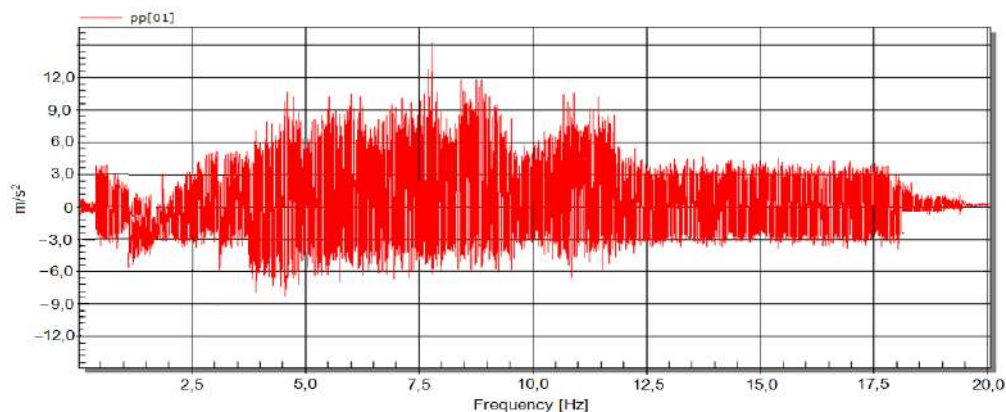


Рис. 6 – Результаты виброметрирования рычага опор шнека

Таким образом, погрешность расчетного значения виброускорения на частоте двойных ходов режущего аппарата в сравнении с результатами

виброметрирования составляет менее 10%, при коэффициенте демпфирования 2,0%.

Для проведения расчетов усталостной прочности использовался программно-аппаратный комплекс высокопроизводительных расчетов на базе программного обеспечения ANSYS Workbench, в основе которого лежит метод конечных элементов [4]. Данный метод при достаточно высоком качестве конечно-элементной сетки позволяет определить локальное повышение действующих напряжений, связанное с особенностями геометрии конструкции [1]. Поэтому при назначении расчетных коэффициентов концентрации напряжений необходимо учитывать только технологические факторы, оказывающие влияние на локальное повышение напряжений (сварные швы, шероховатость поверхности, переходы зон с различной твердостью, натяг и т.д.).

На рисунке 7 изображены поля главных максимальных и минимальных главных напряжений в серийной конструкции рычага опор шнека.

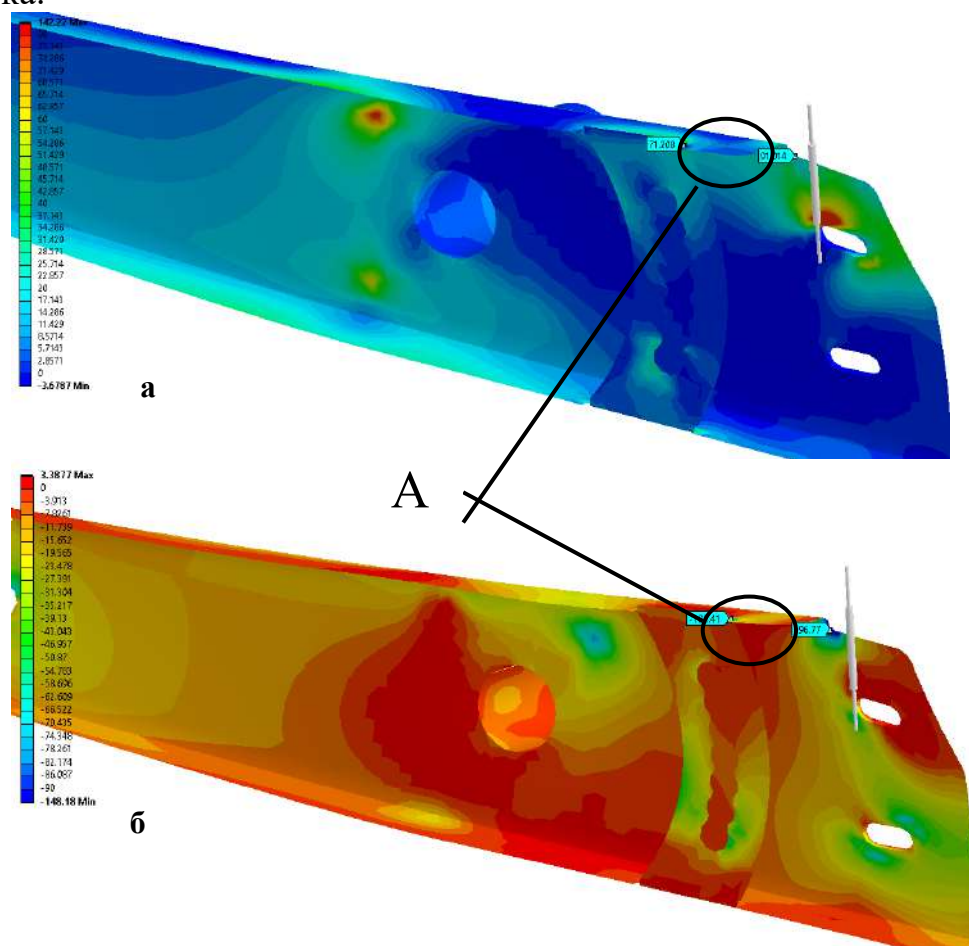


Рис. 7 – Поля главных напряжений в серийной конструкции рычага: а – максимальные напряжения, б – минимальные напряжения

Расчет усталостной прочности для зоны А:

$$n_{\sigma}^A = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \cdot K_{\sigma} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_M} = \frac{185}{85,8 \cdot 2,1 + 0,15 \cdot 14,6} = 1,01 \quad (7)$$

где: σ_{-1} – предел выносливости: для стали 3пс $\sigma_{-1} = 185$ МПа, $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение цикла, $\sigma_{\max} = 71,2$ МПа (см.рис.7а); $\sigma_{\min}$ – минимальное напряжение цикла, $\sigma_{\min} = -100,4$ МПа (см.рис.7б); σ_a – амплитуда напряжений цикла, МПа.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{71,2 + 100,4}{2} = 85,8 \text{ МПа} \quad (8)$$

σ_m – среднее напряжение цикла, МПа.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{71,2 - 100,4}{2} = 14,6 \text{ МПа} \quad (9)$$

K_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжений, для опасного сечения $K_{\sigma} = 2,1$ (сварной шов); ψ_{σ} – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла, принимаем $\psi_{\sigma} = 0,15$.

Для обеспечения достаточного запаса прочности необходимо изменить конструкцию опор согласно рисунку 8.

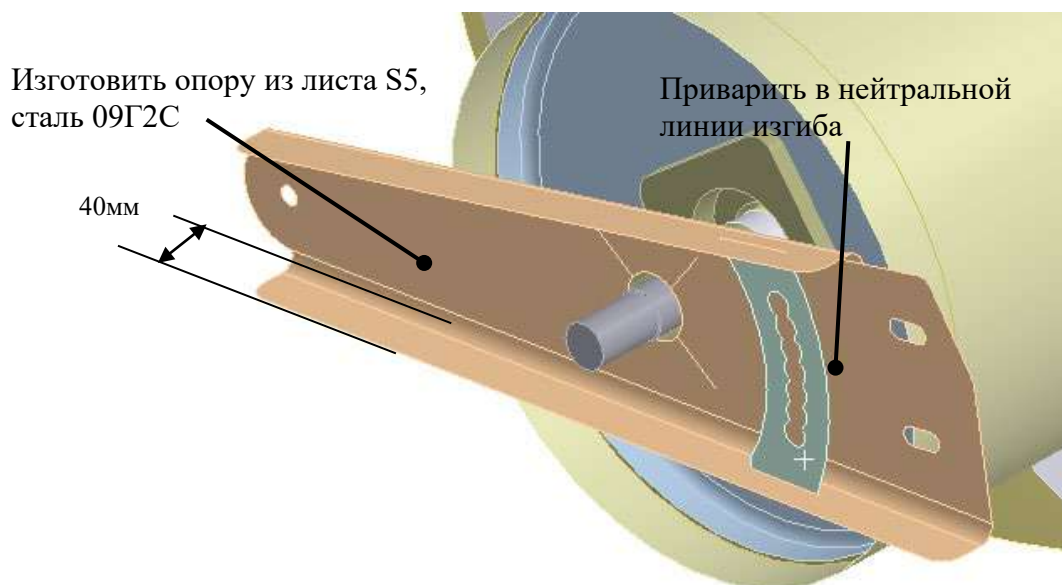


Рис. 8 – Рекомендуемая конструкция рычага опоры шнека

Расчеты собственных частот рекомендуемой конструкции жатки. Собственная частота второй наиболее опасной формы колебаний составляет 13,17Гц (рис. 9), при этом отстройка от резонансной частоты двойных ходов режущего аппарата равна 21,0 %, что удовлетворяет условиям виброустойчивости (минимально допустимая отстройка $[\Delta]_{\min} \geq 20\%$).

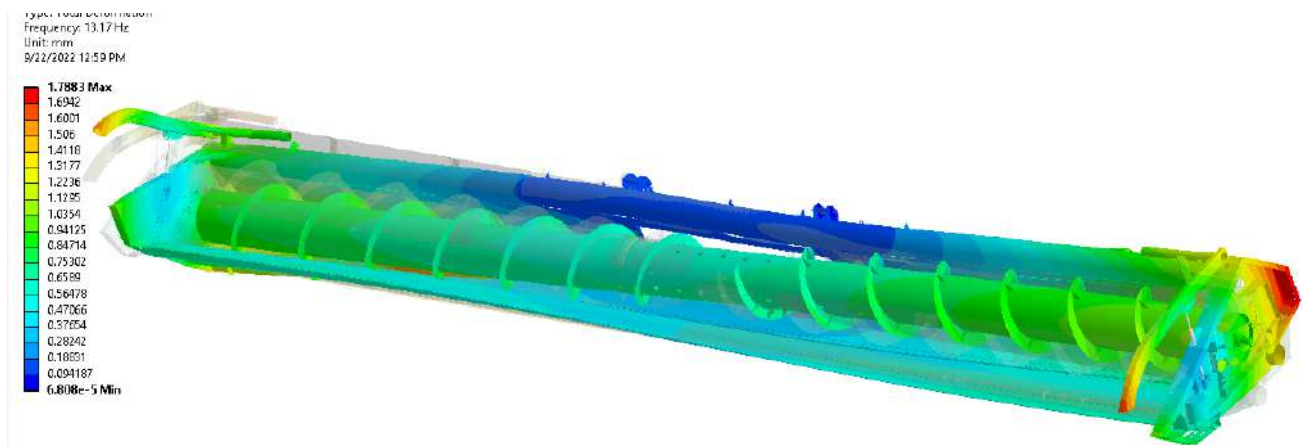


Рис. 9 – Вторая форма собственная частота рекомендуемой конструкции.

На рисунке 10 изображены поля главных максимальных и минимальных напряжений в рекомендуемой конструкции опоры.

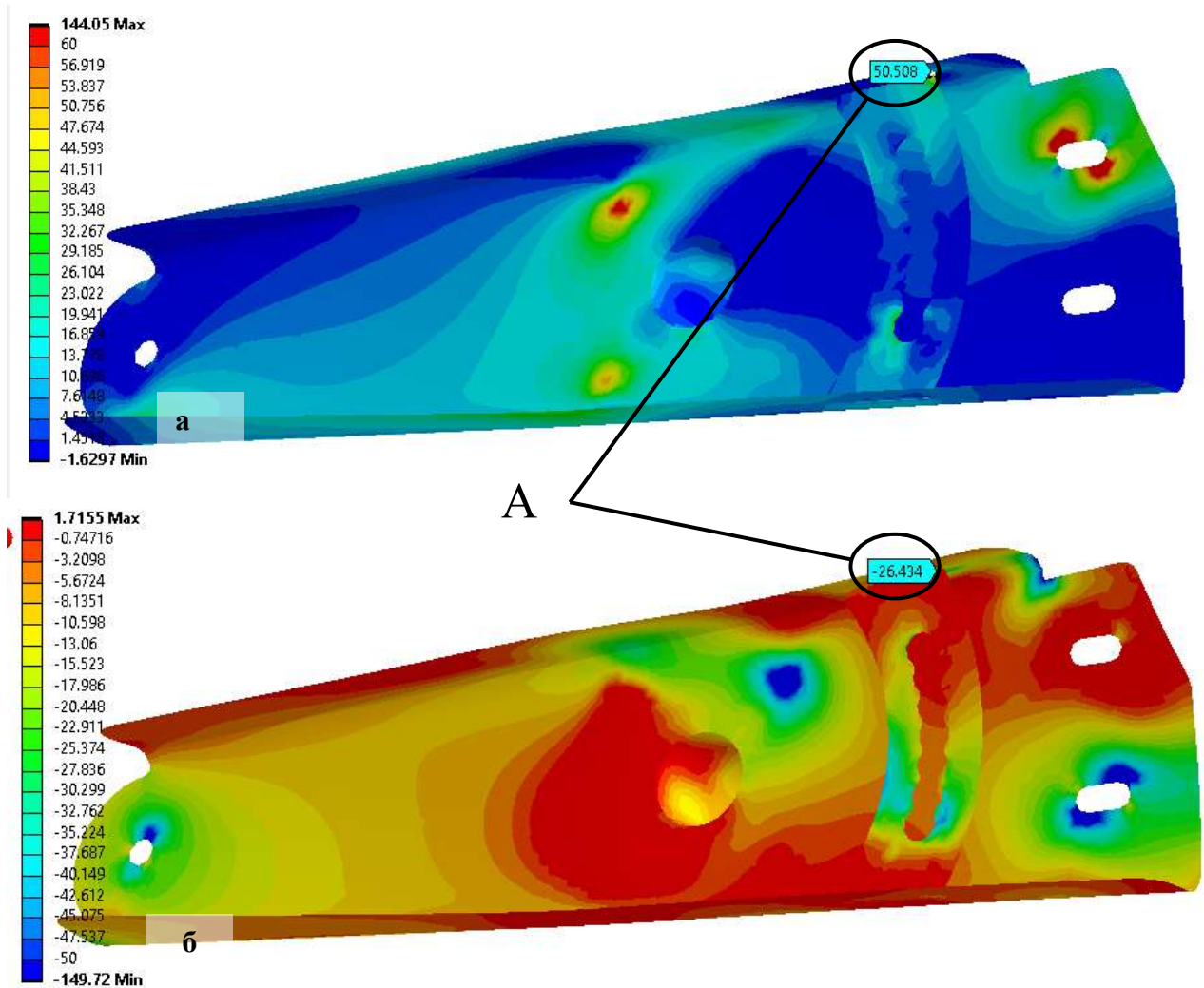


Рис. 10 – Поля главных напряжений в рекомендуемой конструкции рычага:
а – максимальные напряжения, б – минимальные напряжения

Расчет усталостной прочности для зоны А:

$$n_{\sigma}^A = \frac{220}{38,45 \cdot 2,1 + 0,15 \cdot 12,05} = 2,66 \quad (10)$$

где: σ_{-1} – предел выносливости: для стали 09Г2С $\sigma_{-1} = 220$ МПа, σ_{max} – максимальное напряжение цикла, $\sigma_{max} = 50,5$ МПа (см.рис.10а); σ_{min} – минимальное напряжение цикла, $\sigma_{min} = -26,4$ МПа (см.рис. 10б); σ_a – амплитуда напряжений цикла, МПа.

$$\sigma_a = \frac{50,5 + 26,4}{2} = 38,45 \text{ МПа} \quad (11)$$

σ_m – среднее напряжение цикла, МПа.

$$\sigma_m = \frac{50,5 - 26,4}{2} = 12,05 \text{ МПа} \quad (12)$$

K_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжений, для опасного сечения $K_{\sigma} = 2,1$ (сварной шов); ψ_{σ} – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла, принимаем $\psi_{\sigma} = 0,15$.

Проведенные расчеты показали, что в рекомендуемой конструкции запас усталостной прочности в зоне появления и развития трещины увеличился в 2,63 раза по сравнению с серийной конструкцией, при этом отстройка от вынужденных колебаний режущего аппарата жатки удовлетворяет условиям виброустойчивости.

Так же анализ результатов виброметрирования рычагов опор шнека показал (рис. 5), что увеличение частоты двойных ходов режущего аппарата более 12,5Гц приведет к снижению виброускорения до значения 2,81м/с², что является одним из вариантов снижения вибронагруженности жатки.

Закключение. По итогам проведенных исследований разработана методика, позволяющая проводить моделирование процесса динамического воздействия возмущающих колебаний, получать отклик на гармоническое воздействие режущего аппарата удалённой в пространстве конструкции, определять расчетным путем значения вибрационных характеристик (виброускорений, виброперемещений) и обеспечить с учетом этих характеристик достаточный запаса усталостной прочности. Расчет проводился методом суперпозиции мод, который использует данные о собственных частотах и формах колебаний, полученных путем предварительного проведения модального анализа, а так же учитывает предварительное нагружение и демпфирование конструкции.

Поскольку при моделировании используется реальная 3D геометрия изделий, результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными. Проведенные сравнения результатов виртуального моделирования и результатов экспериментальных измерений показали, что расхождения не превышают 10%.

Приведенный подход позволяет дать рекомендации по выбору оптимальной конструкции элементов жатки на этапе проектирования, который обеспечивает требуемый ресурс.

Приведенная методика внедрена и успешно используется на ОАО «Гомсельмаш» при проектировании самоходных сельскохозяйственных уборочных машин.

Расчет проводился методом суперпозиции мод, который использует данные о собственных частотах и формах колебаний, полученных путем предварительного проведения модального анализа, а так же учитывает предварительное нагружение и демпфирование конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев Н.В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 101 с.
2. Берендеев Н.Н. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы/ Н.Н. Берендеев// Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с.
3. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иоселевич – М.: Машиностроение, 1979.–702 с.
4. Яблонский, А.А. Курс теории колебаний/ А.А. Яблонский, С.С. Нореико – М.: Высшая школа, 1975. –248с
5. Reddy J.N. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis.: Oxford University Press, 2004. – 488 с.
6. Rombach G.A. Finite element design of concrete structures: Practical problems and their solutions.: Thomas Telford Publishing, 2004. –300 p.
7. Liu G.R. The Finite Element Method: A Practical Course/ G.R. Liu, S.S. Quek –Butterworth-Heinemann, 20 03.– 384 p.

УДК 631.35.008.94

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРОНШТЕЙНА КРЕПЛЕНИЯ СУППОРТА РАБОЧЕГО ТОРМОЗА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСРЕДСТВОМ CAE-СИСТЕМ

О.В. Тебеньков¹, И.А. Кольцова¹, Н.В. Грудина²

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

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

В настоящее время на производстве активно используются 3D технологии, которые позволяют увеличить точность и скорость производства. Одними из популярных программных обеспечений являются: ANSYS, Creo, AutoCAD и SolidWorks. В данной дипломной работе мы выполняли задачу в программе ANSYS. Давайте рассмотрим преимущества данного программного обеспечения.

Эффективность применения современных средств компьютерного моделирования на стадиях разработки, проектирования и изготовления сложных технических систем, в частности промышленных конструкций, уже ни у кого не вызывает сомнения. Различные системы автоматизированного проектирования CAD (computer aided design/ Система автоматизированного проектирования) сейчас широко используются в научно-исследовательских, проектных и производственных организациях практически всех отраслей отечественной и зарубежной промышленности.

Метод конечных элементов, является наиболее эффективным и широко используемым современным средством достижения поставленной задачи. Метод конечных элементов используют для построения матричных решений задач, при расчете напряжений и перемещений.

Целью данной работы явилась топологическая оптимизация конструкции кронштейна крепления суппорта рабочего тормоза кормоуборочного комбайна с учётом прочностных характеристик посредством CAE-систем.

Решались следующие задачи:

-Провести динамический и прочностной расчёт изначальной детали, для выявления мест с недостаточным коэффициентом прочности, для дальнейшей оптимизации;

-Топологическая оптимизация кронштейна, для уменьшения массы с сохранением текущих физических свойств;

-Подбор альтернативного материала, для сокращения затрат стали 35Л;

-Выявить альтернативный способ производства детали.

Деталь типа “Кронштейн” работает в составе тормозных систем кормоуборочного комбайна и является неотъемлемой частью [1]. Кронштейн по базовому технологическому процессу изготавливают методом литья в песчано глинистые формы [2]. Выбор оптимального способа получения заготовки в значительной степени определяет качество (механические, электрические, химические свойства), а также издержки на производство, связанные с дальнейшей обработкой предмета. Поэтому внедряются всё новые способы получения заготовок, позволяющие свести издержки к минимуму, и улучшить свойства изделия. В качестве альтернативного варианта производства кронштейна суппорта был предложен метод сварного соединения. Были выявлены его преимущества и недостатки и проведено сравнение базового технологического процесса и альтернативного, результатом которого была экономическая целесообразность сварного соединения, выраженную в снижении себестоимости благодаря уменьшению массы кронштейна при изготовлении его альтернативным способом (рис. 1, 2).

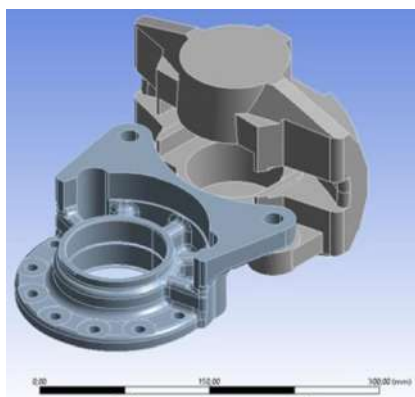


Рис. 1 – 3D-модель литого кронштейна суппорта

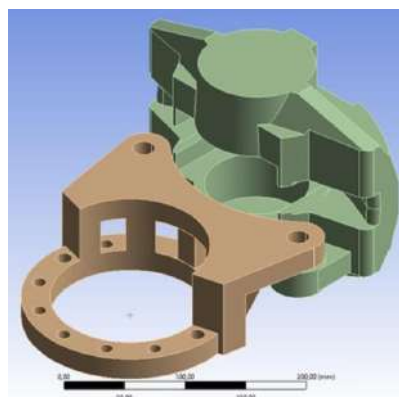


Рис. 2 – 3D - Модель сварного кронштейна

Создана 3D-модель детали типа “кронштейн” в программном продукте ANSYS [7] с применением метода конечных элементов. В ходе выполнения работы были проведены прочностные и динамические расчёты (с учётом коэффициента запаса прочности и жесткости) для кронштейна крепления суппорта, на основании которых были приняты альтернативные варианты оптимизации детали: изменена форма кронштейна суппорта, заменён изначальный материал 35Л на альтернативный 09Г2С. Для динамического и прочностного расчёта в ANSYS параметр Remove Force задано значение равное 55065Н, именно

такое усилие прикладывается на суппорт в реальных условиях (рис. 3, 4).

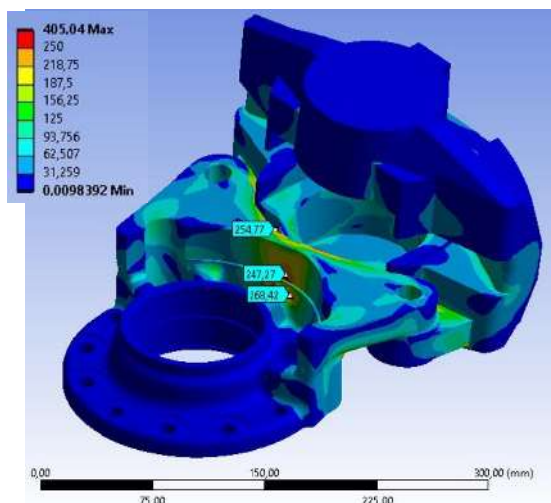


Рис. 3 – Результат прочностных динамических расчётов кронштейна из материала 35Л

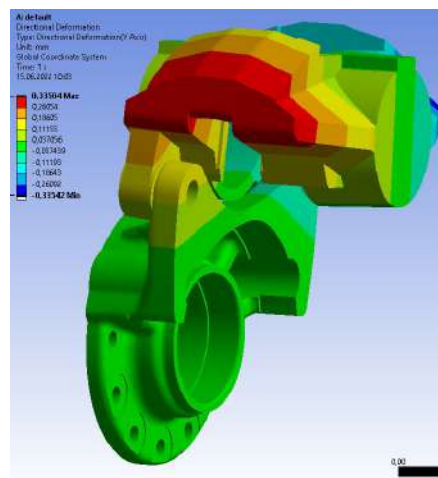


Рис.4 – Результат расчётов кронштейна из материала 35Л

Из результатов расчётов видны поверхности которые не выдерживают вышеописанные нагрузки. Аналогичные действия проводим с использованием материала конструкционная низколегированная для сварных конструкций 09Г2С (рис. 5, 6). Положительная сторона использования именно этой марки стали – возможность эксплуатации готовых изделий при температуре, которая находится в диапазоне от -70°C до $+450^{\circ}\text{C}$ [6]. Помимо всего прочего, стоит отметить также простоту свариваемости деталей, создаваемых из листового проката этого материала, что открывает уникальные возможности для создания сложнейших конструкций для различных отраслей современной промышленности. Несомненным плюсом данного типа стали является отсутствие хрупкости материала, а также снижения уровня вязкости после температурного воздействия. Это свойство выделяет сталь 09Г2С среди других представителей данного класса с высоким содержанием различных присадок и углерода, которые из-за этого кардинально меняют свои свойства после термообработки, а также значительно более хуже поддаются свариванию.

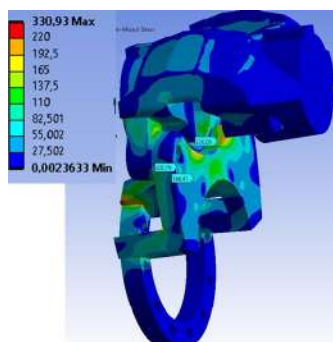


Рис. 5 – Результат прочностных динамических расчётов кронштейна из материала 09Г2С

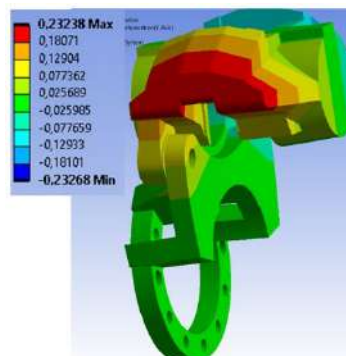


Рис. 6 – Результат расчётов кронштейна из материала 09Г2С

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод в эффективности данной разработки. Преимуществами являются лёгкость конструкции, следовательно, меньший расход материалов, более высокий коэффициент запаса прочности, благодаря предложенному материалу и форме конструкции, простоты изготовления. Помимо анализа влияния материалов из металлических сплавов, в том числе и цветных, была проведена топологическая оптимизация кронштейна, благодаря которому удалось получить ряд преимуществ в сравнении с базовой деталью: уменьшение себестоимости детали, уменьшение металлоёмкости. Одним из вариантов улучшения данной детали было предложено увеличение количества материала на особо напряженных поверхностях. Изменение модели кронштейна в особо напряженных местах проводим стандартным инструментарием Ansys, а именно: фаски, вытягивание и скругление (рис. 7).

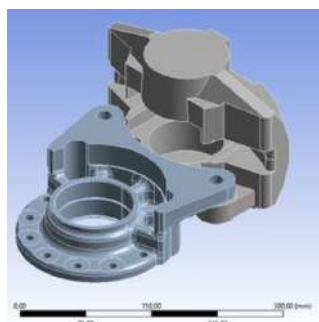
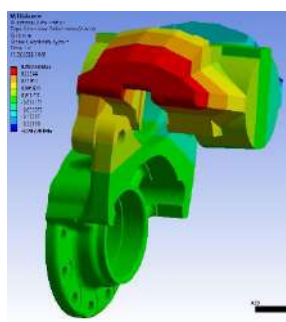
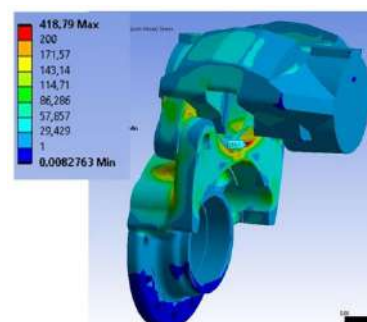


Рис. 7 – Конструкция кронштейна с усилением напряженных поверхностей



а)



б)

Рис. 8 – Результаты динамического (а) и прочностного (б) расчёта усиленного кронштейна

Исходя из результатов прочностного и динамических можно сделать выводы что добавление материала позволило увеличить запас прочности, в местах, которые не отвечали заданным требованиям.

Закключение. В данной работе поднята актуальная тема топологической оптимизации конструкции кронштейна крепления суппорта рабочего тормоза кормоуборочного комбайна с учетом прочностных характеристик посредством CAE - систем с целью снижения металлоёмкости, минимизации потери материала и отходов производства, повышения производительности. Предложен альтернативный способ получения детали методом сварки, который широко применяется на современных машиностроительных предприятиях, а также материалы-заменители типовому, используемому для получения кронштейна по заданной технологии изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. [http://k-a-t.ru.](http://k-a-t.ru/) / Общие сведения о кормоуборочных комбайнах. [Электронный ресурс] – режим доступа: http://k-a-t.ru/sxt/6-korm_kombaini/index.shtml. – Дата доступа: 23.05.2022.
2. Комплекс кормоуборочный высокопроизводительный КВК-800 «ПОЛЕСЬЕ-800». Инструкция по эксплуатации.
3. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы / Трухов А.П. и др. – М.: Академия, 2005. — 528 с.
4. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения: ГОСТ 14.205-83. – взамен ГОСТ 18831-73; введ 01.07.1983 Государственныйкомитет СССР по стандартам.
5. Справочник технолога–машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова 6-е изд., перераб и доп.-М.: машиностроение, 2005.- Т.1-656 с., ил.
6. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка и др. . – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.

УДК 631.35

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ ПО СТЯСНОЙ ДОСКЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Д.В. Джасов, Д.В. Воробьев

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

При конструировании новых моделей зерноуборочных комбайнов важно иметь представление о технологических процессах, протекающих внутри технологического тракта. Неполное понимание этих процессов приводит к необходимости экспериментальным путем проводить доработку конструкции на реальном образце с помощью использования дорогостоящих стендовых, доводочных, натурных и других видов испытаний.

При испытании опытного образца конструкции роторного зерноуборочного комбайна в некоторых случаях были высказаны замечания о неустойчивом выполнении технологического процесса при уборке на полях с большой урожайностью, которое приводило к необходимости снижения скорости движения либо к повышенной засоренности бункерного зерна.

Для изучения указанной выше проблемы было решено провести имитационное моделирование и исследование технологических процессов перемещения зерновой массы в очистке комбайна с помощью программного комплекса ROCKY. ROCKY – это современное программное обеспечение, позволяющее создавать прогностические имитационные компьютерные модели технологических процессов, формируемых различными видами обрабатывающих и транспортирующих рабочих органов, с использованием сыпучих материалов любой формы.

С целью исследования перемещения и распределения технологической массы по ширине стрясной доски очистки роторного зерноуборочного комбайна была создана 3D-модель конструкции рабочих органов, представленная на рисунке 1.

Подача технологической массы в модель задана из ячеек 4 (рис. 1), имитирующих зоны выхода этой массы из молотильной части ротора, с начальной скоростью V_0 , соответствующей частоте вращения ротора.

В качестве технологической массы выбрана модель зерна кукурузы, выполненная в виде частицы Sphero-Polygon со свойствами, соответствующими зерну кукурузы влажностью 15%. Параметры, характеризующие взаимодействие частиц, были получены из различных источников [1, 2], а также верифицированы с помощью проведения ряда

калибровочных испытаний [3]. Для процесса моделирования была выбрана модель зерна кукурузы в связи с тем, что, при соизмеримой насыпной плотности убираемых зерновых культур, она позволяет уменьшить количество частиц в единицу времени для ускорения моделирования без потери функционального качества модели технологического процесса.

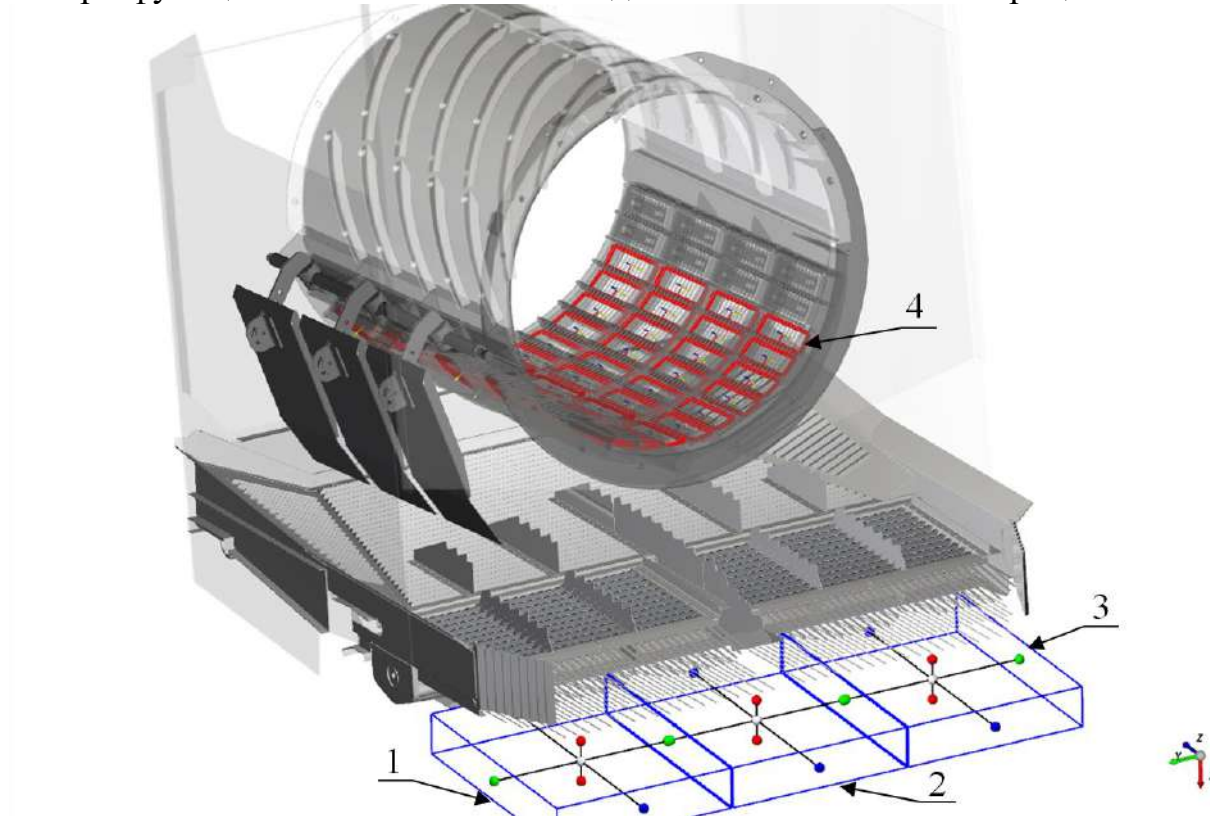


Рис. 1 – Виртуальная модель стрясной доски зерноуборочного комбайна: 1, 2, 3 – области контроля сбрасываемой массы; 4 – области подачи массы в модель

Кинематическое движение стрясной доски задано путем указания амплитуды углового перемещения поддержек с частотой 4,58 Гц и принято из проведенного кинематического анализа системы очистки, выполненного векторным способом, который хорошо зарекомендовал себя при анализе подобных систем [4].

В качестве оценочного критерия было принято распределение технологической массы по ширине стрясной доски при сходе ее на верхнее решето в устоявшемся режиме работы. Для этого выделены три области 1, 2, 3 (рис. 1), в которых опрашивается количество массы, пройденное через них в текущий момент времени.

Имитационная модель исходной конструкции в виде визуализированного распределения технологической массы по стрясной доске в фиксированный момент времени представлена на рисунке 2.

Результаты расчета в виде зависимостей количества массы зерна, проходящей через выбранные области в единицу времени при сходе со стрясной доски, показаны на рисунке 3.

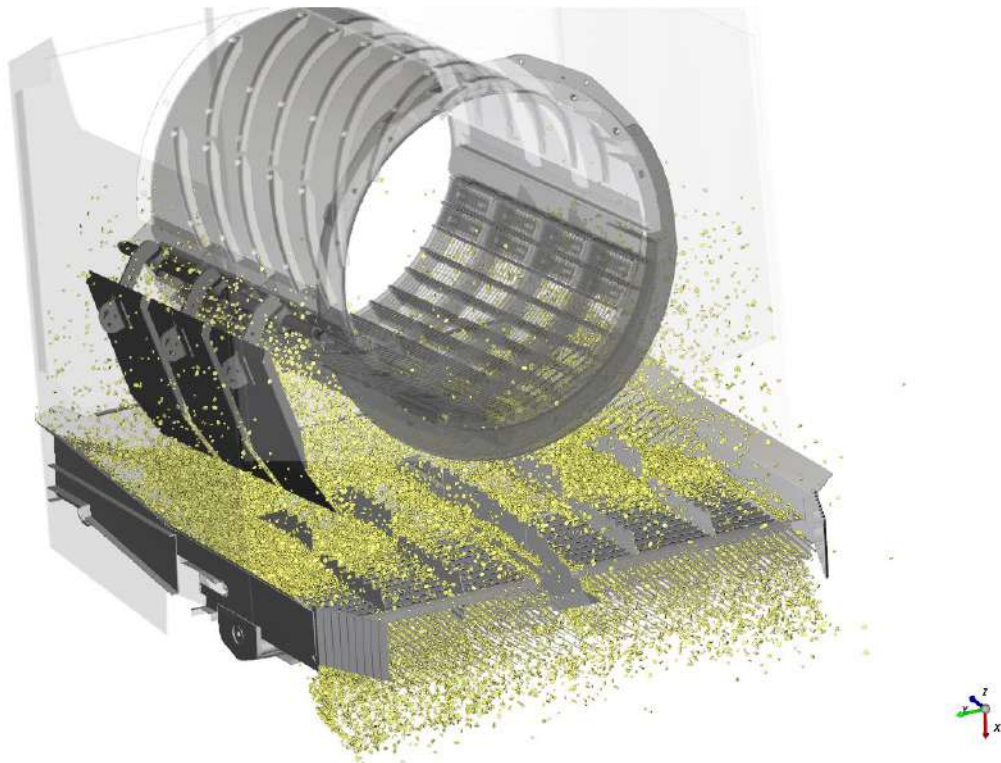


Рис. 2 – Имитационная модель перемещения технологической массы по стрясной доске зерноуборочного комбайна

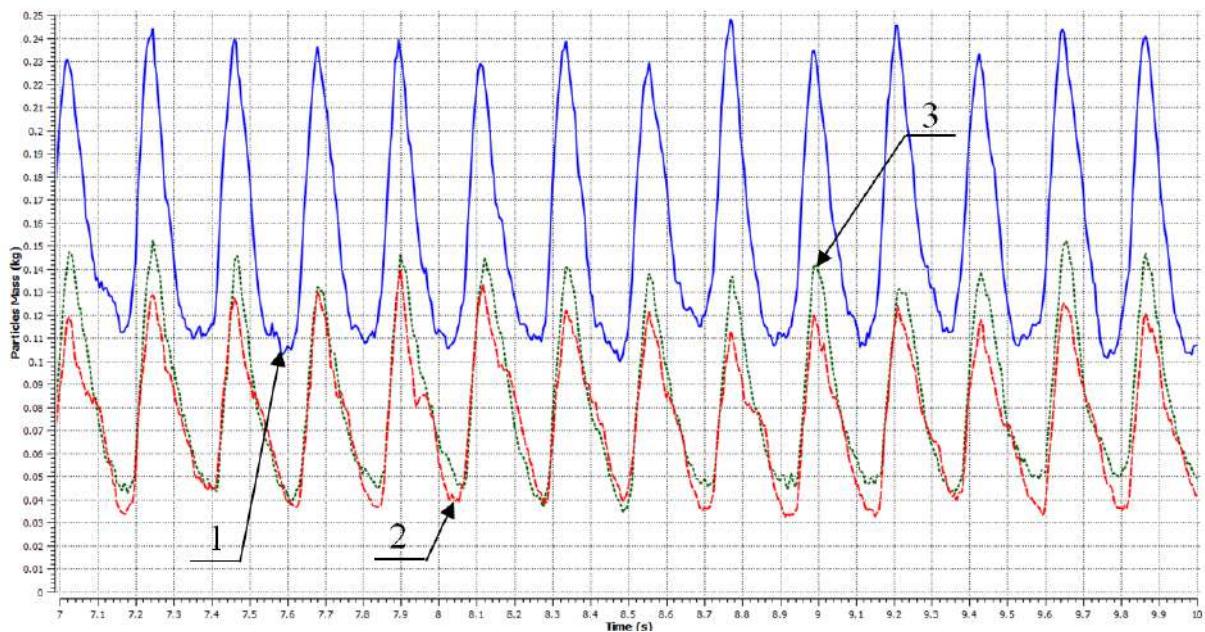


Рис. 3 – Количество массы, проходящей в областях схода со стрясной доски, для исходной конструкции: 1 - слева, 2 - середина, 3 - справа.

Анализ результатов моделирования исходной конструкции показал, что, в комбайнах с роторным молотильно-сепарирующим устройством, основная обмолоченная масса ссыпается в сторону вращения ротора. В итоге, распределение зерновой массы по ширине стрясной доски в зоне схода происходит следующим образом: 47,5% сходит со стрясной доски с

левой стороны, 28,3% – по центру и 24,2% – с правой стороны. Как оказалось, применение щитов-отражателей для перераспределения технологической массы по ширине стрясной доски в определенных условиях недостаточно эффективно. Из-за этого, как видно из результатов расчета исходной конструкции (см. рис. 3), происходит накапливание и сход основной массы с левой стороны стрясной доски. В дальнейшем на последующих рабочих органах такое распределение по ширине приводит к недостаточной продувке массы в системе очистки и повышенному содержанию сорных примесей в бункере.

С помощью созданной цифровой модели технологического процесса перемещения зерновой массы по стрясной доске, было найдено техническое решение, позволяющее перераспределить поток массы, обеспечивая более равномерный сход по всей ширине. Результаты расчета предложенной конструкции в виде зависимостей количества массы зерна, проходящей через выбранные области в единицу времени при сходе со стрясной доски, показаны на рисунке 4.

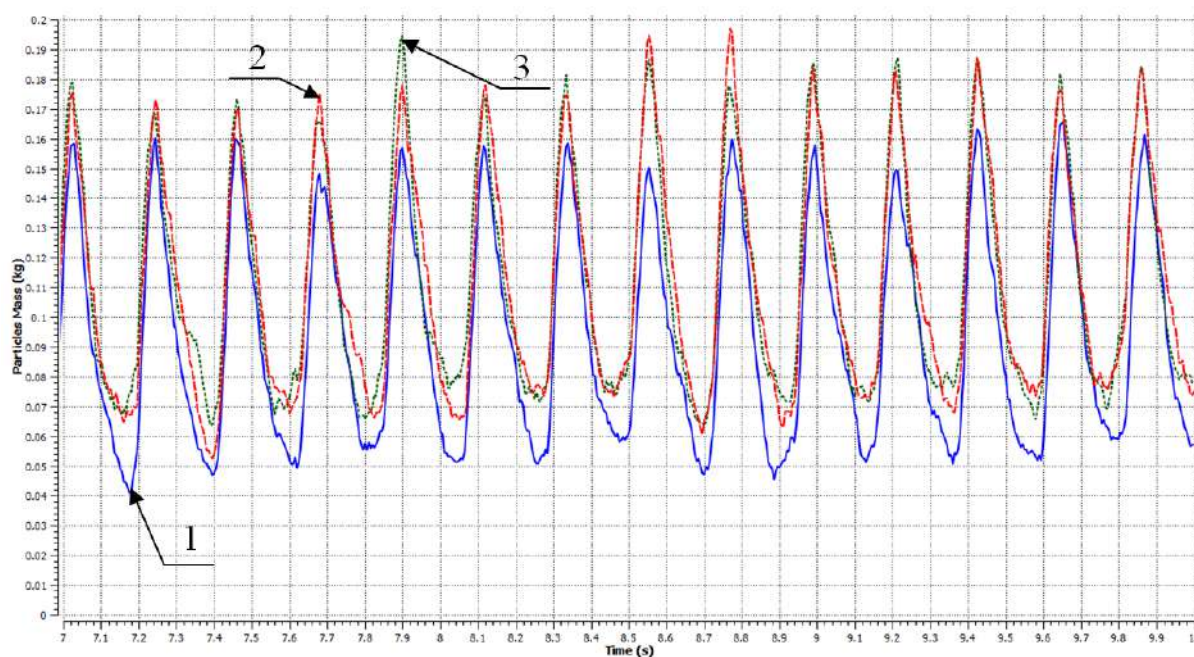


Рис. 4 – Количество массы, проходящей в областях схода со стрясной доски, для предложенной конструкции: 1 - слева, 2 - середина, 3 - справа.

Анализ результатов моделирования предложенной конструкции показал, что распределение зерновой массы по ширине стрясной доски в зоне схода происходит следующим образом: 30,2% сходит со стрясной доски с левой стороны, 34,9% – по центру и 34,9% – с правой стороны. Полученное равномерное перераспределение зерновой массы по стрясной доске в зоне схода теперь может наиболее эффективно регулироваться в нужную сторону с помощью щитов-отражателей от исходного значения.

Выводы. Созданная имитационная модель перемещения зерновой массы по стрясной доске исходной конструкции позволила на ее базе провести оптимизацию, позволяющую получить равномерное распределение технологической массы по ширине стрясной доски. Предложенные конструктивные изменения позволили исключить чрезмерное накопление технологической массы в левой части стрясной доски под щитами-отражателями, которое наблюдается в базовой конструкции. В комплексе это позволит обеспечить качественную продувку зерновой массы в системе очистки комбайна и снизить содержание сорных примесей в бункерном зерне до приемлемых значений.

Представленный выше подход создания цифровых моделей технологических процессов, происходящих в технологическом тракте комбайна, позволяет находить решения по оптимизации конструкции и повышению эффективности технологических процессов, не ограничиваясь временем уборочного сезона, а также проанализировать множество вариантов возможных конструкций еще до создания опытного образца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кувшинов А.А. Совершенствование обмолота кукурузы зерноуборочным комбайном в условиях Амурской области/ А.А. Кувшинов, И.В. Бумбар, И.А. Лонцева// АгроЭкоИнфо. – 2018, №1.
2. Труфляк Е.В. Физико-механические свойства кукурузы: монография / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 197 с.
3. Иванов Д.Н. Калибровка параметров сыпучего материала – этап создания цифрового двойника технологического процесса в зерноуборочном комбайне/ Д.Н. Иванов, Д.В. Джасов, А.Н. Вырский// Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник тезисов докладов 4-й международной научно-практической конференции – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2020. – С.20-23.
4. Джасов Д.В. Анализ кинематики механизма привода системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-10К / Д.В. Джасов, А.Н. Вырский, Ю.В. Чупрынин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / ГНУ «Объед. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси». – Минск, 2018 – Вып. 7 / редкол.: С. Н. Поддубко (пред.) [и др.]. – С. 79-82.

УДК 681.7.064

СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ БОРТОВЫХ ЭКРАНОВ КОМПЬЮТЕРОВ

Н.Ф. Соловей¹, Н.Н. Федосенко², А.С. Шантыко¹, Е.А. Кулеш²,
А.Г. Бердиев², Т.В. Кравчук¹

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

²Учреждение образования «Гомельский государственный
университет имени Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь

В данном исследовании были разработаны два типа оптических поляризаторов для возможного их применения в качестве антибликовых на бортовых экранах компьютеров, с повышенным выходом электромагнитного излучения.

На рисунке 1а изображен дизайн интерференционного поляризатора с $\lambda/4$ слоями рабочей длины волны 625нм и материалов $n_1=1,47$ и $n_2=2,04$, где λ – длина волны излучения; n – показатель преломления. Слои наносились на кварцевую подложку путем чередования 7 раз (14 слоёв). Толщина слоев для ZrS и SiO₂ составляла 113нм и 81нм соответственно. Таким образом, при угле падения света 75° и на длине волны 62нм получаем для s-поляризации максимальное отражение, а для p-поляризации – минимальное отражение.

На рисунке 2б изображен дизайн интерференционного поляризатора на кварцевой подложке с материалами SiO₂ ($n_1=1,49$) и ZrO₂ ($n_2=2,00$) толщиной 95,6нм и 71,3нм, соответственно. Общая толщина плёнки составила 1,17 мкм. На длинах волн 532 нм и 633 нм поляризатор работает при угле падения 75° (s-поляризации – максимальное отражение, а для p-поляризации – минимальное отражение). Слои ZrO₂ и SiO₂ имеют $\lambda/4$ -толщины для оптического мониторинга на длине волны 570 нм и при нормальном падении света.

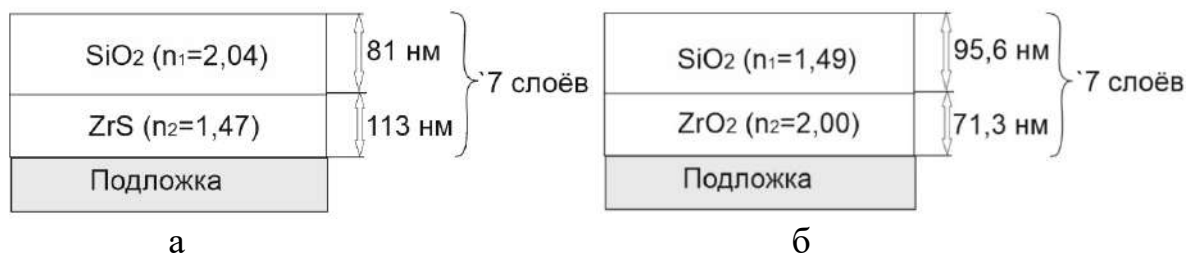


Рис. 1 – Дизайны эффективных оптических поляризаторов: а) ZrS/SiO₂,
б) ZrO₂/SiO₂.

На рисунках 2, 3 и 4, 5 приведены спектры отражения и пропускания при угле падения 75° для интерференционных покрытий $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ и ZrS/SiO_2 , соответственно.

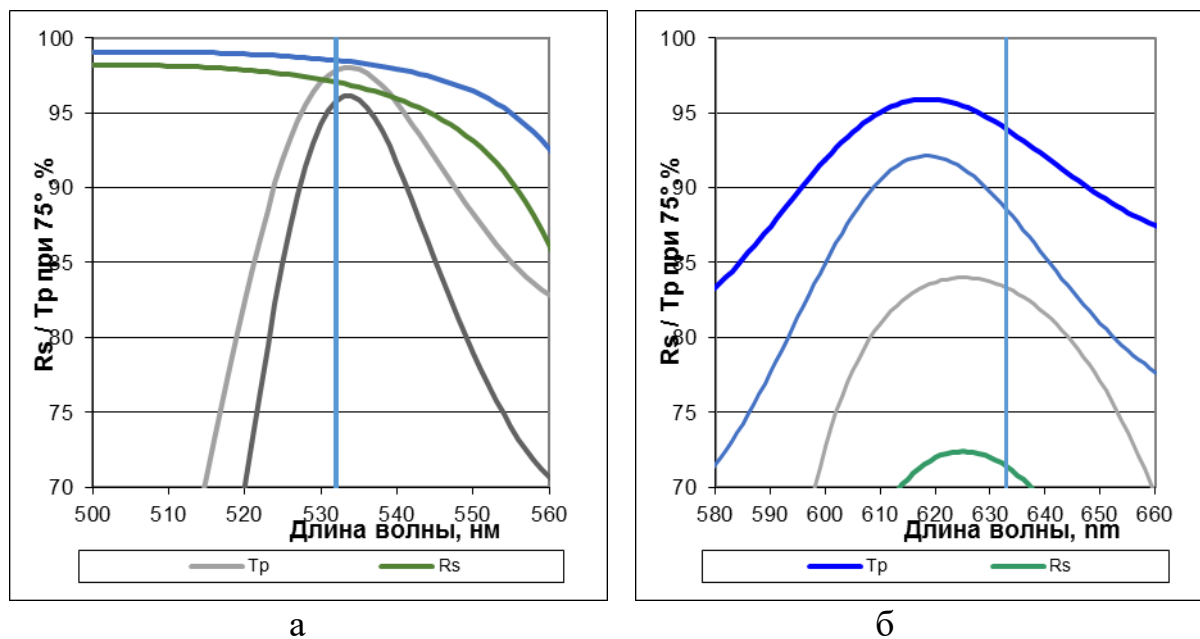


Рис. 2 – Спектры отражения и пропускания для покрытий типа $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ при угле падения 75° .

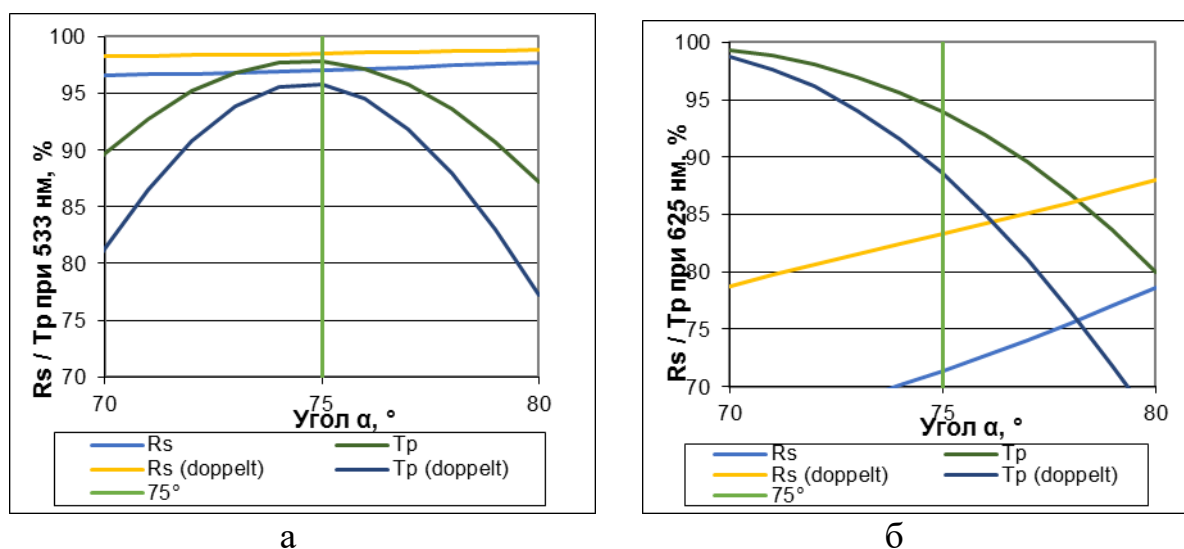


Рис. 3 – Спектры отражения и пропускания для покрытий типа $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ при рабочих длинах волн: а) 533нм, б) 625нм.

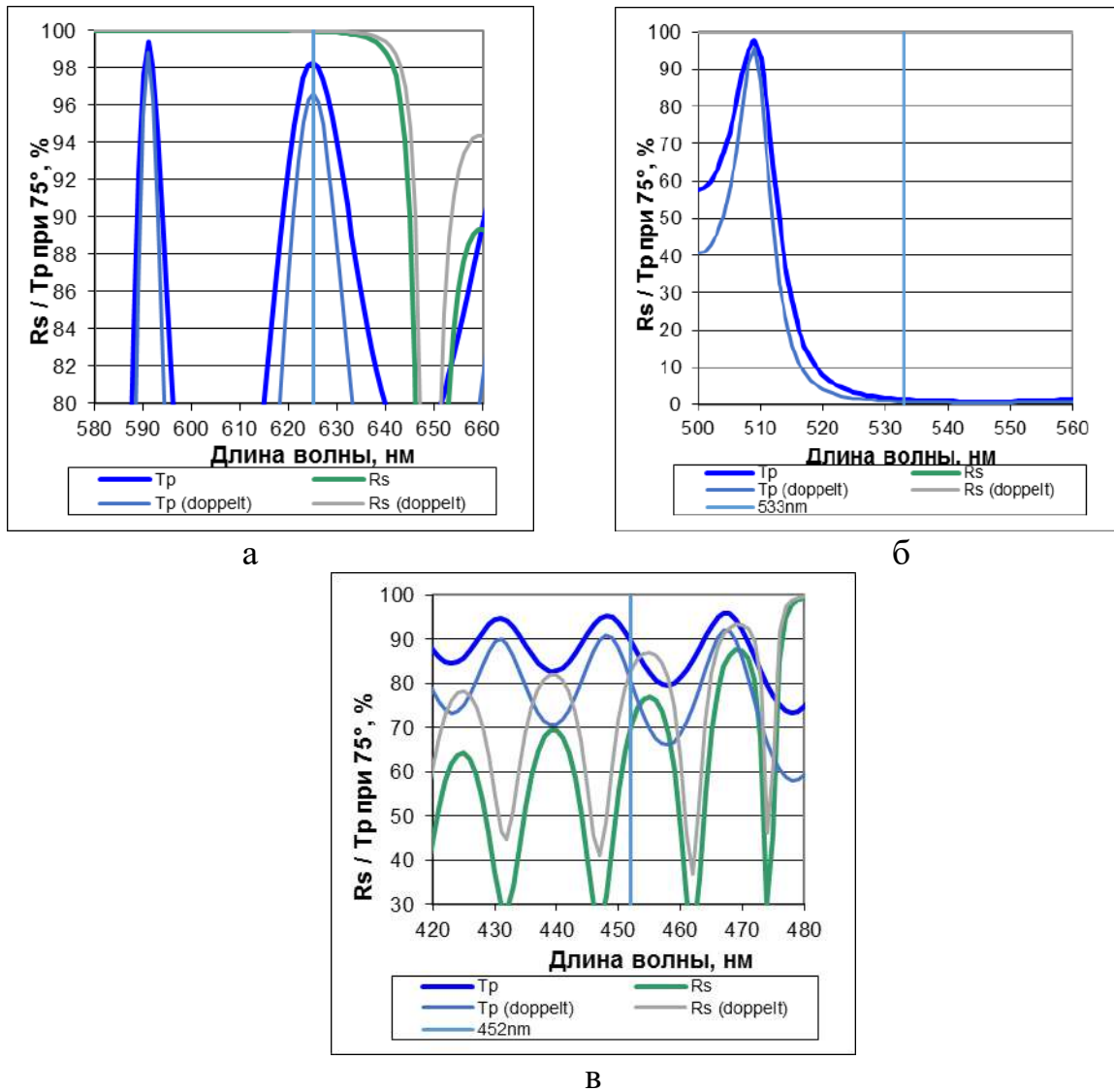
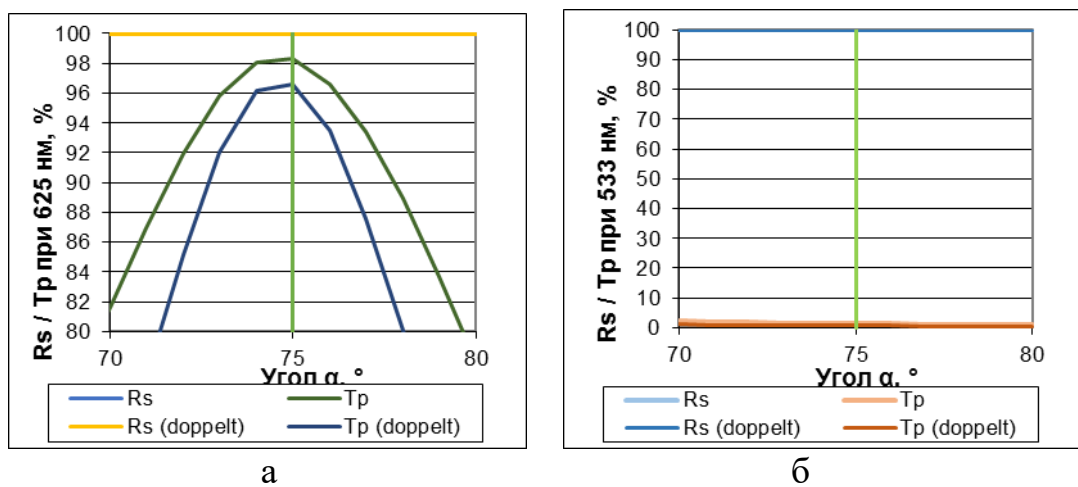
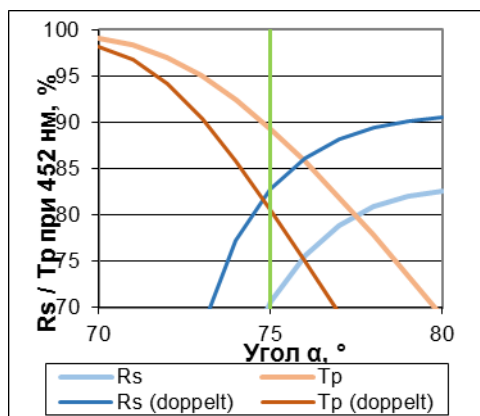


Рис. 4 – Спектры отражения и пропускания для покрытий типа ZrS/SiO_2 при угле падения 75° при рабочих длинах волн: а) 625нм, б) 533нм, в) 425нм.





В

Рис. 5 – Спектры отражения и пропускания для покрытий типа ZrS/SiO_2 при рабочих длинах волн: а) 625нм, б) 533нм, в) 452нм.

Анализ полученных результатов показал: отличие расчетных значений и определенных с помощью спектрофотометрии спектральных характеристик, на наш взгляд, результат наличия пор в формируемых покрытиях. Молекулярная вода поступает в поры из атмосферы (влажность воздуха) и появляется на поверхности за счет адсорбции с показателем преломления воды $n_{H_2O}=1.33$, при этом расчетное значение показателя преломления при длине волны $\lambda=625\text{нм}$ составляет $n_{расч}=2,14$. Согласно, метода сложения удельных рефракций, полученный показатель преломления составляет среднее значение суммы $n_{расч}$ и n_{H_2O} . Таким образом, в процессе эксплуатации изменения влажности атмосферы, перепады температур и давлений неизбежно ведут к снижению показателей оптических свойств покрытий различного функционального назначения, в том числе и антибликовых.

Основное направление дальнейших действий по устранению выявленных несовершенств - стабилизация оптических параметров покрытий: показателя преломления, снижение пористости, либо формирование оптических покрытий указанного типа на основе беспористых покрытий, например углеродных алмазоподобных.

УДК 53.087.45/621.37/39

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКЕ ПРОИЗВОДСТВА

О.В. Рехлицкий¹, В.Н. Шкирский¹, А.А. Емельянов²

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь;

²ОАО «Когнитив Роботикс», г. Москва, Российская Федерация

Уборка урожая является одной из самых ответственных операций в технологическом цикле агропредприятий, поскольку объем и качество собранного урожая в значительной степени определяют благополучие хозяйства в будущем. Важно отметить, что доминирующими культурами на территории союзного государства являются зерновые. Их биологические особенности таковы, что после полного созревания и достижение максимального качества зерен начинается их отделение от колоса и осыпание в виде безвозвратных потерь. Уровень потерь может достигать 20 – 25% при сроках уборки, превышающих 12 – 14 дней. Поэтому все агро хозяйства ставят перед собой задачу провести уборку в максимально короткие сроки [1].

Решение указанной задачи лежит в повышении эксплуатационной производительности уборочной техники за счет оптимизации режимов выполняемых операций и снижения влияния на качество выполнения технологического процесса уборки субъективных факторов. К факторам, обеспечивающим рост эксплуатационной производительности уборки урожая, можно отнести:

- Максимальное использование захвата жатки в течение рабочей смены
- Возможность выполнения уборки без остановки для выгрузки урожая
- Возможность управления скоростью в зависимости от состояния посевов
- Возможность оптимизации режимов технологического процесса за счет большей вовлеченности оператора в процесс контроля и управления режимами работы

Стоит отметить, что приведенные возможности оптимизации процесса уборки реализуются на фоне существенного снижения нагрузки на механизатора при условии автоматизации процесса управления вождением уборочного комбайна.

Для решения задачи автоматизированного управления была применена система автономного управления на базе искусственного интеллекта Cognitive Agro Pilot.

Основной функцией данной системы является автономное управление комбайном при выполнении уборочных операций с использованием для вождения в качестве ориентира кромки стеблестоя убираемой культуры, визуальнo различных рядов растений в случае уборки пропашных культур, а также границ валка в режиме раздельной уборки.

Испытания системы на зерноуборочном комбайне КЗС-1218А1, проведенные ИЦ НТЦК ОАО «Гомсельмаш» в 2020-2021 годах позволили выявить следующие недостатки [3]:

- частое подруливание колес управляемого моста (виляние);
- отсутствие обученной надлежащим образом нейронной сети, способной производить обработку изображения с целью выделения объектов, определяющих курс и направление движения, что особо проявлялось при работе на полеглом фоне свыше 60%, из-за чего после 5-х и более проходов край стеблестоя становится неровным (рис. 1);



Рис. 1 – Край стеблестоя на уборке пшеницы после пяти проходов комбайна. 2020 год.

- невозможность из-за расположения камеры только с левой стороны работы комбайна в режиме автономного управления, если край стеблестоя находится справа, то есть невозможность работы «челноком»;
- отсутствие функции автоматического отключения управления комбайном системой при повороте руля механизатором вручную. Для отключения системы, требовалось отключение системы кнопкой.

Как и в более ранних версиях, система автономного управления на базе искусственного интеллекта Cognitive Agro Pilot включает в себя аппаратную и программную части.

С целью устранения указанных недостатков и в порядке дальнейшего совершенствования системы Cognitive Agro Pilot в версию 2022 года были внесены существенные изменения, как в конфигурацию аппаратной части, так и в ее программное обеспечение.

Аппаратная часть системы состоит из следующих ключевых модулей, устанавливаемых на комбайн:

- Цветные стереовидеокамеры, интегрированные с блоком связи и навигации. Данные камеры разработаны на базе CMOS видео сенсоров, применяемых в автомобильной промышленности для задач получения изображения в системах помощи водителю. Матрица отличается значительным динамическим диапазоном (110 Db), а также наличием «ночного» режима, что заметно повышает возможности получения изображений приемлемого для последующей обработки качества в условиях недостаточной освещенности, либо в условиях засветки, например, фронтально расположенным солнцем. Жесткое крепление камер в едином с блоком навигации и связи интегрированном модуле сенсоров (рис. 2), с фиксацией их оптических осей, позволяет на достаточном уровне качества решать задачу установления положения в пространстве объектов сцены поля в пространственной системе координат (3D).

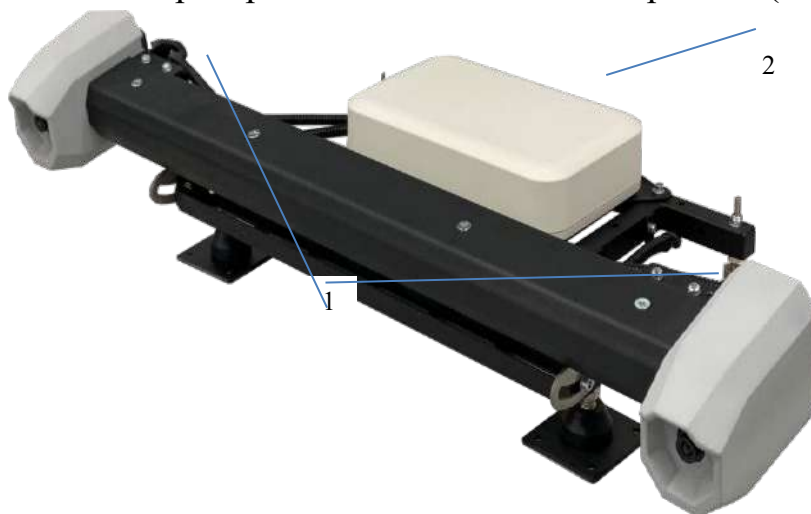


Рис. 2 – Модуль сенсоров: 1- стереовидеокамеры, 2- блок связи и навигации

Блок навигации и связи включает в свой состав микросхемы высокоточного навигационного приемника GNSS, имеющего в том числе режим работы с RTK поправками, микросхемы инерциального модуля и гироскопа, обеспечивающих расчет ускорений и оценку кренов во время движения машины, микросхемы модемов связи по каналам GSM и радиосвязи в диапазоне 433 МГц по протоколу LoRaWan, что обеспечивает реализацию ряда функций, требующих обмен данными с системой, установленной на борту комбайна.

Данный интегрированный модуль сенсоров устанавливается на крыше кабины комбайна (рис.3).



Рис. 3 – Интегрированный модуль сенсоров, установленный на крыше кабины зерноуборочного комбайна

■ Блок управления, интегрированный с дисплеем. Основой данного модуля (рис. 4) является бортовой процессор, имеющий в составе своей архитектуры многоядерный центральный процессор, а также тензорный сопроцессор, предназначенный для выполнения вычислений алгоритмов искусственного интеллекта – нейронных сетей глубокого обучения. Помимо основного вычислителя Модуль включает блоки управления питанием, интерфейсы взаимодействия с периферийными устройствами и сенсорный дисплей.



Рис. 4 – Модуль бортового процессора с сенсорным дисплеем

■ Комплекс периферийных устройств (рис. 5), включающий блоки управления гидравликой на базе микроконтроллеров, энкодер - датчик угла поворота колес, датчик перехвата рулевого управления на базе магнитного датчика Холла, а также гидравлический блок с цифровым управлением.



а



б



в

Рис. 5 – Комплекс периферийных устройств: а-датчик угла поворота колес, б- блок управления гидравликой, в-гидравлический блок

Программная часть включает ряд связанных между собой модулей:

- Обработка изображений, классификация и отображение в системе локальных координат машины объектов на пути следования.

Для того, чтобы алгоритмы искусственного интеллекта корректно обрабатывали изображение, необходимо провести их обучение на базе ранее собранных и подготовленных посредством специальной разметки наборов данных – кадров обстановки поля, включающих разнообразные объекты различных классов.. Практика показывает, что для обучения устойчивых нейронных сетей для агрозадач необходимо собрать и разметить около 100 тысяч кадров, максимально охватывающих все разнообразие полевой обстановки [2].

Цикл обработки изображения включает несколько этапов. На первом этапе полученное с камер изображение проходит обработку алгоритмами искусственного интеллекта с целью выделения в кадре основных объектов. Применяется мультизадачная нейронная сеть глубокого обучения с архитектурой BiSeNet. Пример обработки изображения алгоритмами искусственного интеллекта на основе обученной нейронной сети представлен ниже (рис. 6). В рамках обработки каждая точка изображения относится к одному из классов, на которые «натренирована» нейронная сеть в данном случае - это участки нескошенной культуры, участки скошенной культуры, валки, элементы конструкции комбайна, который находится под управлением системы, другая техника и возможные препятствия.

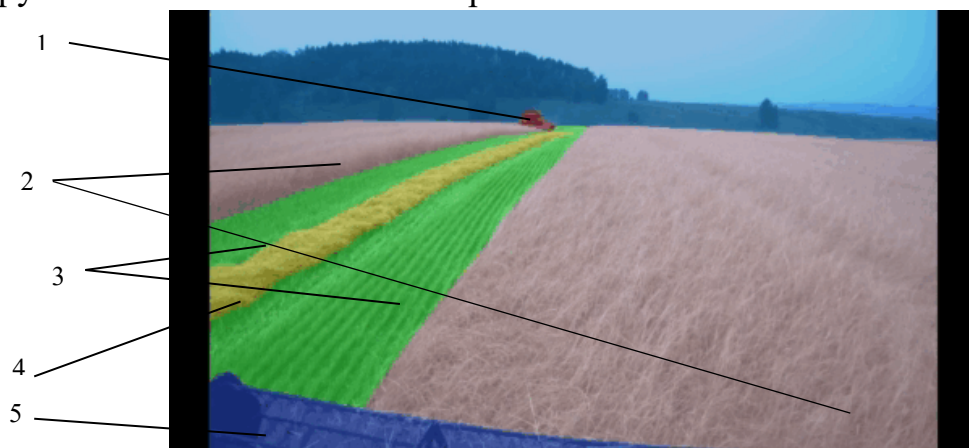


Рис. 6 – Пример обработки изображения алгоритмами искусственного интеллекта на основе обученной нейронной сети: 1- зерноуборочный комбайн, работающий на соседней загонке, 2-нескошенная часть поля, 3- скошенные участки поля, 4- валок соломы, 5- жатвенная часть зерноуборочного комбайна, с установленной системой Cognitive Agro Pilot.

На базе полученной модели классов производится последующая обработка изображения с целью выделения объектов, определяющих курс и направление движения. В данном случае – это кромка стеблестоя зерновой культуры, вдоль которой должен двигаться комбайн. Необходимо отметить, что условия эксплуатации уборочной техники предполагают, в том числе, работу на полях со сложным рельефом: с ложбинами, пригорками и склонами. Помимо этого, зерновые культуры часто имеют участки полеглости, таким образом, высота истинного положения кромки стеблестоя может существенно изменяться. Для исключения влияния факторов рельефа и изменчивости высоты стеблестоя применяется постобработка кадров в синхронном стереорежиме. Таким образом, искомый объект отображается в пространственных координатах, что в свою очередь исключает посторонние неверных траекторий движения машины.

Примеры работы алгоритма постобработки в стереорежиме приведены ниже: на рисунке 7 показано отображение положения проекции кромки стеблестоя на горизонтальную плоскость, расположенную на уровне земли, с учетом реальной высоты растений убираемой культуры.



Рис. 7 – Отображение положения проекции кромки стеблестоя после обработки алгоритмами программы в синхронном стереорежиме

Проверка работы указанных алгоритмов производилась на территории полигона НТЦК ОАО «Гомсельмаш» с этой целью была произведена имитация изменения рельефа и имитация кромки культуры в виде контрастной ленты (рис. 8).



а



б

Рис. 8 – Имитация кромки стеблестоя культуры (а) и рельефа поля (б) в условиях полигона ИЦ НТЦК ОАО «Гомсельмаш»

■ Блоки оценки уверенности распознавания объектов

В условиях разнообразия полевых работ в части видов убираемых культур, условий освещенности, условий видимости особую значимость приобретают вопросы устойчивости алгоритмов обработки изображений для обеспечения уверенного следования комбайна заданным курсом – вдоль кромки стеблестоя, рядка или валка. Поэтому алгоритмы обработки включают блоки оценки уверенности распознавания объектов. Поясним это на примере обработки кадра рядковой культуры – кукурузы (рис. 9).

На первом кадре слева представлено исходное изображение, далее результат выделения рядков нейронной сетью, а третий кадр справа содержит результаты оценки надежности детектирования каждого из выделенных рядков по шкале от 0 до 1. В программе предусмотрен определенный порог уверенности детектирования для обеспечения надежного движения по траектории, эта функция позволяет автоматически предупредить механизатора о том, что в данных условиях система «не видит» объекты. На примере, приведенном ниже, показано, что объекты класса «рядок» устойчиво выделяются при различных условиях освещенности: день, вечер, ночь.

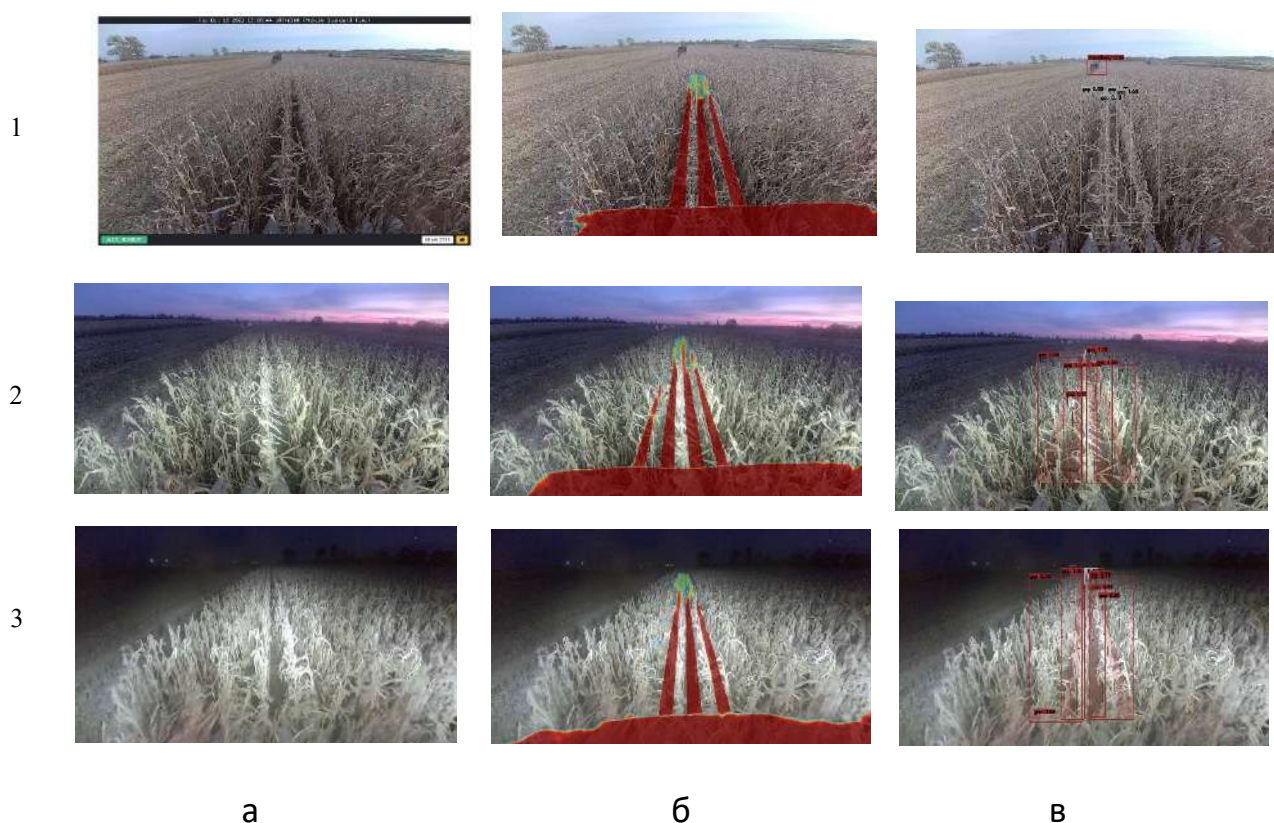


Рис. 9 – Результаты обработки изображений нейронной сетью в различных условиях освещенности (1-день, 2-сумерки, 3-ночь) на уборке кукурузы на зерно: а-исходное изображение, б- результат выделения рядков нейронной сетью, в-оценка надежности детектирования рядка

Также следует отметить, что качество получаемого изображения определяется возможностью активно использовать весь технический потенциал видео сенсора в камере по динамическому управлению экспозицией при съемке.

- Локализация машины через увязку параметров бортовых сенсоров, локальной и глобальной систем координат.

Особенностью этого процесса является необходимость учета габаритных характеристик комбайна, параметров его движения для корректного сопряжения мест размещения сенсоров и виртуальной точки начала координат машины.

Ниже в качестве иллюстрации показаны сравнительные графики увязки данных GNSS с данными виртуального центра координат машины (рис. 10).

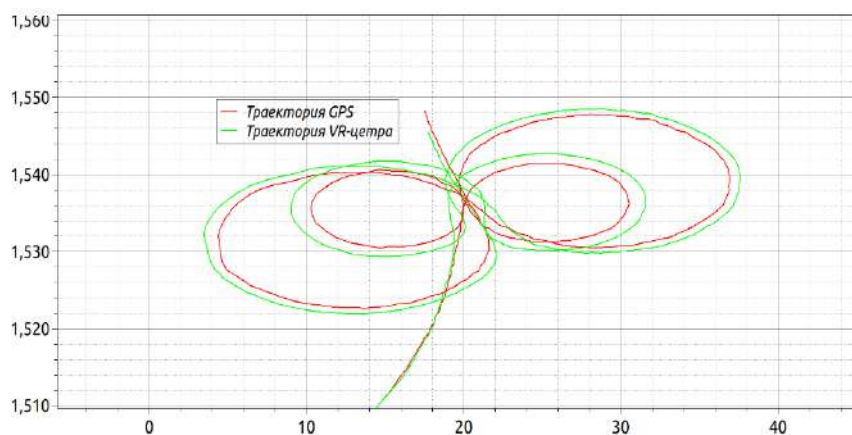


Рис. 10 – Графики траекторий движения комбайна по данным сенсоров глобальной и локальной систем координат

На рисунке 11 приведен пример отладки алгоритма комбинирования данных о локализации машины, получаемых с видео камер, колесной одометрии, GNSS сенсоров. Важно обеспечение точной увязки всех данных, несмотря на конфигурацию траекторий движения

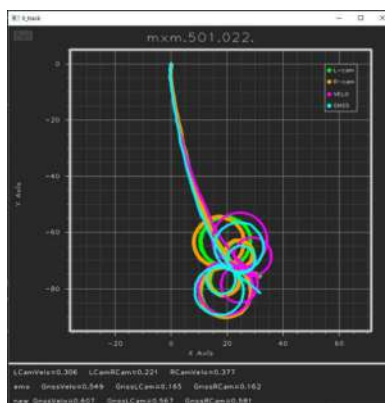


Рис. – 11 Отладка алгоритма комбинирования данных о локализации машины, получаемых с видео камер, колесной одометрии, GNSS сенсоров.

- Планирование маршрута, исходя из задач движения и окружения машины.

Для корректного решения данной задачи необходимо учитывать положение целевой траектории, в случае уборки урожая это кромка, рядок или валок, габаритов и кинематики машины, для того чтобы планируемая траектория была гладкой и «выполнимой», а также наличие препятствий. На рисунке 12 представлен график расчета траектории для перспективной функции разворота в конце гона.

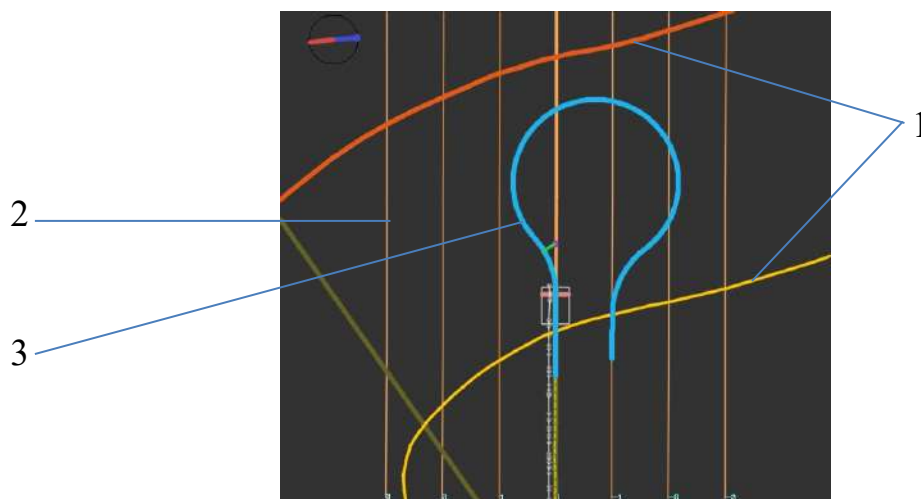


Рис. 12 – График расчета траектории для перспективной функции разворота в конце гона: 1-границы разворотной полосы, 2-целевая траектория, 3-планируемая траектория разворота

- Выполнение движения по заданной траектории.

Для выполнения точного движения по заданной траектории важным моментом является точное получение обратной связи от исполнительных элементов машины, в частности угла поворота колес. С учетом реалий условий монтажа датчика угла поворота реакция данного датчика на изменение угла поворота колес обычно носит нелинейный характер в зависимости от величины угла поворота. Для корректного учета данной нелинейности необходимо выполнить процедуру калибровки, рассчитывающую необходимые коэффициенты поправок в показания датчика. На рисунке 13 показан график зависимости показаний датчика от реального угла поворота рулевых колес, на рисунке 14 - стенд калибровочного проезда с автоматическим расчетом поправочных коэффициентов для корректной обратной связи.

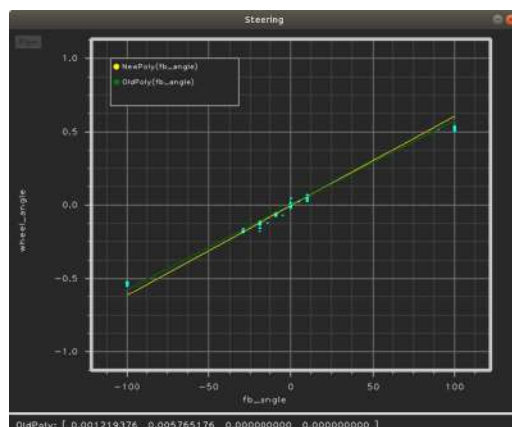


Рис. 13 – График зависимости показаний датчика от реального угла поворота рулевых колес

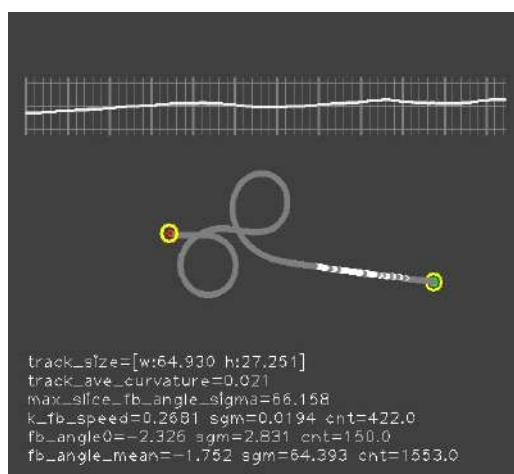


Рис. 14 – Стенд калибровочного проезда с автоматическим расчетом поправочных коэффициентов для корректной обратной связи

В упрощенном представлении выполнение указанных выше функций модулями программы происходит в циклическом режиме с частотой порядка 10 Гц, что обеспечивает уверенное управление комбайном на всех скоростных режимах его движения.

В период сезонов 2021 и 2022 года усовершенствованные модификации системы были установлены на комбайны марки GS12A1 и GS810, КЗС-812 как в испытательном центре НТЦК ОАО «Гомсельмаш», так и в ряде агропредприятий России (рис. 15).



Рис. 15 – Вид на комбайн КЗС 1218, оснащенный системой Cognitive Agro Pilot версии 2022 года, на заготовке пшеницы. Волгоградская область. РФ

Под управлением системы была произведена уборка культур сплошного высева, таких как: пшеница, рожь, овес, ячмень, соя, рапс, рис; культур рядкового высева: кукурузы, подсолнечника, а также валков гречихи в режиме раздельной уборки.

С учетом перемещений между полями, переездов в зону выгрузки и прочих вспомогательных операций время работы комбайнов под управлением системы находилось в диапазоне от 48 до 76% сменного времени. Пример обработки поля по данным телеметрии показан на рисунке 16 (зеленые точки работа под управлением системы).



Рис. 16 – Траектория движения комбайна по данным телеметрии, с указанием участков движения комбайна под управлением системы Cognitive Agro Pilot.

По итогам эксплуатации комбайнов, оснащенных системой Cognitive Agro Pilot версии 2022 года, в хозяйствах, отмечено полное устранение ранее отмеченных недостатков и замечаний, кроме того, отмечено увеличение производительности работ на 10 – 20% в зависимости от

используемых организационных приемов (выгрузка на ходу, оптимизация логистики в поле).

Большой потенциал развития функций повышения автономности управления комбайном (см. рис.17), а также анализа состояния урожая, продуктивности полей, указанное направление является перспективным для повышения конкурентных преимуществ уборочной техники производства ОАО «Гомсельмаш». С 2023г. данная система будет входить в число стандартных опций ряда моделей зерноуборочной техники.



Рис. 17 – Работа зерноуборочного комбайна GS12A1 в режиме беспилотного вождения.

В 2023г. планируется проведение испытаний техники ОАО «Гомсельмаш» для заготовки кормов из трав и силоса, оснащенной адаптированными под задачи данной уборочной техники версией системы Cognitive Agro Pilot .

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт <https://promo.cognitivepilot.com/> Система Cognitive Agro Pilot
2. Журнал Агробизнес, «ИИ автопилотов Cognitive Pilot стал мощнее в 4 раза», 1 сентября 2022.
3. ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ испытаний системы автономного управления Cognitive Agro Pilot установленной на комбайне зерноуборочном самоходном КЗС-1218А-1, № 257 ИЦ-20

СЕКЦИЯ № 2

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

УДК 635.136

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЗАНИЯ БОТВЫ КОРНЕПЛОДОВ

А.Ю. Несмиян¹, А.А. Ашитко¹, Р.Ю. Колесник¹, В.А. Максименко²¹Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,
г. Зерноград, Российская Федерация;²ФГБНУ «АНЦ «Донской»,
г. Зерноград, Российская Федерация

Значительная доля овощных культур, в том числе корнеплодов, возделывается не промышленно, а в условиях подсобных хозяйств, уровень механизации труда в которых крайне низок [1...4]. В связи с этим разработка технических средств для уборки корнеплодов в хозяйствах различных групп и форм собственности – актуальная задача, имеющая перспективы промышленной реализации. При уборке большинства культур, в том числе и корнеплодов, значимым процессом является резание, поэтому данное исследование направлено на выявление закономерностей резания ботвы корнеплодов (на примере редиса и моркови).

Исследование и обработка данных проводились по методикам факторного эксперимента (план второго порядка) [5] с использованием компьютеризированной динамометрической установки [6]. Результаты исследования позволили построить регрессионные зависимости (1) и (2) удельной силы перерезания (Н/мм²) ботвы для редиса (y_p) и моркови (y_m).

$$y_p = 0,337 - 0,045x_1 + 0,223x_2 + 0,05x_3 + 0,043x_1x_2 + 0,023x_2x_3 - 0,021x_1^2 + 0,041x_2^2 - 0,034x_3^2, \quad (1)$$

$$y_m = 0,272 - 0,093x_1 + 0,207x_2 + 0,011x_3 + 0,011x_2x_3 - 0,021x_1^2 + 0,015x_2^2 + 0,011x_3^2. \quad (2)$$

Исследование показало, что наиболее значимым из рассмотренных оказался фактор x_2 – толщина режущей кромки ножа, его снижение от 0,5 до 0,1 мм привело к уменьшению величины удельного усилия резания ботвы в среднем на 60...80%, что позволяет рекомендовать к использованию в конструкции ботвоудаляющей машины (БМ) тонкие быстросменные лезвия вместо долговечных ножей с широким основанием. Было установлено, что снижение скорости резания позволяет уменьшить затраты энергии на реализацию этого процесса, однако при скорости

движения ножа (x_3) около 0,2 м/с и притупленном лезвии (около 0,5 мм) ботва не перерезается, а сминается. В целом исследование позволяет рекомендовать следующие параметры и режимы БМ: угол (x_1) ориентации режущей кромки ножа к направлению резания – от 30 до 45°; толщина режущей кромки ножа (x_2) – около 0,1 мм; скорость резания (x_3) – около 0,33 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние овощеводства в России и за рубежом [Электронный ресурс //URL:<http://oursnature.ru/lib/b/book/360683215/3> (01 августа 2022).
2. Росстат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/bgd/free> (02 августа 2022).
3. Гавриш Е.А. Конструктивно-технологическая схема машины для обрезки редиса / Е.А. Гавриш, А.А. Ашитко, А.Ю. Несмиян, Р.Ю. Колесник // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы международной научно-практической конференции, п. Майский, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. С. 44–48.
4. Ашитко А.А. Обоснование конструкции и параметров устройства для отделения ботвы корнеплодов / А.А. Ашитко, А.Ю. Несмиян, Р.Ю. Колесник и др. // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – № 2 (50). – С. 4-12.
5. Несмиян А.Ю. Исследование основных закономерностей резания ботвы корнеплодов / А.Ю. Несмиян, А.А. Ашитко, Р.Ю. Колесник, В.А. Максименко // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11. – № 3. – С. 329-342.
6. Факторный эксперимент [Электронный ресурс]. // https://ru.qwe.wiki/wiki/Factorial_experiment (02 августа 2022)

УДК 631.31

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО КАНАЛА В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

И.В. Герасименко, М.Р. Курамшин, А.В. Козорезов, Е.А. Батманов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
г. Оренбург, Российская Федерация

Развитие технического обеспечения аграрного производства должно быть направлено на внедрение современных энергосберегающих технологий. Это возможно осуществить путем ряда мероприятий, среди которых применение комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, создание новой техники и замена устаревшей, совершенствование машин и рабочих органов и много других [1].

Процесс создания, усовершенствования, а также исследование новых рабочих органов и почвообрабатывающих машин связан с применением почвенных каналов и разнообразных экспериментальных установок. Их конструкции должны учитывать все возможные факторы проведения исследований: влажность почвы, ее твердость и состав, глубину обработки, поступательную скорость агрегатов, буксование колесных движителей и др.

Поэтому в настоящее время применяются различные конструкции почвенных каналов для определения силовых характеристик, действующих на рабочие части и элементы существующих и модернизированных сельскохозяйственных машин и агрегатов. Эти конструкции могут быть оснащены разного рода экспериментальными установками, модулями и стендами.

Обучение на инженерной специальности подразумевает понимание студентами технологического процесса не только теоретически, но и практически, изнутри. Одними из важнейших дисциплин на агроинженерии являются дисциплины, связанные с изучением сельскохозяйственных машин и их рабочих органов. Грамотный агроинженер должен уметь правильно подбирать рабочее оборудование и задавать рабочее положение при использовании сельскохозяйственных орудий. От данных действий буквально зависят многие операции, такие значимые как вспашка, культивация, боронование, прикатывание, посев и т.д. [2,3,4,5,6,7].

Учитывая реальные условия труда и организацию рабочих процессов, далеко не всегда молодым инженерам, только пришедшим с учебных заведений на рабочие места в сельхозпредприятия, удаётся быстро и правильно освоить определенные практические навыки, опираясь

при этом только на теорию. К таким навыкам как раз и относится выбор и настройка рабочего оборудования для сельхозмашин. В тех условиях, когда работа идет в сжатые сроки, особенно это актуально в сезон, редко, получается, воплотить даже большой теоретический багаж в безошибочные практические действия.

Почвенный канал, конечно, не решает эту проблему коренным образом и не даёт однозначной гарантии того, что студенты вообще не будут испытывать никаких проблем с практическими навыками. Таких навыков должно быть достаточно много и какие-то из них студенты получают при прохождении производственной и преддипломной практики. Но наличие на базе университета почвенного канала значительно улучшит понимание студентов в области работы с орудиями для сельхозмашин и облегчит дальнейшее развитие в профессиональной сфере.

Деятельность научного учреждения, связанная с созданием и исследованием новых рабочих органов машин для обработки почвы и посева, обычно оценивается по наличию почвенного канала или испытательного полигона [8].

Разработка новых рабочих органов обязывает учитывать всевозможные факторы проведения исследований, такие как влажность, твердость и состав почвы, глубина обработки, скорость агрегата, рельеф поля, буксование колес трактора и много других. Влияние каждого из этих факторов изучается во время проведения большого числа хозяйственных и полевых опытов, которые, в свою очередь, зависят от ожидания благоприятных погодных условий, иногда занимающего длительное время [8].

Исследование тех же факторов в камеральных условиях значительно экономит время испытаний. Применение современных компьютерных технологий позволяет использовать моделирование процесса при помощи построения 3D-моделей машин и их рабочих органов и тем самым обеспечивает высокую точность воспроизведения реальных условий. При этом решаются вопросы удобства обслуживания измерительной аппаратуры, становится возможным использование гидравлических и электрических стендов с повышенной точностью измерений, необходимых, например, при проведении трибологических исследований. Появляется возможность организации всесезонных и круглосуточных стендовых испытаний. Кроме того, при оснащении современным оборудованием возможна апробация отдельных рабочих органов на специальных стендах [8].

В середине прошлого века настоящим бумом было оснащение НИИ и учебных заведений, связанных с изучением сельхозмашин, так называемыми почвенными каналами. Сдерживающим обстоятельством, сначала ограничившим широкое использование почвенных каналов, а затем и сократившим их количество, стала необходимость периодической

смены почвы в канале, а также невозможность (как тогда, так и в настоящее время) задания необходимых физико-механических свойств почвы. Если первая проблема может быть решена за счет своевременной организации смены грунта, то со второй все гораздо сложнее, так как речь фактически идет о создании искусственной почвы или об ее имитации [8].

Оценка результатов исследований прочности почвенного пласта и сопротивления различным деформациям, характера разрушений во времени и пространстве становится более точной, однако до решения обратной задачи – задания условий проведения экспериментов – еще далеко. Получение достоверных данных по взаимодействию рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин с реальной почвой в почвенном канале возможно путем частой замены сравнительно больших не тронутых предварительной деформацией фрагментов почвы, имеющих необходимую влажность и твердость. При этом поддержание физико-механических свойств почвы представляется более простой задачей, чем создание искусственной почвы с сохраненной почвенной биотой [8].

Во всех остальных случаях может идти речь только о сравнительных экспериментах, цель которых – оценка функциональных или энергетических характеристик отдельных усовершенствованных рабочих органов или всей машины в целом [8].

Другая проблема была связана с необходимостью масштабирования исследуемых в почвенных каналах рабочих органов или фрагментов испытываемых машин, определения корреляционных зависимостей (критериев подобия) в процессе взаимодействия подобных воздействий на почву (удар, деформация, крошение, разрушение, износ и т.п.) отдельных уменьшенных рабочих органов или их сочетаний. В настоящее время такая постановка вопроса представляет собой типовую задачу теории подобия, от корректного решения которой зависит точность проведения экспериментов и сходимость полученных характеристик [8].

Подводя некоторые итоги, можно сделать следующие выводы. Любая новая сельхозтехника почти во всех случаях, прежде чем оказаться на полях, требует определенных испытаний, в том числе лабораторных. Почвенный канал при этом служит хорошей платформой для испытаний некоторых рабочих органов сельхозмашин. Кроме научно-исследовательской работы, почвенный канал может применяться при проведении занятий у студентов различных направлений подготовки и профилей, потому что позволяет увидеть и понять технологический процесс не только теоретически, но и практически, изнутри.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обоснование конструкции стенда для динамических испытаний ведущих колес транспортно-технологических машин АПК / А.С. Уланов, В.Ф. Купряшкин, Н.И. Наумкин [и др.] // Инженерные технологии и

системы. – 2022. – Т. 32. – № 1. – С. 71-89. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202201.071-089. – EDN SHMMGO.

2. Konstantinov M., Glushkov I., Nesvat A., Gerasimenko I. and Ognev I. Features of snow retention and counteraction to wind erosion of soils due to high stubble residues formed by a reaper designed for twophase harvesting by batch method // В сборнике: E3S Web of Conferences 2020. С. 01016.

3. Константинов М.М. Рекомендации по механизированной уборке зерновых культур, севу озимых и обработке почвы [Текст] / М.М. Константинов, А.П. Козловцев, И.В. Герасименко, И.Н. Глушков, С.С. Пашинин, К.С. Потешкин, И.Х. Галлиев, А.А. Буканов, И.В. Трофимов, И.Д. Найманов // Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2015. – 46 с.

4. Константинов М.М. Практикум по сельскохозяйственным машинам и орудиям [Текст] / М.М. Константинов, В.Н. Мякин, А.П. Козловцев, А.А. Панин, И.В. Герасименко, И.Н. Глушков и др. // Оренбург: ООО «Печатный дворик», 2016. – 299 с.

5. К вопросу обоснования оптимальных параметров шнекового делителя порционной жатки / М.М. Константинов, И.Н. Глушков, И.А. Рахимжанова, И.В. Герасименко // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 11. – С. 59-63. – DOI 10.28983/asj.v0i11.615.

6. Константинов М.М. Расчёт гидропривода валковой порционной жатки с устройством образования стерневых кулис / М.М. Константинов, А.Н. Кондрашов, И.В. Герасименко [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(41). – С. 90-93.

7. Глушков И.Н. Определение оптимальной ширины транспортирующего устройства порционной жатки с устройством образования кулис / И.Н. Глушков, И.В. Герасименко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(66). – С. 135-138.

8. Зволинский В.Н. Роль почвенного канала при изучении процессов в системе "рабочий орган - почва" / В.Н. Зволинский, М.А. Мосяков, Н.Ю. Николаенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 1. – С. 36-40. – EDN VHZYQV.

УДК 62-83-52

НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

В.В. Тодарев, В.А. Савельев, И.Н. Бураченко
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация: Цель работы состоит в упрощении конструкции нагрузочного устройства, снижение его стоимости, повышение энергоэффективности испытания механических трансмиссий при переменной нагрузке и постоянстве скорости вращения.

Для достижения указанной цели предложено в качестве нагрузочной машины использовать асинхронную машину с короткозамкнутым ротором с числом пар полюсов обмоток статора не менее двух, полюсные обмотки разделены на две электрически не связанные части, одна из которых подключена к питающей сети напрямую, другая – через регулятор напряжения с возможностью рекуперации энергии в сеть, соединенный с выходом системы управления.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, асинхронный электропривод, нагрузочное устройство, испытательный стенд.

Annotation: The aim of the work is to simplify the design of the loading device, reducing its cost, increasing the energy efficiency of testing mechanical transmissions under variable load and constant speed of rotation.

To achieve the goal it was proposed to use a squirrel-cage asynchronous machine with a number of pole pairs of stator windings at least two, the pole windings are divided into two electrically unrelated parts, one of which is connected to the power grid directly, the other is connected through a voltage regulator with the possibility of energy recovery into the grid, connected to the output of the control system.

Keywords: asynchronous electric motor, asynchronous electric drive, loading device, testing bench.

Часто при испытаниях механических трансмиссий необходима имитация реальной нагрузки вращательного характера с переменным моментом сопротивления при поддержании постоянства скорости вращения. Для этого применяются нагрузочные устройства.

Общим недостатком существующих нагрузочных устройств является высокая стоимость, обусловленная необходимостью использования преобразователя, мощность которого не менее мощности нагрузочного электродвигателя.

Цель работы состоит в упрощении конструкции нагрузочного устройства, снижение его стоимости, повышение энергоэффективности испытаний механических трансмиссий при переменной нагрузке и постоянстве скорости вращения.

Для достижения указанной цели предложено в качестве нагрузочной машины использовать асинхронную машину с короткозамкнутым ротором с числом пар полюсов обмоток статора не менее двух, полюсные обмотки разделены на две электрически не связанные части [1], одна из которых подключена к питающей сети напрямую, другая – через регулятор напряжения с возможностью рекуперации энергии в сеть, соединенный с выходом системы управления.

На рисунке 1 изображена функциональная схема предлагаемого нагрузочного устройства.

Нагрузочное устройство (см. рис. 1) содержит асинхронную машину 1 с короткозамкнутым ротором, полюсные обмотки статора которой разделены на две электрически не связанные части. Одна часть обмоток статора подключена к питающей сети 2 напрямую, другая – через регулятор 3 напряжения. Регулятор напряжения предназначен для формирования переменной составляющей момента нагрузки и подключен к выходу системы 4 управления.

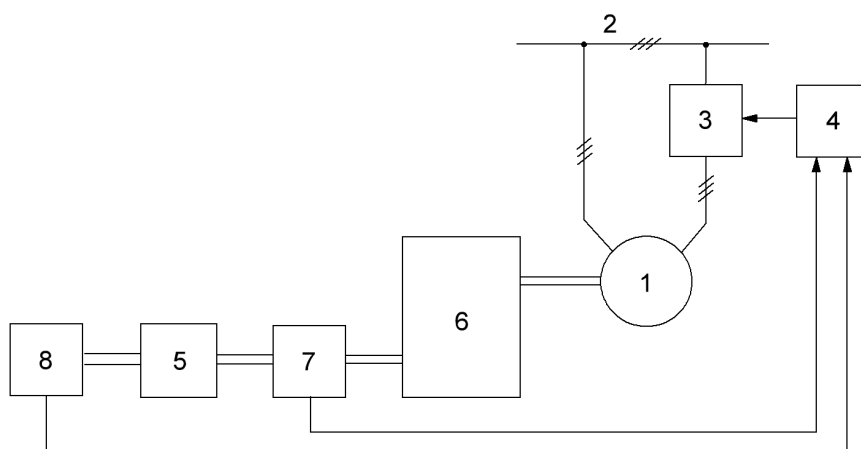


Рис. 1 – Функциональная схема нагрузочного устройства

Вал асинхронной машины 1 механически соединён с валом испытуемой трансмиссии 5 через передаточное устройство 6, предназначенное для перевода асинхронной машины 1 в генераторный режим, и датчик 7 момента. С валом испытуемой трансмиссии также механически соединен датчик 8 скорости. Датчики момента и скорости предназначены для получения информации о фактических значениях нагрузочного момента и скорости соответственно. Выходы датчиков 7 момента и 8 скорости соединены с системой 4 управления.

Для работы устройства необходимо установить передаточное число передаточного устройства таким, чтобы асинхронная машина перешла в

генераторный режим. Соотношение полюсных обмоток статора выбираем таким, чтобы часть обмотки, подключённая к питающей сети напрямую, обеспечивала постоянную составляющую нагрузочного момента M_- (см. рис. 2), а другая часть обмотки, подключённая через регулятор напряжения, задавала переменную составляющую момента нагрузки $M_{\sim}$ при помощи системы управления. Суммарная нагрузка представляет собой сумму моментов $M_T = M_{\sim} + M_-$ и, при необходимости, может быть скорректирована исходя из реальных значений, полученных от датчиков момента и скорости.

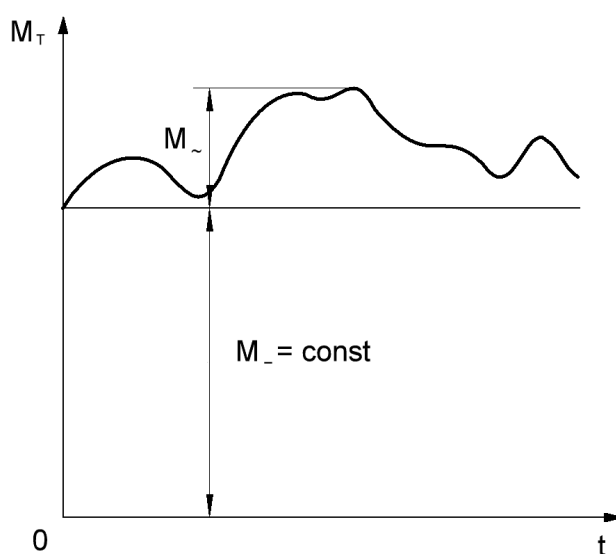


Рис. 2 – Нагрузочная диаграмма устройства

На рисунке 3 показана механическая характеристика $M1$, полученная с помощью части полюсной обмотки статора, подключённой к сети напрямую и создающей постоянную составляющую момента M при постоянной скорости $\omega_{исп}$ вращения. Механические характеристики $M2$, $M2'$, $M2''$ обеспечивают получение различных по величине значений M , $M_{\sim}'$, $M_{\sim}''$ переменной составляющей момента нагрузки, и получены с помощью части полюсной обмотки статора, подключенной к сети через регулятор напряжения, при различных значениях напряжения на выходе регулятора. Механическая характеристика $M3$ представляет собой сумму характеристик $M1$ и $M2$, и обеспечивает суммарный тормозной момент нагрузки M_T .

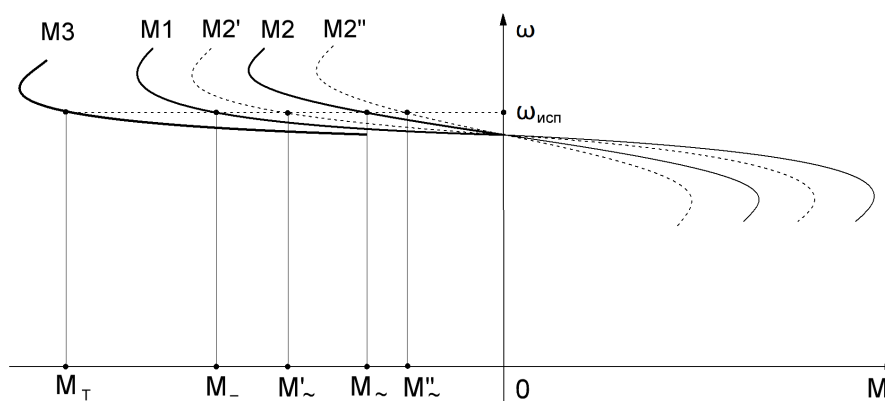


Рис. 3 – Механические характеристики нагрузочного устройства

Генераторное торможение с рекуперацией электроэнергии в сеть при переменной составляющей нагрузки обеспечивается соответствующей функцией регулятора напряжения. За счёт применения регулятора напряжения с функцией рекуперации энергии в сеть также обеспечивается повышение энергоэффективности нагрузочных испытаний.

При стендовых испытаниях объектов вращения с постоянной скоростью достаточно простейшего недорогого передаточного устройства для перевода двигателя в генераторный режим, что снижает стоимость устройства.

Так как переменная составляющая нагрузки в большинстве случаев не превышает 20% от суммарной нагрузки, стоимость устройства снижается за счёт применения маломощного регулятора напряжения, рассчитанного на передачу мощности только переменной составляющей нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент ВУ 12022, МПК Н 02Р 23/03, Н 02К 17/16, 2018.

УДК: 631.358:633.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ СЕМЯН В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

В.Н. Перевозников¹, В.А. Левчук², В.И. Коцуба²

¹ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш», Центр научно-технических разработок, г. Бобруйск, Республика Беларусь;

²УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь

В целях сокращения сроков уборки льна, а соответственно и потерь качественной тресты и семенного материала в Беларуси практикуется использование заводской технологии [1].

Заводская технология уборки отличается от раздельной технологии тем, что отделение семенной части урожая производится в линии первичной переработки льна на льнозаводе, что снижает ее зависимость от погодных условий с точки зрения получения семян льна. Кроме того она позволяет сократить количество операций проводимых в поле (подбор с очесом и транспортировка семенного вороха на льнозавод). А трудозатраты, на отделение семенной части урожая от стеблей, распределить равномерно на более длительный период связанный с переработкой, полученной льнотресты с семенными коробочками, на льнозаводе [1, 2]. При этом остаются неисследованными потери урожая семян льна их качество и возможность использования на посевные цели. Отсутствуют исходные технологические требования к технологии уборки льна с семенными коробочками, отделению семенных коробочек с доработкой льновороха [2].

По результатам научных исследований и производственных испытаний в период с 1998 г. по 2021 г. технологии получения урожая льносемян на предприятиях по первичной обработке льна в технологической линии выработки длинного волокна установлено что [3]:

- в ходе вылежки льнотресты и дозревания льносемян происходит раскрытие коробочек на стеблях в ленте до ее подъема. При этом потери в связи с осыпанием льносемян составляли до 30 % еще до подбора ленты льна и примерно 20 % – при уборке льнотресты.

- в случае продолжительных обильных атмосферных осадков и температуре атмосферного воздуха свыше 15 °С в период вылежки льнотресты цветоножки вместе с семенами в коробочках обламываются на стеблях. Размер этих потерь в данном случае оценивался в 40–50 % от всего урожая семян.

В ходе производственной проверки заводской технологии уборки льна в условиях ОАО «Воложинский льнокомбинат» с использованием очесывающего барабана льнокомбайна ЛК-4 было установлено следующее [3]:

- количество получаемых льносемян при очесе составляло не более 80 кг с тонны льнотресты. Причиной этому являются потери семян при приготовлении тресты (оборачивание, ворошение), рулонировании, погрузочно-разгрузочных операциях, хранении льнотресты и размотке рулонов;

- в результате очеса слоя льна оставалось до 25 % неочесанных коробочек с семенами на стеблях. Это объясняется неприспособленностью очесывающего барабана льнокомбайна ЛК-4 для слоя льнотресты, поступающего в мяльно-трепальный агрегат;

- при очесе семенных коробочек образовывалось до 20 % льновороха со стеблями от объема льнотресты из-за спутанности стеблей и увеличенной толщины слоя льнотресты, выходящего из сушильной машины;

- удаление и доработка льновороха требует отдельных устройств и систем, так как применяемый на предприятии пневмотранспорт не обеспечивал надежность процесса по причине большого количества в льноворохе целых стеблей.

Вместе с тем, в Республике Беларусь на девяти льнозаводах установлены линии первичной переработки льна иностранного производства, оборудованные гребневыми очесывающими аппаратами работа которых сопровождается: повреждением стеблей, отходом стеблей в путанину (до 8 %), высокой повреждаемостью семян, намотками на рабочий орган.

Для уменьшения отхода стеблей в путанину и снижения их повреждаемости при осуществлении процесса отделения семян в линии первичной переработки льна в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство с эластичным рабочим органом (рис. 1) [4].

Разработанное обмолачивающее устройство было установлено в линию первичной переработки льна «Wan Dommele» ОАО «Дубровенский льнозавод» (рис. 1).

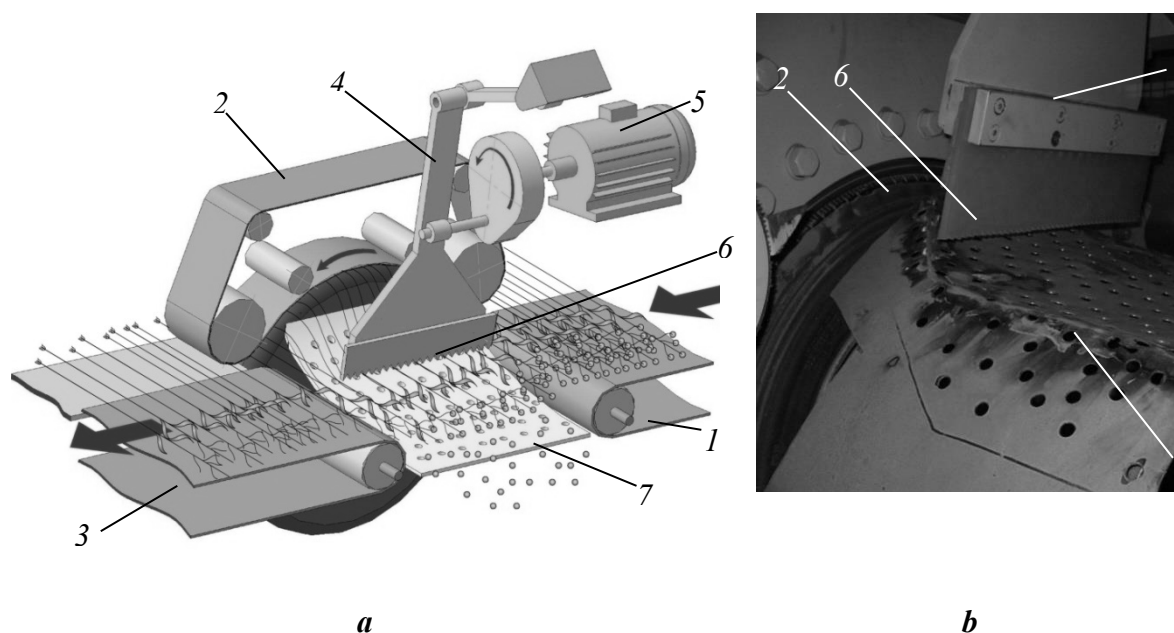


Рис. 1 – Схема (а) и общий вид (b) обмолачивающего устройства: 1 – подающий транспортер; 2 – зажимной транспортер; 3 – отводящий транспортер; 4 – кривошипно-шатунный механизм с коромыслом; 5 – электродвигатель; 6 – эластичный рабочий орган (бич); 7 – сепарирующая решетка (дека)

Устройство содержит ленточно-дисковый зажимной транспортер 5 и аппарат для отделения семенных коробочек от стеблей льна, состоящий из эластичного рабочего органа 1, нижняя рабочая часть которого имеет зубчатую поверхность и кривошипного привода 4, свободно вращающегося на эксцентрик 3, сепарирующей решетки (деки) 2. Сепарирующая решетка 2 установлена относительно эластичного рабочего органа 1 с регулируемым зазором, уменьшающимся по направлению к выходу.

Лента льна подаваемая на обмолот формировалась из рулонов с помощью размотчика рулонов, а в последующем вручную оператором линии на участке подготовки льнотресты устранялись дефекты. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований процесса отделения семян в линии первичной переработки льна

Наименование показателя	Серийный одnogребневый очесывающий аппарат	Устройство с эластичным рабочим органом и декой
Средний диаметр рулона, м	1,53	
Средняя высота рулона, м	1,1	

Средняя масса рулона, кг	249	
Способ заготовки льнотресты	Пресс-подборщик ПРЛ-150	
Способ отделения семенной части урожая	очес	обмолот
Содержание льносемян в тресте		
Масса взятой пробы льнотресты, г	1349,4	1358,2
Масса выделенных семян, г	140	141,3
Удельное содержание льносемян в тресте, г/г	9,63	9,61
Содержание льносемян в тонне тресты, кг/т	110,1	107,98
Определение объема получаемого льняного вороха		
Масса полученного вороха (стебли с семенными коробочками и свободными семенами), кг	9,7	9,8
Удельный вес вороха, %	3,9	3,1
Характеристика льняного вороха		
Масса взятой пробы вороха льна, г	4040,7	4050,2
Содержание льносемян в ворохе, г	639,8	793,8
Удельная масса семян в ворохе, %	16,1	19,63
Получение чистых семян		
Масса льносемян, полученных после системы очистки, г	4040,7	4050,2
Получение льносемян с тонны тресты, кг/т	16,1	19,63
Потери льносемян на технологических переходах оборудования, кг/т	93,9	88,35
Масса травмированных (поврежденных) семян, г	24,15	19,83

Влажность льнотресты в рулонах, находящейся в производственном хранении допускается до 18–20 %, в то время когда требуемая влажность для хранения льносемян не должна превышать 12 %. В результате при хранении льна с семенами проявляется их гидролиз, что приводит практически к полной их порче.

Заключение. В результате проведенных производственных исследований в линии первичной переработки льна фирмы «Van Dommele», установлено, что по сравнению с серийным гребневым рабочим органом, применение эластичного рабочего органа с декой позволяет увеличить степень обмолота лент льна с 82 до 98,8 %, снизить энергозатра на дальнейшую переработку льновороха, а также снизить травмирование и микроповреждение семян с 1,5 до 1 %, снизить общие потерь семян с 3 до 0,9 %, уменьшить повреждение стеблей, влияющее на выход длинного волокна – с 5 до 1,9 % и отход стеблей в путанину – с 4 до 2 %.

Результаты оценки эффективности обмолота льносемян по заводской технологии в линии Van Dommele, смонтированной на ОАО

«Дубровенский льнозавод». Установлено, что до 70 % льносемян безвозвратно теряется на технологических переходах смонтированного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 137–141.

2. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В.А. Шаршунов, В.Е. Кругленя, А.Н. Кудрявцев, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук, М.П. Акулич. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.

3. Оценка эффективности уборки урожая льносемян по заводской технологии / В.Н. Перевозников, А.Н. Чайчиц, В.Е. Кругленя, В.А. Левчук // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур : сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции, Горки, 22–23 июня 2022 года / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 146-149.

4. Левчук В.А. Совершенствование процесса обмолота головок льна в линии первичной переработки фирмы «Van Dommeler» / В.А. Левчук, В.Е. Кругленя // Знания молодых: наука, практика и инновации: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей, Киров, 5 апр. 2013 г. в 2 ч. Технические и экономические науки: – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА. 2013. – Ч. 2. – С. 31–33.

УДК 631.31

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ

В.А. Шахов, П.Г. Учкин, М.Г. Аристанов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный
университет», г. Оренбург, Российская Федерация

В сельском хозяйстве для обработки почвы используется большое количество российских и зарубежных почвообрабатывающих машин, рабочие органы которых имеют различную форму и размеры. В процессе работы, вследствие воздействия абразивных частиц, рабочие органы (стрельчатые лапы, долота и т.д.) интенсивно изнашиваются, происходит изменение угла резания, рабочих размеров и профиля. В результате происходит снижение качества обработки почвы [1].

На сегодняшний день рабочие органы почвообрабатывающих машин выпускаются предприятиями, которые в прошлом этим не занимались (например, оборонные, частично ремонтные). На этих предприятиях для повышения износостойкости рабочих органов используются различные способы, в частности, термоупрочнение и различные виды наплавки [2]. Однако очень часто наблюдается не соблюдение технологий и отсутствие специализированного оборудования для получения качественных покрытий, вследствие чего они не удовлетворяют необходимым требованиям. Результатом является небольшой ресурс рабочих органов, что приводит к их частой замене даже в течение одного сезона полевых работ [3].

В настоящее время для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин применяются различные способы наплавки: электродуговая, электроконтактная, индукционная, плакирование взрывом и другие методы упрочнения [4].

Одним из перспективных способов повышения ресурса рабочих органов глубокорыхлителей является плазменная наплавка, которая позволяет получать покрытия с высокой твердостью и износостойкостью рабочих поверхностей [5]. При плазменной наплавке наносится высокопрочный слой с минимальной глубиной проплавления и сохранением первоначальных физико-механических свойств основного металла рабочего органа.

Для оценки износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин, на примере долот глубокорыхлителей, восстановленных плазменной наплавкой, были проведены научные исследования на основе сравнения их с серийными образцами. Была

разработана технология восстановления с упрочнением рабочих органов – приваривание новой пластины с последующей плазменной наплавкой износостойкого порошка, например, Eutalloy PE 1229, и, затем, механической обработкой.

Для примера были взяты лапы глубокорыхлителя Case IH ECOLO-Tiger 730C (рис. 1) На них были заменены пластины, на которые с помощью плазменной наплавки были нанесены высокопрочные слои, имеющие твердость порядка 70 HRC.



Рис.1 – Новая и восстановленная лапа глубокорыхлителя Case IH ECOLO-Tiger 730C

Сравнительные эксплуатационные испытания глубокорыхлителя Case IH ECOLO-Tiger 730C проводились при обработке под посев и пары на полях Оренбургской области с использованием лап фирмы Land. На одном глубокорыхлителе стояли лапы как новые, так и восстановленные. Полевые испытания показали, что износостойкость и ресурс лап упрочненных износостойким порошком Eutalloy PE 1229, в 4,2-5,0 раз выше, чем серийных.

Также, происходит улучшение эксплуатационных свойств детали даже в условиях наиболее жесткого вида изнашивания – абразивного применительно к рабочим органам глубокорыхлителей.

Таким образом, применение плазменной наплавки позволяет повысить ресурс рабочих органов глубокорыхлителей до 5 раз и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Studies in coatings for working bodies of deep-rippers recovered by plasma surfacing / V.A. Shakhov, P.G. Uchkin, Yu.A. Ushakov // Engineering for Rural Development, Jelgava, 22–24 мая 2019 года. Vol. 18. – Jelgava: Без издательства, 2019. – P. 44-49. – DOI 10.22616/ERDev2019.18.N031.

2. Патент на полезную модель № 191023 U1 Российская Федерация, МПК В23К 10/02, В23К 37/04. Установка для плазменной наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин : № 2019101674 : заявл. 03.07.2017 : опубл. 19.07.2019 / П. Г. Учкин, В. А. Шахов, В. П. Чернышев ; заявитель ФГБОУ ВО "ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ".

3. Методика проведения лабораторных исследований процесса плазменной наплавки / В.А. Шахов, П.Г. Учкин, М.Г. Аристанов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6(86). – С. 144-149. – DOI 10.37670/2073-0853-2020-86-6-144-149.

4. Шахов В.А. Влияние различных факторов на качество восстановленной плазменным способом поверхности / В.А. Шахов, П.Г. Учкин // Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы : Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки, Санкт-Петербург, 21–24 августа 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2018. – С. 269-273.

5. Шахов В.А., Аристанов М.Г. Надежность культиватора SMARAGD LEMKEN в условиях Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета, 2009г., № 2 (S10). – С. 166-168.

УДК 631.358:631.521

РОТОРНОЕ БИЛЬНО-ВЫЧЕСЫВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ СЕМЯН ОТ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА

М.В. Цайц

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и
Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь

Для успешного развития льноводства наряду с химизацией, улучшением агротехники, внедрением механизации должно быть значительно улучшено дело семеноводства этой культуры [1].

К основным задачам в улучшении семенного дела льна-долгунца относят правильную организацию производства сортовых высококачественных семян в хозяйствах высеваящих лен на волокно и ежегодное полное обеспечение этих хозяйств своими собственными семенами на всю площадь посева льна будущего года, а также создание на всех этапах семеноводческой работы и в хозяйствах, высеваящих лен на волокно, страховых переходящих фондов семян районированных сортов [1, 2].

Основной технологией уборки используемой для получения семян на посевные цели является комбайновая технология [3]. Используемые при этом комбайны оборудованы гребневыми очесывающими аппаратами с присущими данному типу устройств недостатками:

- повышенные повреждения и отход стеблей в путанину, возникающие в результате прочёсывания слоя спутанных и сцепленных между собой стеблей;

- защемление стеблей в межзубовом пространстве приводит к обрыву стеблей и выдергиванию их из зажимного транспортера;

- снижение степени очеса семян при повышении растянутости ленты льна (особенно выражена при работе на полеглых посевах);

- низкая эффективность при работе на короткостебельном льне.

Наличие длинностебельных примесей (которые имеют наибольшую влажность) в льноворохе увеличивает затраты на его переработку.

Работа самого гребневого аппарата сопряжена с частыми технологическими остановками на обслуживание. Если очесывающий аппарат не чистить, то забивание межзубового пространства снижает степень очеса, а также это приводит к поломке самого аппарата. Известны случаи обломов зубьев, скручивания приводного вала и т. д.

С целью повышения эффективности процесса отделения семян от стеблей льна в УО БГСХА была предложена конструкция роторного бильно-вычесывающего устройства (рис. 1) [4].

Устройство выполнено в виде ротора 2 (плоский металлический диск толщиной 20 мм). Со стороны подаваемого обрабатываемого материала, на роторе установлены косые бичи 3, с выходной стороны вычесывающе-транспортирующая щетка 4. С входной стороны установлен стол с декой 7. Ротор устанавливается перпендикулярно движению ленты льна, а бичи устанавливаются на роторе со смещением относительно оси симметрии таким образом, что в момент касания ленты образуют с ней острый угол, тем самым устраняя возможность излома стеблей. Дека с диском образуют зону обмолота. Зазор между декой и бичами уменьшается при движении стеблей вниз и в нижней части меньше диаметра семенных коробочек, благодаря чему происходит их отделение от стеблей и полное вытирание.

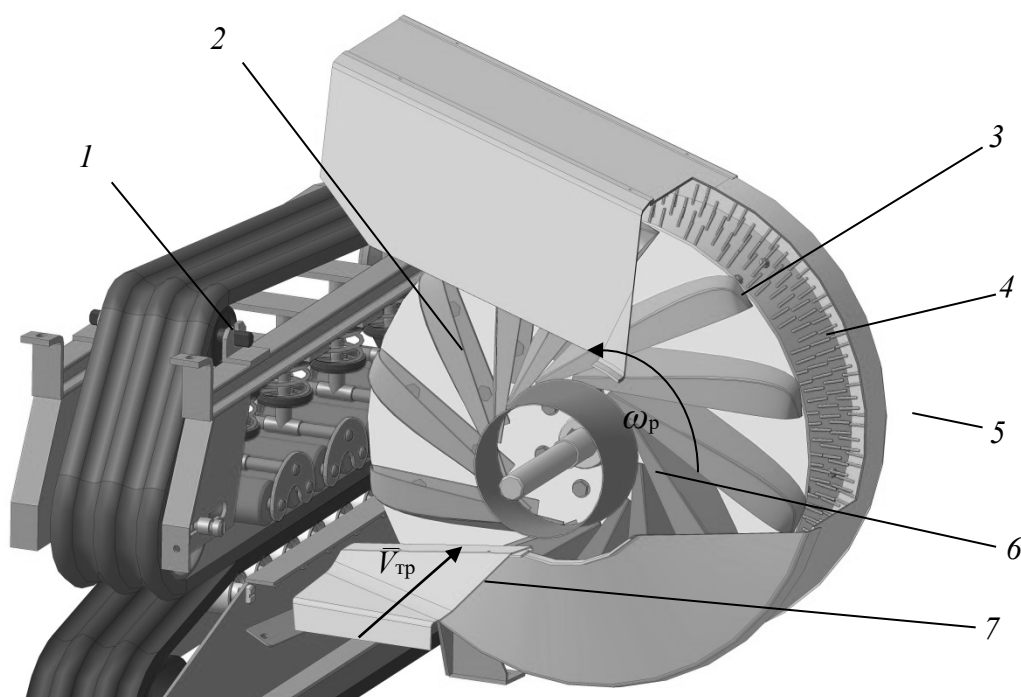


Рис. 1 – Общий вид роторного бильно-вычесывающего устройства: 1 – зажимной транспортер; 2 – ротор; 3 – бичи; 4 – вычесывающе-транспортирующая щетка; 5 – кожух; 6 – кольцо; 7 – стол.

Рабочий процесс устройства предполагает, что лента льна в зажатом зажимным транспортером подводится в зону обмолота, бич увлекает порцию стеблей льна в молотильное пространство, а затем в подроторное пространство. При этом порция льна растаскивается в молотильном пространстве и утоняется, что положительно сказывается на процессе обмолота. Обмолоченная лента попадает под воздействие щетки, которая вычесывает семеена и коробочки, и транспортирует их в выгрузной транспортер.

Для проведения исследований был переоборудован прицепной льноуборочный комбайн «Двина-4М». Лабораторно-полевые испытания

проходили на поле ОАО «Горкилен» урочище Волковщина 6–8 августа. На момент начала опытов лен находился в стадии ранней желтой спелости. В таблице 1 приведены показатели условий испытаний макетного образца льнокомбайна с бильно-вычесывающим устройством.

Полевые исследования макетного образца льноуборочного комбайна проводились после регулировки основных узлов и установки заданных режимов работы, полученных путем теоретических и лабораторных исследований.

Таблица 1. Условия испытаний

Показатель	Значение показателя	
	по ТУ	при испытаниях лабораторно-полевых
Дата, сроки проведения испытаний		6–8 августа
Место проведения испытаний	нет данных	ОАО «Горкилен», урочище Волковщина
Культура, сорт	лен-долгунец	лен-долгунец, Грант
Характеристика культуры, технологического материала, поля		
Фаза спелости льна	Ранне-желтая, желтая	Ранне-желтая
Спелость коробочек по семенам, %:		
- зеленые	нет данных	14
- желтые	нет данных	21
- бурые	нет данных	65
Влажность, %:		
- стеблей	нет данных	22,2
- коробочек	нет данных	14,5
- сорняков	нет данных	55,6
Полегание стеблестоя, балл	не ниже 3	0,5
Зона расположения коробочек в стеблестое, см	нет данных	13,2
Высота расположения зоны коробочек, см	нет данных	68,7
Общая длина стебля, см	нет данных	73,9
Засоренность культуры сорняками, %	не более 10	3,04
в том числе осот	нет данных	нет
Густота стеблестоя, шт/м ²	нет данных	1606
Диаметр стебля, мм	нет данных	1,25

Испытания проведены на соответствие машины требованиям ТУ ВУ 300079094.006-2007 на комбайн льноуборочный «Двина-4М», введенного в действие 5 марта 2008 г.

В таблице 2 приведены результаты агротехнической оценки работы прицепного льнокомбайна «Двина-4М» с установленным роторным бильно-вычесывающим устройством.

По результатам агротехнической оценки чистота очеса у макетного образца составила в среднем для трех режимов работы 98,97 %, что отвечает требованиям ТУ ВУ 300079094.006-2007. Этот показатель получен при работе машины на средней скорости 7,09 км/ч и частоте вращения ротора 380 мин⁻¹.

Таблица 2. Агротехнические показатели при лабораторно-полевых испытаниях макетного образца льноуборочного комбайна

Показатель	Тип аппарата	
	серийный	предлагаемый
Скорость движения комбайна, км/ч	7,09	7,09
Ширина захвата, м		
Производительность в час основного времени, га	0,99	1,05
Производительность за час сменного времени, га	0,79	0,95
Показатели качества выполнения технологического процесса		
Потери семян всего, %	3,81	2,43
в том числе:		
- под теребильным аппаратом	0,64	0,64
- вынос с лентой	2,3	0,92
- от недоочеса	0,87	0,87
- подсаривание под машиной	3,17	1,79
Чистота очеса, %	97,53	98,97
Потери стеблей всего, %	3,7	1,71
в том числе:		
- невытеребленными	0,63	0,63
- в виде отхода стеблей в путанину	3,07	1,08
Чистота теребления, %	99,37	99,37
Состав льновороха по массе, %		
- семенные коробочки целые и разрушенные	48,02	65,05
в том числе семена из них	45,53	56,4
семена свободные	1,67	7,93
в том числе поврежденные и дробленые	0,82	0,72
- путанина	37,67	19,4
- сорняки	1,82	1,35
- прочие примеси	12,5	14,2
Характеристика ленты льна:		
- растянутость ленты, раз		

- повреждения стеблей, влияющие на выход длинного волокна, %	3	0,88
в том числе:		
- открытый излом стебля с разрывом волокна	0,84	0,32
- обрыв технической длины	2,15	0,56

Как видно из таблицы 2, все показатели работы макетного образца льноуборочного комбайна соответствуют техническим условиям ТУ ВУ 300079094.006-2007 на льнокомбайн Двина-4М (за исключением потерь семян), а по некоторым показателям макетный образец превосходит аналог.

Макетный образец обеспечивал однородный ворох с низким содержанием путанины. Применение роторного бильно-вычесывающего устройства в сравнении с серийно-выпускаемым гребневым очесывающим аппаратом позволяет уменьшить процентное содержание путанины в структуре компонента льняного вороха в среднем на 56,5 %, а общий объем льновороха снизить на 28,5–56,3 %. Плотность вороха получаемого при уборке роторным бильно-вычесывающим аппаратом увеличивается на 9 % (с 140 кг/м³ до 152,8 кг/м³) [Назарова]. Отсутствие в ворохе путанины сокращает общие затраты труда, связанные с транспортировкой и обработкой льновороха.

Повреждения стеблей, влияющие на выход длинного волокна, при работе макетного образца составили 1,71 %, а потери стеблей составили 0,88 %.

Лента льна, получаемая при работе льноуборочного комбайна, также соответствовала предъявляемым требованиям (растянутость и угол отклонения стеблей в ленте составили 1,1 раза и 10,1°, соответственно).

При работе макетного образца комбайна с роторным бильно-вычесывающим аппаратом потери семян составили 2,43 % при допустимых по техническим условиям 4 %. Практически все потери происходили из-за подсаривания под машиной, в которые включены потери под лентой и под очесывающим аппаратом. Такие большие потери семян объясняются состоянием стеблестоя и недостаточной шириной камеры очеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Льноводство / [Отв. ред. А. Р. Рогаш]. – М.: Колос, 1967. – 583 с.
2. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В.А. Шаршунов, В.Е. Кругленя, А.Н. Кудрявцев, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук, М.П. Акулич. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.

3. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 137–141.

4. Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01D 45/06 (2006.01) / В.Е. Кругленя, В.И. Коцуба, П.Д. Сентюров, А.Д. Сентюров, М.В. Цайц, Г.А. Райлян, И.Л. Подшиваленко; заявитель УО «Белорус. гос. с.-х. акад.» – № а 20130044 ; заявл. 14.01.13; опубл. 25.05.17 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4(117). – С. 57.

5. Цайц М.В. Сравнительный анализ размерно-массовых характеристик вороха льна-долгунца / М.В. Цайц // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : Сборник научных трудов / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. Том Выпуск 7. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 285–289.

УДК 631.31

МАШИНА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

В.А. Бурдейко, И.М. Дыдышко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Республика Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь действует закон «О производстве и обращении органической продукции» [1]. В связи с этим, предложена экспериментальная конструкция двухрядной машины для сбора колорадских жуков с пассивными рабочими органами с целью выращивания экологически чистого картофеля, в результате чего существенно снижается металлоемкость и энергопотребление. Высокая эффективность работы достигается за счет того, что ботва ряда разделяется на две части, и рабочие органы имеют максимальное соприкосновение с обрабатываемой ботвой картофеля.

Введение. Перспективным методом сбора и уничтожения колорадского жука при выращивании экологически чистого картофеля является механический с использованием специальных машин, установок и приспособлений, комбинированный с одновременным рыхлением междурядий картофеля, механическим уничтожением сорных растений, окучиванием, распределением водных растворов для борьбы с колорадским жуком, а также внесением минеральных удобрений [2].

Основная часть. На машинах для сбора и уничтожения колорадского жука устанавливаются как основные, так и дополнительные рабочие органы различной конструкции. Основные рабочие органы предназначены для сбора и уничтожения колорадского жука, а дополнительные выполняют вспомогательные операции (подъем ботвы картофеля или удаление измельченной массы колорадского жука на поверхность междурядья и др.). Применяются активные основные рабочие органы, т. е. для работы им необходим привод от вала отбора мощности или от колес машины. При значительном расстоянии от двигателя до рабочих органов привод может осуществляться гидромотором.

Основные рабочие органы по принципу действия подразделяются на механические, пневматические и пневмомеханические. По способу снятия колорадского жука основные механические органы классифицируются на ударно-стряхивающие, счесывающе-сгребающие, стряхивающе-очесывающие, комбинированные. По конструктивной форме — зубья, пальцы, бичи, гребенки, метелки, щетки, рассекатели, стряхиватели ударного типа, эластичные битеры, качающиеся ролики, вращающиеся диски с гребенками, державки с эластичными пластинами, пластины с прорезями, эластичные стержни, активаторы вибрационные,

роторы с упруго-эластичными лопастями, гибкие лепестки в виде ромашки, эластичные копирующие щётки и комбинированные рабочие органы.

Среди комбинированных наиболее перспективными являются счёсывающе-вибрационные. В качестве счёсывателей в основном применяются зубья длиной от 200 до 750 мм, изготавливаемые из гибкого материала. Короткие зубья длиной 200...400 мм изготавливают из полимерного материала диаметром 6...10 мм. Длинные зубья изготавливают из стальной пружинной проволоки диаметром 2...4 мм, которая покрывается полимерным эластичным материалом или резиной. Пальцы длиной 50...200 мм изготавливают из полимерного материала или резины круглого сечения диаметром 2...7 мм. Иногда счёсывающие пальцы изготавливают из стальной пружинной проволоки различной длины и диаметра, однако их существенный недостаток состоит в том, что при работе происходит повышенное травмирование ботвы. Страхиватели чаще всего изготавливают из верёвки (бечёвки) круглого сечения длиной от 250 до 700 мм диаметром 8...15 мм [4].

Среди пассивных рабочих органов для сбора колорадского жука наиболее эффективными являются сложные рассекатели в виде колокола, состоящие из центрального корпуса и частей усечённых конусов с различным диаметром. Такие рассекатели претерпели изменения, имея ту же общую форму колокола. Но центральная часть конуса овальная, остальные части — усечённые конусы с различными диаметрами. Конусы выполнены полыми с вырезными окнами в верхней части.

В целом анализ известных конструкций машин для сбора колорадского жука и их рабочих органов позволяет сделать вывод, что данные машины малопроизводительны, имеют высокую металлоемкость и энергопотребление, а также низкое качество работы — 30...60 % особей колорадского жука остается на картофельном поле. Часть вредителей остается на картофельной ботве, а остальные ссыпаются на поверхность гребня вокруг стеблей картофеля. Чтобы устранить вышеуказанные недостатки, нами разработана конструкция машины для сбора колорадского жука с рабочими органами нового типа.

На наш взгляд, наиболее перспективными рабочими органами являются комбинированные счёсывающе-вибрационные или счёсывающе-ударные с применением эластичных материалов для снижения травмирования ботвы. Для повышения полноты сбора целесообразно применять щётки — горизонтальные, вертикальные и комбинированные с регулировкой углов наклона в различных направлениях в зависимости от сорта картофеля и периода его роста.

Рабочими органами в предлагаемой нами машине для сбора колорадского жука (рис. 1) служат конические щетки, гофрированные боковины и рифленые пруты-ударники.

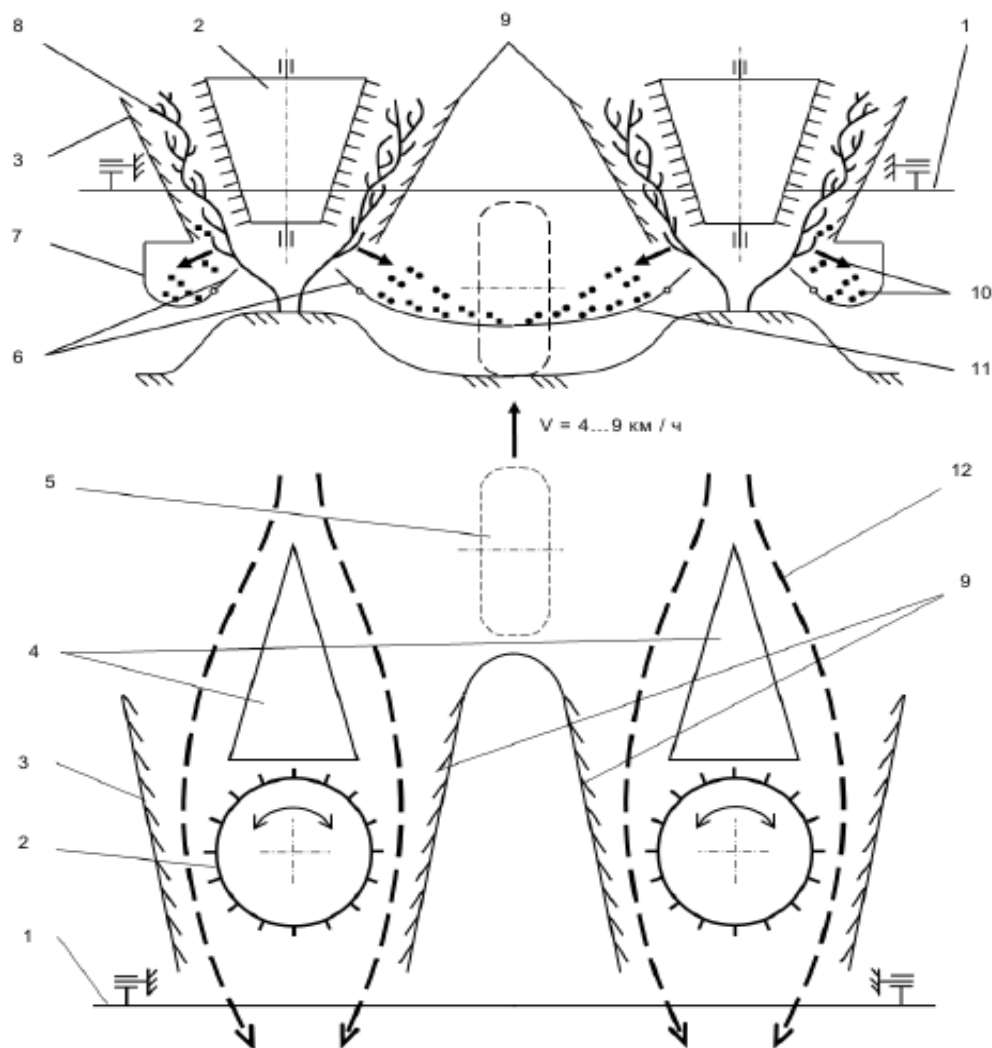


Рис. 1 — Схема предлагаемой конструкции машины для сбора колорадского жука [3]

Каждая конусообразная щетка 2 выполнена в форме перевернутого усеченного конуса и закреплена на вертикальной оси с возможностью свободного вращения. Диаметр большего основания конуса — в пределах от 350 до 600 мм, меньшего — 50...150 мм. Непосредственное воздействие на листья ботвы картофеля оказывают эластичные прутки, изготовленные из капроновой нити диаметром 1...2 мм. Материалом для изготовления боковин 3 служит гофрированный полимерный лист. Гофры-волны имеют синусоидальную в сечении форму и направлены под углом 45° к горизонтали таким образом, что в передней части машины они находятся выше, чем в задней по ходу ее движения. Более высокий результат работы гофрированных боковин следует ожидать при резонансном ударном воздействии на ботву, за счет чего в щадящем режиме с ботвы стряхивается большое количество вредителей. Как показали наблюдения, больший эффект работы достигается при высокой шероховатости поверхности боковин.

Гофрированные боковины в задней части машины соединены прут-ударником 1, который изготовлен из стального прута и имеет возможность регулировки по высоте. Прут-ударник оказывает дополнительное воздействие на ботву картофеля, стряхивая вредителей в желоба-накопители 7 и 11. К средним боковинам прикреплены продольные щетки длиной 800 мм с закрепленными на них эластичными капроновыми прутками длиной 50...80 мм и диаметром 1...2 мм. По бокам машины под боковинами продольно размещены боковые желоба-накопители 7, а в средней части машины — центральный желоб-накопитель 11 для сбора колорадского жука и личинок. К бортам желобов-накопителей шарнирно прикреплены продольные эластичные копиры-ловители 6, которые под воздействием нажимных пружин прижимаются к стеблям ботвы 8 в ее нижней части, предотвращая тем самым просыпание вредителей на почву.

На машине установлены торпедные делители ботвы 4, изготовленные из стальных прутков диаметром 5...8 мм. Для снижения потерь вредителей верхняя часть делителей прикрыта полуцилиндрическим кожухом из полимерной трубы диаметром 40...50 мм. Передняя часть машины опирается на опорно-копирующее колесо 5. Гофрированные боковины в передней части машины соединены между собой дугами из стального прута диаметром 10 мм. Достаточная жесткость несущей части машины достигается также за счет продольных и центральных желобов-накопителей. Рабочие органы (за исключением роторов) являются несущей частью машины, благодаря чему металлоемкость и энергопотребление значительно снижаются по сравнению с другими известными конструкциями.

Работает предлагаемая конструкция двухрядной машины для сбора колорадского жука (см. рис. 1) следующим образом. Машина присоединяется к мини-трактору или мотоблоку спереди. Возможно также передвижение машины за счет мускульной силы работника, для чего предусмотрена установка поручня. При движении машины со скоростью 4...9 км / ч опорно-копирующее колесо 5 перекачивается по борозде. Торпедные делители 4 разделяют ботву 8 рядка, при этом левый делитель прижимает часть ботвы к левой рифленой боковине, а правый делитель — к неподвижной щетке. В зоне задней части делителя за счет сил инерции вредители начинают ссыпаться в желоба-накопители 7 и 11. Когда картофельная ботва 12 оказывается между основными рабочими органами — коническими щетками 2 и боковинами 3, а также между коническими и неподвижными щетками 9, — происходит наиболее интенсивное отделение жуков и личинок 10, которые попадают в желоба-накопители 7 и 11. Одновременное прижатие обеих частей ботвы рядка происходит за счет схождения боковин по направлению к задней части машины. Окончательное удаление вредителей осуществляет рифленый прут-ударник 1, который воздействует на ботву в момент ее схода со щеток [3].

Небольшое количество оставшихся вредителей удаляется с ботвы одновременно во все желоба-накопители.

Основной новизной конструкции данной машины является то, что все рабочие органы — пассивного типа и не требуют привода, в результате существенно снижается металлоемкость и энергопотребление. Высокая эффективность работы достигается за счет того, что ботва ряда разделяется на две части, и рабочие органы имеют максимальное соприкосновение с обрабатываемой ботвой картофеля. Удачная компоновка рабочих органов позволяет одновременно увеличить производительность и качество работы за счет увеличенной площади рабочих органов, которая во время работы воздействует на вредителей, находящихся на картофельной ботве.

Заключение. Разработанная нами оригинальная машина для сбора колорадского жука с перспективными рабочими органами позволяет обеспечить необходимую производительность и качество сбора колорадского жука с картофельной ботвы, которая будет повреждаться в минимальной степени. Вместе с тем конструкция машины достаточно проста, имеет небольшую металлоемкость, не требует привода для рабочих органов. Простота конструкции способствует ее надежности в сравнении с другими машинами для сбора колорадского жука и личинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон «О производстве и обращении органической продукции» от 09 ноября 2018 г. №144-З [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N11800144&p1=1> — Дата доступа: 17.10.2022.

2. Бурдейко В.А. Перспективные методы и средства для сбора и уничтожения колорадского жука / В. А. Бурдейко, Ю. И. Шадид // Технологии, экономика и право: актуальные проблемы и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20 нояб. 2014 г., Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: А. В. Никишова (гл. ред.), А. К. Гавриленя (отв. ред.) [и др.]. — Барановичи : РИО БарГУ, 2014. — С. 139—142.

3. Бурдейко В. А. Машина и рабочие органы для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. В. Дубень // Вестник БарГУ. Серии «Технические науки». — Вып. № 6 — Барановичи : РИО БарГУ, 2018. — С. 87—95.

4. Бурдейко В. А. Перспективные рабочие органы машин для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко // Техника и технологии. Инновации и качество : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 18 дек. 2015 г. Барановичи, Респ. Беларусь / редкол. А. В. Никишова (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.) (и др.). — Барановичи : РИО БарГУ, 2015. — С. 7—8.

УДК 62-83-52

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО НАГРУЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

М.Н. Погуляев

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

Электрооборудование современных мобильных энергетических средств включает большое количество различных элементов. Это – источники бортового питания, контрольно-измерительные приборы, освещение, бортовой компьютер, кондиционер и др. Одним из главных элементов электрооборудования является электрогенератор, обеспечивающий одновременно питание всех потребителей и подзарядку аккумуляторной батареи. От бесперебойности его работы зависит надежность работы машины в целом. По этой причине необходимо тщательно контролировать работу и состояние генератора. Диагностику состояния генератора обычно производят на специальных контрольно-испытательных стендах, позволяющих производить проверку агрегата на холостом ходу и под нагрузкой. Основным недостатком существующих испытательных стендов – низкая энергоэффективность. Электрическая энергия, вырабатываемая в процессе испытаний, выделяется и рассеивается на нагрузочном резисторе. Учитывая, что мощность современных генераторов достигает нескольких киловатт, а токи сотен ампер, то потери электрической энергии будут существенными. Для повышения экономичности стендов целесообразно получаемую электрическую энергию рекуперировать в сеть [1, 2].

С этой целью было разработано энергосберегающее устройство нагружения (УН), позволяющее производить испытания бортовых электрогенераторов мобильных энергетических средств. Функциональная схема устройства представлена на рис. 1. Устройство содержит следующие основные блоки: Г – испытуемый генератор; И – инвертор; L – сглаживающий реактор; Т – согласующий трансформатор; СУиРЗ – система управления, регулирования и защиты. Инвертор преобразует постоянное напряжение генератора в переменное с частотой равной частоте сети, а с помощью трансформатора производится согласование уровней выходного напряжения инвертора и напряжения сети. Величина тока нагрузки регулируется путем изменения угла опережения тиристоров инвертора.

Оснащение устройства современной микропроцессорной системой управления позволяет вести испытания в автоматическом режиме, отображать в режиме реального времени различные параметры, отключать стенд при возникновении аварийных ситуаций.

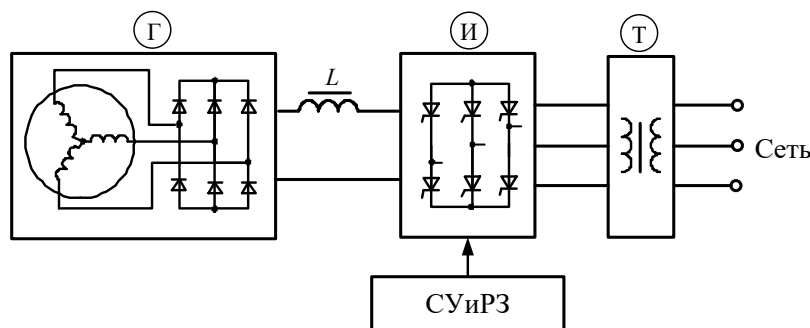


Рис.1. Функциональная схема устройства нагружения

Для верификации предложенной схемной реализации УН было использовано имитационное моделирование в программной среде Matlab с использованием пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink. В разработанной модели можно задавать различные режимы работы устройства и алгоритмы управления, анализировать данные численных расчетов и производить визуализацию результатов. Численное моделирование работы производилось с генератором AZ-13 SPL Power $S_{ном} = 4,5$ кВт, $U_{ном} = 14$ В и током отдачи до 320 А. Полученные результаты показали работоспособность устройства нагружения и его способность:

- создавать нагрузку, соответствующую реальной как в статических, так и динамических режимах;
- обеспечивать стабильный уровень нагрузки или изменять его по заданной программе;
- рекуперировать в сеть, за вычетом обязательных потерь, энергию, затраченную в процессе испытаний. Коэффициент полезного действия при этом может достигать 85 %.

Практически без изменений в конструкции данное устройство может использоваться для испытания аккумуляторных батарей, например, для снятия и построения разрядных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погуляев М.Н. Энергоэффективные испытательные стенды / М.Н. Погуляев, И.В. Дорощенко, [и др.] // Энергоэффективность. - 2018. – №9. - С. 26-30.
2. Погуляев М.Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов / М.Н. Погуляев, А.А. Смахтин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы МНТК. – Могилев: Белорус. – Рос. ун-т, 2017. – С. 399 – 401

УДК 621.8-1/-9

К ВОПРОСУ ОТКАЗА ТРАНСМИССИИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПО ПРИЧИНЕ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

И.Ф. Цыглер¹, И.Н. Степанкин², Е.П. Поздняков³

¹Эксперт автотехнической экспертизы транспортных средств,
г. Гомель, Республика Беларусь;

²Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
РУП «ПО «Белоруснефть», г. Гомель, Республика Беларусь;

³Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Непроизводственные причины отказа ответственных деталей машин, выявляемые на этапе экспертизы, являются труднопредсказуемыми с технической точки зрения явлениями. Их влияние на эксплуатационные характеристики во многом носит социально имиджевый характер и не способствует повышению рейтинга производителя среди потребителей высокотехнологической продукции машиностроения. Как правило, такие случаи являются следствием нарушения культуры производства, что, в свою очередь, несовместимо с современными требованиями системы менеджмента качества. Поэтому детальный анализ каждого случая отказа можно рассматривать как внеплановый аудит системы контроля за производственным процессом. Полученная информация, не зависимо от субъективного восприятия её значимости для выявления степени ответственности в паре изготовитель – потребитель, имеет важное практическое значение для совершенствования производственного процесса и повышения конкурентоспособности конечной продукции.

Объект исследования. Объектом исследования являлась ось сателлитов дифференциала, разрушение которой привело к отказу коробки передач легкового автомобиля.

Результаты исследования и их обсуждение. Визуальный анализ поверхности оси сателлитов показал, что разрушенный фрагмент оси имеет два вида повреждений – деформация поверхностного слоя в виде наволакивания с очагами схватывания и усталостное разрушение (рис. 1).

При формулировании рабочей гипотезы причин отказа учтена последовательность событий, приведших к аварии. Она сопровождалась частичным разрушением корпуса узла из-за динамического воздействия фрагментов трансмиссии, потерей герметичности рабочего пространства и нарушением относительного расположения отдельных деталей. В связи с этим первоочередное внимание было уделено изучению морфологии излома оси.



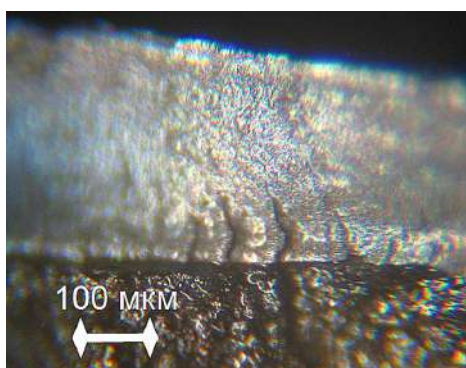
а)



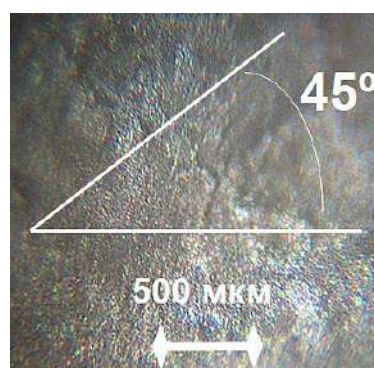
б)

Рис. 1 – Выявленные повреждения оси сателлитов: а – деформационные изменения поверхности трения; б – усталостный излом

На поверхности излома (рис. 1б) выявлены признаки усталостного разрушения в виде линий скольжения в зоне роста трещины и характерно обособленной области долома. Признаки циклического продвижения трещины – характерные ступеньки, располагаются в окрестности конструктивного концентратора напряжений – канавки для подачи масла. Микроанализ поверхности разрушения в окрестности канавки выявил множественные начальный трещины в области дна конструктивного элемента (рис. 2а). Их наличие обнаружено как в окрестности излома, так и на еще не разрушенных магистральной трещиной донных участках канавки (рис. 2б).



а)



б)

Рис. 2 – Микротрещины в области концентратора напряжений: а – область разрушения детали магистральной трещиной; б – дно канавки в области не подвергнутой разрушению магистральной трещиной

Расположение начальной трещины под углом близким к 45 градусам к продольной оси детали и перпендикулярно продольной оси канавки является благоприятным условием для протекания микропластических деформаций при наличии даже незначительных концентраторов напряжений [1]. В рассматриваемом случае наличие канавки для подачи масла повышает вероятность усталостного разрушения. Для уточнения причин зарождения трещин была тщательно изучена вся поверхность дна канавки, не подвергнутой разрушению. В результате были выявлены очаги коррозионного разрушения (рис. 3).

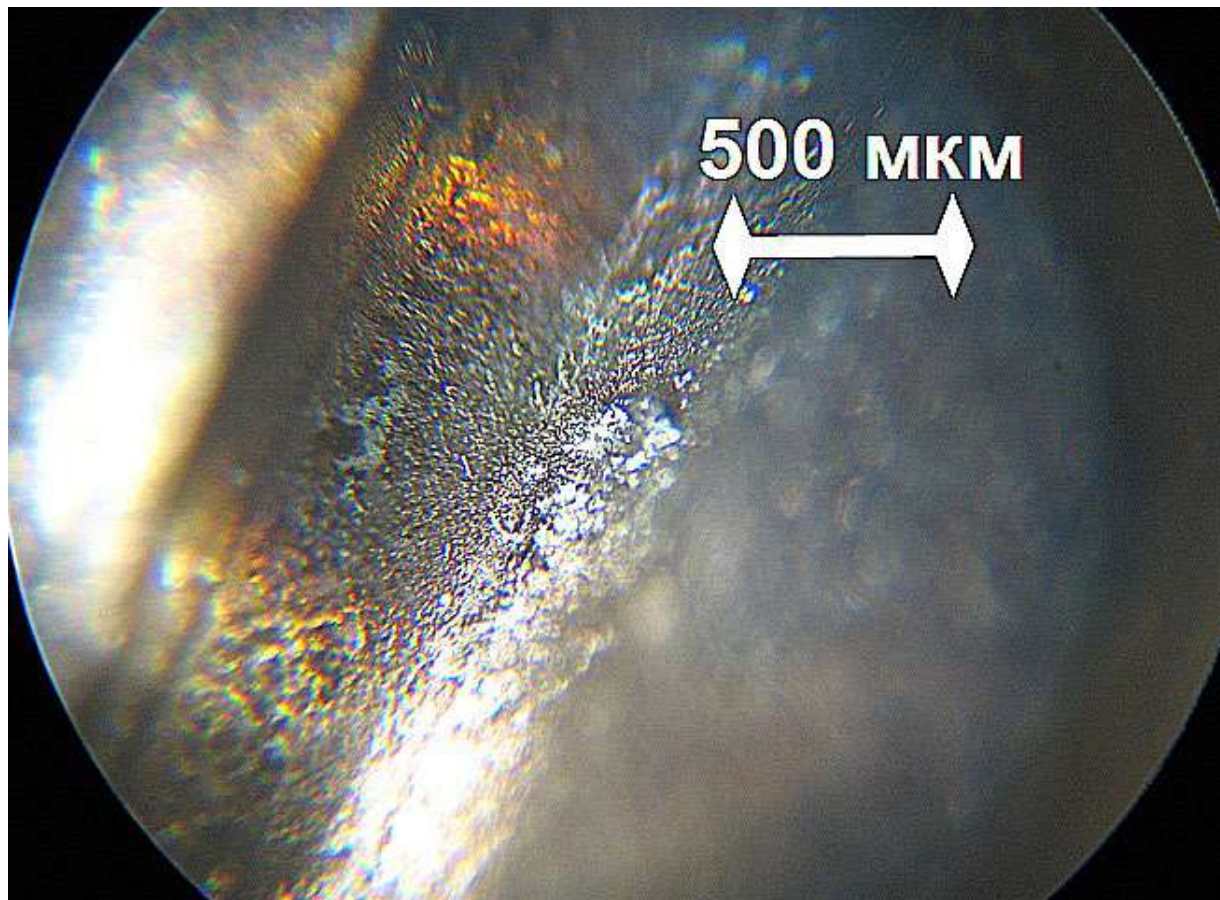


Рис. 3 – Признаки поверхностного проявления коррозии в области дна концентратора напряжений – канавки для подачи масла

Для уточнения природы коррозии проведен стандартный анализ микроструктуры в области выявленных дефектов. Он подтвердил наличие коррозионного процесса. Его распространение от поверхности к центру детали достигает глубины более 0,5 мм (рис. 4). В области острия трещины заметно характерное ветвление дефекта, отражающего морфологию межзеренных границ. Дополнительное исследование подтвердило, что природа начального разрушения металла – межзеренная коррозия (рис. 5). Данный вид повреждений является наиболее опасным, поскольку протекает без видимых признаков, а предаварийное состояние детали

возникает в результате формирования предельно острой трещины, размеры которой близки к критическим по критерию Гриффитса – Орована [2]. В такой ситуации разрушение протекает по механизму малоцикловой усталости, без длительного периода роста трещины и сопровождается наиболее непредсказуемыми последствиями.

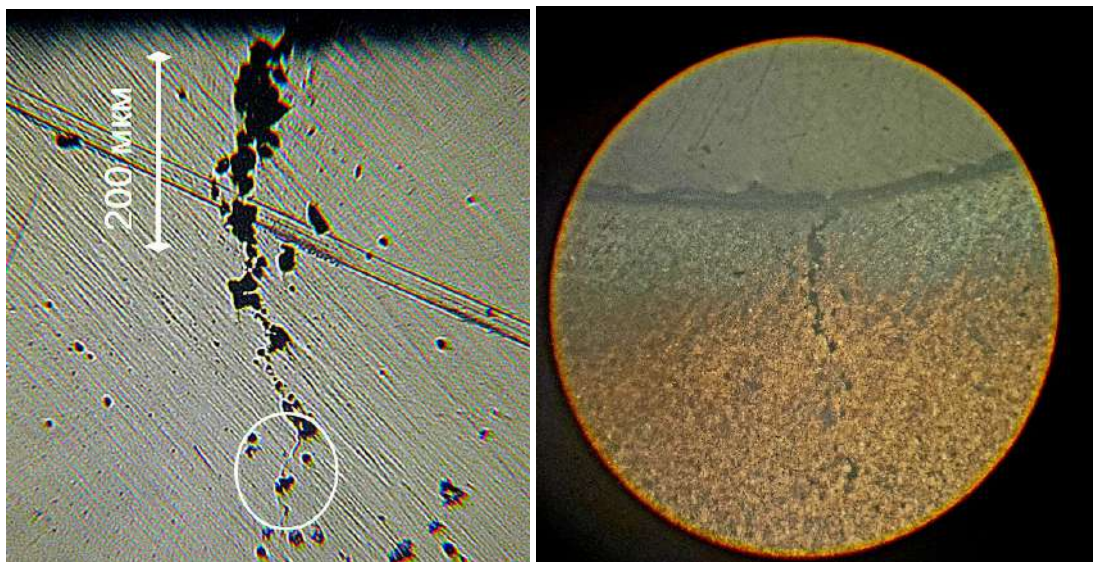


Рисунок 4 – Характер коррозионного повреждения глубинных слоев металла оси сателлита

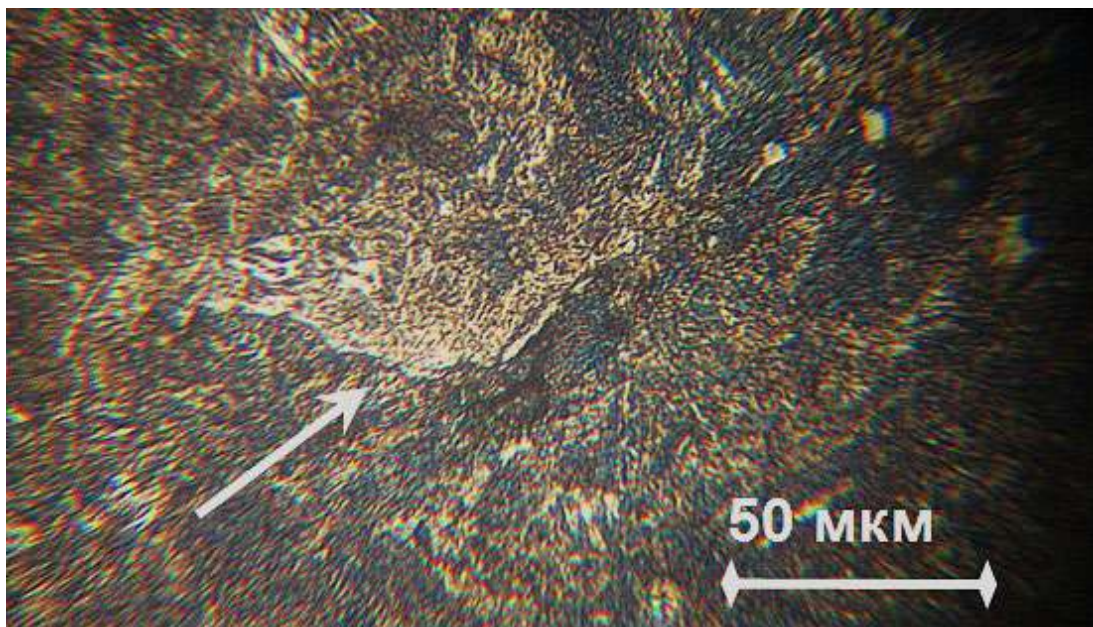


Рис. 5 – Внешний вид острия трещины после электрохимического травления

В рассматриваемом случае неоднозначную роль сыграло покрытие детали, которое отличалось повышенной твердостью. При этом анализ распределения микротвердости по сечению металла в окрестности канавки

для подачи масла показал, что изготовление канавки осуществлялось после упрочняющей обработки. В такой ситуации возникший дисбаланс остаточных напряжений между покрытием и основой, в совокупности с расположением канавки и наличием признаков межкристаллитной коррозии, привели к возникшему отказу.

Из трех обозначенных аспектов наиболее опасным является именно межкристаллитная коррозия. Её воздействие в результате формирования предельно острых микротрещины критической длины, приводит к разрушению металла по механизму хрупкого продвижения трещины. Её старт не требует длительной дислокационной активности у острия, поскольку работа роста трещины до критической длины уже совершена в результате межкристаллитной коррозии.

В такой ситуации наиболее вероятной причиной возникновения коррозионного разрушения является некачественное межоперационное хранение готовых деталей, в частности, осей сателлитов, перед подачей на сборку. В пользу данного предположения свидетельствует низкая вероятность формирования выявленных начальных дефектов при штатной эксплуатации рассматриваемой детали в зоне принудительного смазывания. Отмеченная гипотеза является признаком нарушения культуры производства. Устранение подобных недостатков возможно за счет тщательной регламентации всех производственных действий за счет выполнения требований системы менеджмента качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность: Руководство и справочное пособие / Под ред. С.В.Серенсена.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1975.— 488 с.
2. Иванова В.С. Количественная фрактография : усталостное разрушение / В.С. Иванова, А.А. Шанявский. — Челябинск : Металлургия, Челябинское отд-ние, 1988. — 400 с.

УДК 631.356.26

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ И ОБЩЕЙ КОМПОНОВКИ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А.А. Калина, Н.А. Поздняков, Г.А. Таяновский
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Обширная библиография научных работ последних лет на тему альтернативных двигательных установок, электропривода и средств автоматизации вождения на самоходных с.-х. машинных технологических агрегатах (МТА) отражает научно-практический интерес к рассмотрению вопросов, связанных с изменениями, которые такие технические средства приносят в структурное построение, компоновочные решения, дизайнерский облик МТА, и того, как влияют варианты двигательной установки на свойства будущих с.-х. агрегатов. Такая информация необходима еще на стадии принятия технического задания на проектирование машин нового поколения. Содержание статьи посвящено рассмотрению отдельных аспектов этой научно-технической задачи.

Анализ публикационной активности авторов в области прогнозов перспектив развития, расчетно-теоретических обоснований, динамики патентования и осуществленных инновационных технических решений сельскохозяйственных тягово-энергетических транспортно-технологических наземных мобильных машин (мобильных энергетических средств, универсальных энергетических средств, шасси комбайнов, тракторов под различные технологии и т.п.) за последний 15-летний ретроспективный период позволяет отметить ряд особенностей. Среди них:

- повышенное общее внимание к вопросам разработки альтернативных двигательных установок для мобильных машин, как следствие: глобальных проблем с экологией, выбросом парниковых газов; близкого по времени (по разным оценкам – 30..50 лет) истощения ископаемых природных жидких углеводородов (при изменении потребления в них по прогрессивной кривой); низкого, не более 0, 42..0,48, общего КПД; высоких удельных затрат топлива на единицу полезной мощности ДВС и практически почти достигнутого предела их совершенствования, несмотря на существенное развитие мехатронных автоматических систем управления процессом двигателя и других достижений в их системах топливоподачи, впуска, выпуска, охлаждения и т.п.;

- интенсивное развитие: автоматизированных и автоматических адаптивных трансмиссий, позволяющих обеспечить переключение передач

без разрыва потока мощности, на основе планетарно-вальных передач с фрикционными муфтами, в основном «мокрыми» гидропожимными бустерного типа; многопоточных гидродинамических передач, либо на основе бесступенчатых во всем скоростном диапазоне гидростатических полнопоточных объемных гидропередач (ОГП); двух- и многопоточных объемных гидромеханических передач (ОГМП) с дифференциальными механическими звеньями; передач на основе электромеханических передач, состоящих из модуля: мотор-генератор плюс тяговый асинхронный электродвигатель со скалярным или векторным управлением в составе гибридной двигательной установки с ДВС, либо на основе чисто электрических передач с асинхронными электромашинами с питанием от электронакопителей аккумуляторного, конденсаторного типа; передач на основе так называемых электрических топливных водородных элементов;

- недостаточное количество комплексных расчетно-теоретических и опытно-экспериментальных обоснований технико-экономической и социально-экономической эффективности перечисленных до этого инновационных предложений в комплексе и системе с вероятным взаимообусловленным изменением с.-х. технологий, с учетом специфики жизненных циклов новых машин, проблем развития инфраструктуры эксплуатации, ремонта, технологического обеспечения, обучения персонала и, что чрезвычайно важно, безопасности и совокупных затрат созданных человеком финансовых, энергетических, материальных и созданных природой мировых ресурсов, а также экологических потерь в «глобальном переходе развития» от материализации того, что по отдельности представляется выгодным и перспективным;

- формулирование высказываний о необходимости развития общей теории сельскохозяйственного машинного транспортно-технологического мобильного электроприводного агрегата с управлением на основе мехатроники, в том числе роботизированного, и с производством электропитания исключительно от экологически чистых возобновляемых природных источников.

В своем исследовании авторы рассматривают вероятное изменение концепции, развитие типологии и системных структурных особенностей общих компоновок перспективных сельскохозяйственных свеклоуборочных комбайнов с альтернативными двигательными установками.

Конструктивное исполнение двигательных установок наземных тяговых машин достаточно разнообразное [1]. В таблице 1 приведен вариант классификации двигательных установок (ДУ), необходимый в контексте рассматриваемых в работе вопросов.

Представленная выборочная таблица сформирована с учетом потенциальных достоинств и преимуществ включенных в таблицу ДУ, приспособленности к созданию на их основе квази- и полностью

бесступенчатых моторно-трансмиссионно-двигательных установок (МТДУ), обеспечивающих максимально возможные общие КПД во всем скоростном диапазоне с благоприятными тягово-динамическими характеристиками, в том числе на переходных режимах, а также защиту элементов МТДУ от пиковых динамических нагрузок в практически опасных, с точки зрения надежности, участках частотного спектра нагружения. Появление в народном хозяйстве, перечисленных в таблице 1, практичных в эксплуатации и доведенных до нужных эксплуатационных показателей промышленных образцов ранее не распространенных перспективных ДУ, зависят от многих факторов, но интенсивность работ по их выпуску и число вовлеченных производителей ДУ существенно возросла.

Таблица 1 – Выборка из классификации перспективных двигательных установок для применения на современных свеклоуборочных комбайнах

А - признак	Б - признак	В - признак
Тепловые ДУ	Дизельные ДВС	На синтетическом топливе растительного происхождения
	Газовые двигатели внутреннего сгорания	На баллонном природном газе или сжатом биогазе
		На водороде высокого давления
	Внешнего сгорания	Двигатель Стирлинга альфа-типа
		Двигатель Стирлинга бета-типа
	Комбинированные	Газодизельный цикл с циклом Стирлинга для отработавших газов в 6-ти тактном двигателе
Гибридные ДУ	Дизель-генераторные с асинхронными электромашинами	Последовательной схемы
		Параллельно-последовательной схемы
		Многопоточные с электромотор-колесами
	Дизель-	С независимым

	генераторные с вентильным индукторным тяговым электродвигателем	возбуждением
СПДГ - свободнопоршневой линейный двигатель внутреннего сгорания с линейным электрическим генератором переменного тока	Двухцилиндровые динамически уравновешенные	С отбойниками
Электронакопитель + тяговый асинхронный электродвигатель	Электрохимический накопитель	Литий-ионные аккумуляторные батареи
		Литий-железо- фосфатные батареи
	Емкостной накопитель энергии	Суперконденсаторы на графеновой основе
Емкость водорода + Водородные топливные элементы +тяговый электродвигатель	Тип: AFC (либо: PEMFC, PAFC, MCFC, SOFC)	Ионисторы
		С заправочными модулями «твердого» водорода

Появление перспективных свеклоуборочных МТА связано с изменением типа двигательной установки, что неизбежно приводит к структурным изменениям компонентного элементного состава, несущих систем, общих компоновочных схем, дизайнерских решений экстерьера МТА и, как следствие, набора и показателей их функциональных свойств, что в определенные моменты переходит в новое качество – изменение концепции МТА. Так произошло с изменением тяговой концепции трактора на тягово-энергетическую и, вероятно далее, на условно называемую в данной статье - мобильно-энергетическую. В работах проф. Ксеновича И.П. еще в 80-х годах прошлого столетия сформулированы выводы о вероятных направлениях развития МТА [1-4]. Теперь как раз пришло время осуществления в основных чертах тех прогнозов и их корректировки с учетом реализованных на практике разработок новых технических решений ДУ, трансмиссий, колесных, кассионидных и резино-тросовых гусеничных движителей с низким давлением на грунт, систем агрегатирования и отбора мощности машинных шасси, развития с.-х. технологий и наборов сельхозмашин для их осуществления. Появление

разработок перечисленных компонент свеклоуборочных комбайнов стало возможным, в том числе, и на основе выполненных в те годы в тесном сотрудничестве с заводами с.-х. машиностроения разработок научных школ отечественных ученых: д.т.н., профессоров Кацыгина В.В., Цитовича И.С., Скотникова В.А., Тарасика В.П., Гуськова В.В., Шалягина В.Н., Шуринова В.А. и др. [2-4].

С интенсивным развитием принципов блочно-модульного построения и многооперационности МТА, комплекса средств агрегатирования и многочисленных систем отбора мощности к развитому набору активных рабочих органов (АРО) и разветвленному приводу колес на агрегатируемых с центральным энергомодулем, разнообразных по назначению модулей-звеньев, теория свеклоуборочного комбайна, с учетом всего отмеченного, становится элементом более общей теории МТА, принципов объединения модулей в систему МТА [6,7].

Сравнение конкурентных преимуществ рассматриваемых вариантов объекта разработки, по сравнению с существующими машинами, наглядно и аргументированно представляется в виде радара конкурентоспособности.

Таким образом, в данной статье охарактеризовано состояние разработок в с.-х. комбайностроении, рассмотрены аспекты прогнозного представления о трансформации концепции, общих компоновочных решений и теории перспективных машинных с.-х. агрегатов с новыми двигательными установками, что позволяет конкретизировать общий подход к предпроектному обоснованию свеклоуборочных комбайнов новой генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия. В 3 томах. / Ксенович И.П., Гоберман В.А., Гоберман Л.А. – М.: Машиностроение, 2003. – 2408 с.
2. Ксенович И.П. Ходовая система - почва – урожай / И.П. Ксенович, В.А. Скотников, М.И. Ляско - М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
3. Кацыгин В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных с.-х. машин и орудий / В.В. Кацыгин// Вопросы с.-х. механики. – Минск, 1964. – Т.13. – С. 5-147.
4. Шалягин В.Н. Транспортные и транспортно-технологические средства повышенной проходимости. – М.: Агропромиздат, 1986. – 254 с.
5. ТР ТС 018/2011 - Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».

6. ТОП-5 самоходных свеклоуборочных комбайнов на российских полях /Интернет-ресурс. Режим доступа: <https://glavpahar.ru/articles/top-5-samohodnyh-sveklouborochnyh-kombaynov-na-rossiyskih-polyah>

7. Технику CLAAS наградили за успешное сочетание хай-тек & дизайн. /Интернет-ресурс. Режим доступа: <https://agroportal.ua/ru/tags/claas?page=2>

УДК 621.762

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СЕТЧАТЫХ ФИЛЬТРАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСПЛАВОВ

Л.П. Долгий, А.М. Михальцов, И.В. Рафальский, И.Г. Раков
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Для очистки от неметаллических включений расплавов металлов при заливке их в полость литейной формы используют фильтры из керамики или сетчатые. При этом для металлов с температурой плавления до 800 °С чаще используют более дешевые сетчатые фильтры на основе алюмоборсиликатов, типа ССФ. Для сплавов с более высокой температурой плавления преимущественно используют более дорогие фильтрующие сетки на основе кремнезема, типа КС, либо керамические фильтры. В исходном состоянии сетки обоих типов (ССФ и КС) представляют собой мягкие ткани, что вызывает определенные затруднения при установке их в литейную форму. Для придания сеткам необходимой технологической прочности и жесткости используются специальные пропитки (лигносульфонат, резольные смолы и другие органические связующие). При контакте с жидким металлом связующие разрушаются и сетки утрачивают жесткость, что отрицательно сказывается на процессе фильтрации.

Для сохранения исходной жесткости и прочности подготовленных фильтров, а также для расширения возможностей указанного способа фильтрации жидких расплавов необходим поиск более термостойких связующих. Попытка использовать для этой цели металлофосфатные связующие не привела к желаемому результату из-за низкой устойчивости сеток(волокон) в условиях воздействия кислой среды [1].

Определенный интерес представляет также этилсиликатные связующие используемые при изготовлении форм для литья по выплавляемым моделям. Отрицательным моментом является низкая технологичность: многооперационность процесса и большое количество используемых материалов. В последнее время появилось достаточно большое количество предложений по замене указанного дорогостоящего и не технологичного связующего для данного процесса. Речь идет о так называемых кремнезолях. При их использовании процесс существенно упрощается за счет исключения предварительной стадии – гидролиза связующего, в результате которого выделяются нано размерные частицы диоксида кремния связующие зерна огнеупорного наполнителя в прочный конгломерат.

Представителем этой группы связующих является сиалит-20, выпускаемый по ТУ2145-003-43811938-2010.

В рекомендациях по применению сиалит-20 указывается на необходимость дополнительного использования этилсиликата ЭТС-40 при подготовке суспензии, обеспечивающей получение максимальной прочности литейных керамических форм. Это связано с гидролизом этилсиликата в щелочной среде, создаваемой сиалитом.

При различных способах получения кремнезоль образуется аморфный диоксид кремния. На стадии конденсации и гелеобразования аморфные частицы диоксида кремния соединяются с наполнителем (кварцевым песком) образуя пленку. Так как сетчатые материалы состоят из нитей на основе диоксида кремния, это благоприятно сказывается на адгезионном взаимодействии. Отверждение кремнезоль происходит за счет испарения воды и коагуляции частиц диоксида кремния.

Как отмечалось выше, сетки на основе алюмоборсиликатов обладают более низкой термической устойчивостью по сравнению с сетками на основе диоксида кремния. Предполагалось, что при наличии пленки диоксида кремния на поверхности сеток из алюмоборсиликатов термостойкость их возрастет. С этой целью была выполнена серия экспериментов по следующей методике. Готовилась смесь сиалита и этилсиликата. Ее приготовление производилось на смесителе с числом оборотов 1000 мин^{-1} . При перемешивании указанных компонентов образуется эмульсия белого цвета. Оптимальное время перемешивания составляет 10 мин. Вязкость полученной эмульсии возрастает с увеличением содержания этилсиликата (рис. 1). Очевидно, это обусловлено образованием кремнезоля из этилсиликата.

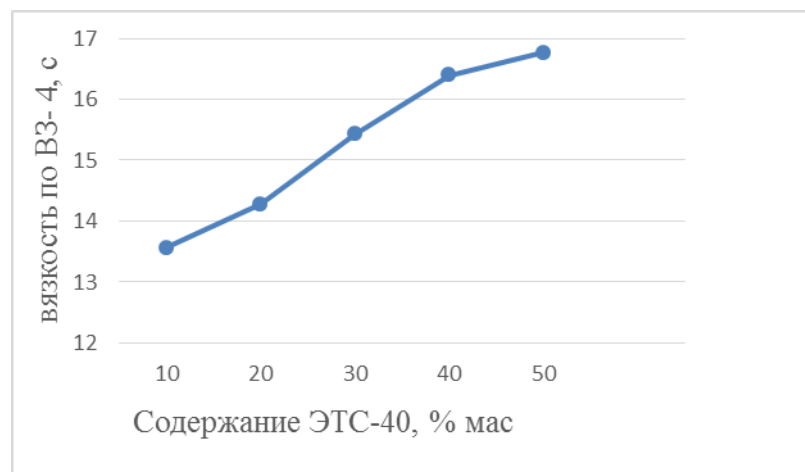


Рис. 1 - Влияние этилсиликата ЭТС-40 на вязкость эмульсии на основе сиалит-20

Фильтрующие элементы с размерами 10x10 см пропитывались в приготовленной эмульсии и помещались на металлическую решетку для провяливания при температурах, не превышающих 35 °С. Это предотвращает растрескивание образующихся пленок на волокнах при интенсивном удалении влаги. То есть, в это время собственно и происходит переход золь-гель с образованием пленки диоксида кремния на поверхности сетки. Длительность этого процесса 1,5-2 часа, после чего сетка приобретает небольшую жесткость.

После предварительной сушки фильтры просушивались в сушиле при температуре 100-120 °С. При этом фильтры приобретали жесткость, достаточную для свободной манипуляции с ними при установке в полость литейной формы. Досушивание при температуре 200 °С не приводит к существенному увеличению жесткости, но целесообразно для более полного удаления остаточной влаги из сформировавшейся пленки покрытия.

Увеличение температуры досушивания до 350-400 °С приводит к охрупчиванию в большей степени сеток на основе алюмоборсилката и меньшей степени сеток на основе кремнезема.

Для проведения испытания на термическую устойчивость сетки обоих типов ССФ и КС, обработанные по указанным выше режимам, помещались между двумя специально подготовленными стержнями с конусными полостями для создания большей площади фильтрации (рис. 2). Подготовленная фильтрующая экспериментальная камера устанавливалась над изложницей.

В качестве сплава для испытаний был принят серый чугун. Плавка чугуна производилась в индукционной печи с использованием графито-шамотного тигля емкостью 5 кг.

Через каждую подготовленную камеру с фильтрующей сеткой проливалась определенная доза жидкого чугуна.

Сетки на основе алюмоборсилкатного волокна, обработанные эмульсией этилсилката ЭТС-40 в сиаците и подготовленные по различным режимам сушки прогорели на 2-3-ей секунде заливки (рис. 3).

Сетки типа КС, подготовленные по таким же режимам испытание прошли успешно (рис. 4).



Рис. 2 - Фрагмент камеры для фильтрации



Рис. 3 - Камера фильтрации с прогоревшей сеткой типа ССФ

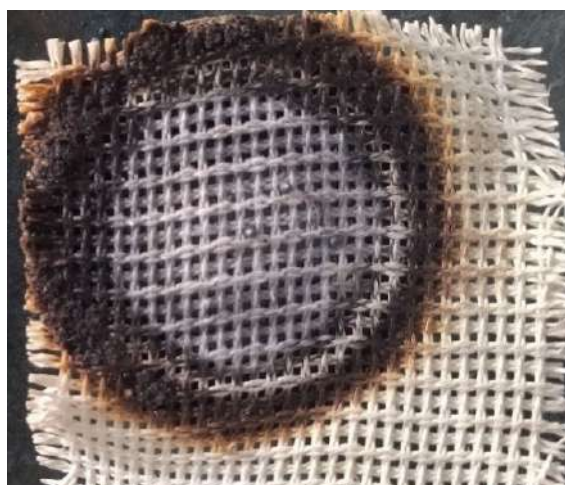


Рис. 4 - Камера фильтрации с сеткой КС

Добиться существенного повышения термостойкости (свыше 700 °С) сеток типа ССФ при нанесении на их поверхность защитного покрытия на основе силита не удалось очевидно из-за относительно небольшого его слоя. Увеличение объема материала покрытия в объеме сетки, возможно даст больший эффект. Об этом свидетельствует не мгновенного разрушение сетки, а с задержкой на 3-4 сек.

Более обнадеживающий результат получен при использовании сетки типа КС. Можно видеть (рис. 4), что покрытие сохраняется на поверхности сетки после проливки через нее дозы жидкого чугуна, что свидетельствует о достаточно высокой термостойкости покрытий на основе композиции силита и этилсиликата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгий Л.П., Михальцов А.М., Рафальский И.В., Калинин М.Л., Раков И.Г. Разработка технологических процессов нанесения защитных покрытий на фильтрующие элементы из термостойких сетчатых материалов. Материалы IX МНПК «Инновации в природо-обустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях». ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Саратов, 27-28 апреля, 2022. С.45-48.

УДК 539.4: 621.833:678.073

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ МЕХАНИКИ ТРАНСМИССИЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В.Б. Альгин¹, С.Н. Поддубко¹, Н.Н. Ишин¹, С.В. Шилько²,
В.Е. Старжинский²

¹ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь;

²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого
НАН Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

Как известно, эффективность с/х техники во многом определяется ее техническим состоянием, которое характеризуется ресурсом. Ресурсная механика машин / Lifetime Mechanics of Machine (РММ) представляет собой научную основу для интегрирования «динамического» и «прочностного» направлений механики, устраняя определенный методический разрыв между ними [1]. Ключевым понятием РММ является «расход ресурса», весьма полно характеризующий индивидуальное состояние многокомпонентного технически сложного изделия (ТСИ). Этот термин имеет ясный физический смысл – степень повреждения компонентов машины – и позволяет оценивать вклад деградации основных компонентов в расход ресурса рассматриваемого изделия в целом. Применительно к мобильным машинам, расход ресурса определяется по средневзвешенной величине расхода ресурса узлов (трансмиссий, передач и т.п.) и деталей.

Современное состояние РМ в части понятия расхода ресурса отражено в недавно введенном стандарте [2], который дает определение терминов «остаточный ресурс» (снижение ресурсного потенциала ТСИ, выражаемое в процентах или относительных единицах, с учетом расхода ресурса его частей), основная часть ТСИ (составная часть ТСИ, учитываемая при оценке расхода ресурса) и расход ресурса основной части ТСИ (снижение ресурсного потенциала основной части, выраженное в процентах или относительных единицах, обусловленное наработкой и временем эксплуатации). Рассматриваемая тематика в части проектирования зубчатых передач и трансмиссий, являющихся важнейшими узлами мобильной техники, отражена в коллективной монографии белорусских исследователей [3].

Как показано в [4], перспективы развития ресурсной механики машин состоят в учете взаимосвязи моделей из различных дисциплин и методологий, а также создании информационных моделей как интегратора цифрового двойника и цифрового потока. Авторы в качестве примера

рассматривают определение расхода ресурса автомобиля и другой мобильной техники с учетом пробега и времени простоя, что позволяет не только реально оценивать состояние объекта в процессе жизненного цикла, но и управлять последним, используя соответствующие программные средства проектирования, например, импортонезависимый PLM-комплекс АСКОН 22.

В работах [5,6] описана мультидисциплинарная методология создания информационных моделей – цифровых двойников механических, гидро- и электромеханических приводов, как иерархических систем «материал – деталь – изделие», и основанный на ней комплекс методов моделирования и оценки базовых свойств технически сложных изделий. Она основана на новых принципах построения моделей и методов моделирования приводов для применения на стадиях проектирования, инжиниринга, мониторинга и прогнозирования функциональных и ресурсных свойств. Данная концепция получила высокую оценку в связи с важностью разработки надежных транспортных машин нового поколения.

Схема на рис. 1 иллюстрирует взаимосвязи в ТСИ на различных структурных уровнях, включая компоненты неоднородного материала (микроуровень) и систему «оператор – машина – окружающая среда».



Рис. 1 – Уровни и взаимосвязи, характеризующие функционирование ТСИ.

Трансмиссия мобильной машины рассмотрена как объект, в котором проявляются особенности современных ТСИ: разнообразие конструктивных решений, вариативность условий эксплуатации и действий оператора, вероятностный характер процессов нагружения, зависимое поведение компонентов под действием общих факторов. Разработанная методология и теория вибрационно-импульсного диагностирования и вибромониторинга трансмиссионных узлов мобильной техники позволяет прогнозировать их остаточный ресурс в процессе эксплуатации.

Представления ресурсной механики необходимы для сквозной оптимизации ТСИ с учетом всех уровней и взаимосвязей, указанных на рисунке 1. В этом случае ранее предложенный метод прочностного и триботехнического расчета деталей из композиционных материалов

(КМ) [7] естественным образом встраивается в общую иерархическую процедуру расчета ресурса ТСИ следующим образом:

1) С использованием микромеханических моделей и экспериментальных данных о структуре и механических свойствах матричного материала и армирующего наполнителя прогнозируются деформационно-прочностные, термомеханические и триботехнические характеристики композита. Этот этап включает подэтапы:

- схематизацию структуры минимального представительного объема композиционного материала;
- построение микромеханической (например, трехфазной) модели «наполнитель–межфазный слой–матрица» элементарного структурного элемента КМ;
- вывод определяющих соотношений для структурного элемента и представительного объема КМ;
- анализ зависимости физико-механических характеристик КМ от структурных параметров (содержания наполнителя, формы и ориентации армирующих частиц и т.д.);
- верификацию микромеханической модели КМ по экспериментальным данным и, при необходимости, ее корректировку.

2) Макромеханический прочностной и триботехнический анализ на уровне детали или сопряжения деталей (например, подшипника) включает:

- построение трехмерной дискретной (например, конечноэлементной) модели детали и/или сопряжения с учетом их реальной геометрии;
- численный анализ напряженно-деформированного состояния детали и/или сопряжения;
- верификацию расчетной модели по экспериментальным данным и, при необходимости, ее корректировку;
- прогнозирование ресурса детали/сопряжения.

Как ступени иерархической процедуры расчета технически сложного изделия, уровни и взаимосвязи которого показаны на рис. 1, перечисленные этапы повторяются для одновременного достижения оптимального состава композита (материаловедческое решение) и конструкции изделия (инженерное решение) по заданным критериям качества (например, долговечности, скорости расхода ресурса и т.д.).

После завершения процедуры полученная CAD модель может быть непосредственно использована для 3D печати деталей и их сопряжений из КМ оптимизированного состава.

Определенное развитие ресурсной механики также связано с «проектированием» жизненного цикла технически сложных изделий. В этой связи авторами рассматривается возможность управления ресурсом,

когда разработчик оптимальным образом согласует параметры материала и конструкции ТСИ с технологией изготовления, режимами эксплуатации и последующей утилизации.

Представляет также интерес фактор спонтанного или управляемого залечивания микроструктурных повреждений (трещин) материалов, реализуемое, например, в композиционных материалах, содержащих микросферы, наполненные жидким связующим, способным полимеризоваться при разрушении микросфер и «заклеивать» повреждение, возникшее при экстремальных нагрузках [8]. В результате такой целесообразной реакции последовательно связанные объекты «материал» – «деталь» – «узел» – «машина» приобретают дополнительный ресурс.

Заключение

Показана актуальность и перспективы развития ресурсной механики мобильных машин и, на примере трансмиссий машин с деталями из композиционных материалов, возможности сквозного многоуровневого моделирования и одновременной оптимизации структуры материалов и конструкции деталей на их основе.

Благодарности. Исследования выполнены при частичной поддержке БРФФИ (проект T21ЭТ-016 «Структурная оптимизация гибридных волоконно-армированных композиционных материалов для безопасного и надёжного электротранспорта»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Альгин В.Б. Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин, С.Н. Поддубко. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 549 с.
2. Надежность в технике. Оценка расхода ресурса технически сложных изделий: СТБ 2578-2020. – Введ. 01.03.2021. – Минск: Госстандарт, 2021. – 20 с.
3. Зубчатые передачи и трансмиссии в Беларуси: проектирование, технологии, оценка свойств / В.Б. Альгин [и др.]; под. ред. В.Б. Альгина, В.Е. Старжинского – Минск: Беларуская навука, 2017. – 406 с.
4. Development of Information Model of Power Transmissions in the Light of Industry 4.0 / V. Algin [et al.] // Int. Scientific J. Math. Modeling. – 2020. – No. 4. – P. 54–63.
5. Поддубко С.Н. Инновационные разработки Национальной академии наук Беларуси в области механики приводов. Часть 1. Модельный подход и применение цифровых двойников / С.Н. Поддубко, В.Б. Альгин, Н.Н. Ишин, С.В. Шилько // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 4. – С. 5–19.
6. Поддубко, С.Н. Инновационные разработки Национальной

академии наук Беларуси в области механики приводов. Часть 2. Ресурсная механика машин и архитектура информационной модели / С.Н. Поддубко, В.Б. Альгин, Н.Н. Ишин, С.В. Шилько // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 1 (58). – С. 5–12.

7. Шилько С.В. Двухуровневый метод оптимизации состава материала деталей машин из дисперсно-армированных композитов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 2. – С. 51–57.

8. Пинчук, Л.С. Введение в систематику «умных» материалов / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде, С.В. Шилько, А.С. Неверов. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 399 с.

УДК 631.372

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ЭНЕРГОСРЕДСТВ К РАБОТЕ В СОСТАВЕ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

С.И. Кирилук

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

Основные технологические операции в растениеводстве выполняются мобильными энергетическими комплексами (МЭК), в состав которых входит машина и энергосредство, а источником энергии является двигатель энергосредства. Современный энергонасыщенный трактор проектируется не только как тяговая машина, способная создать необходимое тяговое усилие для преодоления сопротивления сельскохозяйственной машины, но и как источник энергии для привода энергоемких агрегатов.

Одним из важнейших показателей тягово-сцепных свойств энергосредства является тяговый КПД, значение которого определяется по выражению $\eta_T = \eta_{мг} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_f$, где $\eta_{мг}$ – КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии; $\eta_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100}$ – КПД, учитывающий потери мощности, связанные с буксованием движителей; δ – буксование ведущих колес энергосредства, определяющее потери поступательной скорости агрегата, %; η_f – КПД, учитывающий потери мощности при качении колес энергосредства. В целом η_T показывает совершенство конструкции энергосредства, его технический уровень и учитывает долю мощности двигателя, связанной с ее производственными затратами. По литературным данным [1-2], наибольшие значения тяговых КПД колесных тракторов находятся в пределах 0,60-0,70 на плотных почвах и 0,45-0,55 – на рыхлых. Мощность двигателя энергосредства при движении агрегата расходуется на преодоление сопротивления передвижению энергосредства и мощности, затрачиваемой сельскохозяйственной машиной на выполнение технологической операции. В общем случае необходимая мощность двигателя при движении тягового агрегата равна

$$N_e = \frac{\left[R_M + G_T \left(f_T + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{мг} \eta_{\delta}}, \quad (1)$$

где R_M – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН; G_T – эксплуатационный вес энергосредства, кН; f_T – коэффициент

сопротивления качению энергосредства на данном агрофоне; i – уклон местности, %; v_p – действительная скорость движения агрегата, м/с.

При работе тягово-приводного агрегата с активными рабочими органами мощность двигателя затрачивается на их привод через вал отбора мощности (ВОМ):

$$N_e = \frac{\left[R_M + G_T \left(f_T + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{мг} \eta_{\delta}} + \frac{N_{ВОМ}}{\eta_{ВОМ}}, \quad (2)$$

где $N_{ВОМ}$ – мощность, потребляемая на привод активных рабочих органов сельскохозяйственных машин и подводимая через ВОМ энергосредства, кВт; $\eta_{ВОМ}$ – КПД привода ВОМ. При комплектовании МЭК следует учитывать, что допустимое значение используемой мощности двигателя при эксплуатации должно удовлетворять условию $N_e \leq N_{e.n} \eta_{N_e}$, где $N_{e.n}$ – номинальная мощность двигателя, кВт; – допустимый коэффициент загрузки двигателя по мощности ($\eta_{N_e} = 0,80 - 0,95$).

С точки зрения оптимального агрегатирования, рациональный МЭК должен соответствовать определенным требованиям: обеспечение норм агротехники при высоком качестве и скорости выполнения работ; достижение наивысшей производительности и минимального удельного расхода топлива; обеспечение почвосберегающих технологий и соблюдение экологических требований; обеспечение удобного и безопасного обслуживания рабочего процесса.

При работе комплекса в оптимальном режиме необходимо учитывать непрерывное изменение характера нагрузки в процессе выполнения операции. Чтобы учесть случайные факторы для обоснования оптимальных параметров и режимов работы МЭК, необходимо установить их вероятностно стохастические характеристики [2]. Как следует из уравнений (1) и (2), на потребляемую мощность двигателя оказывает влияние сопротивление рабочей машины R_M , которое в реальных условиях эксплуатации имеет случайный характер. В большинстве практических расчетов используются средние определенные значения показателей, подставляемых в расчетную формулу. Так, для почвообрабатывающих машин, культиваторов для междурядной обработки, картофеле- и корнеуборочных машин и др., среднее расчетное сопротивление определяется по формуле:

$$R_M = k_o b + G_M \frac{i}{100}, \quad (3)$$

где k_o – удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м; b – конструктивная ширина захвата сельскохозяйственной машины, м; G_M – эксплуатационный вес машины, кН.

В формуле (3) удельное тяговое сопротивление сельхозмашины определено при скорости движения 5 км/ч. При этом известно [2], что удельное тяговое сопротивление увеличивается с ростом скорости (при неизменности конструкции) по следующей зависимости:

$$k_o = k_o \left[1 + (v_p - v_o) \frac{\Delta c}{100} \right], \quad (4)$$

где v_o – скорость движения, которой соответствуют значения k_o (обычно принимается равной 5 км/ч = 1,4 м/с), м/с; Δc – темп нарастания удельного тягового сопротивления в зависимости от скорости движения агрегата, %.

Основными факторами, определяющими оптимизацию параметров МЭК по критерию эффективности труда, являются ширина захвата и оптимальная рабочая скорость. Оптимальная скорость движения агрегата при постоянной ширине захвата определяет максимальную производительность. Эффективность в этом случае повышается при оптимальной нагрузке двигателя и при выполнении операции с рекомендуемой по агротехнике скоростью движения МЭК.

Учитывая, что мощность является потенциалом повышения производительности, то реальные резервы связаны с изысканием путей использования мощности в МЭК. Современные колесные мобильные энергосредства конструктивно могут передавать потоки мощности по следующим каналам, через ведущие колеса энергосредства и развиваемого ими тягового усилия; через валы отбора мощности; используя гидравлические системы (или другие) дистанционной передачи мощности; комбинированно, используя несколько каналов.

Важным узлом энергосредства, определяющим его возможность агрегатирования с сельскохозяйственными машинами, требующими отбора мощности, является ВОМ. Большинство мобильных энергосредств позволяет передать через ВОМ до 100% мощности двигателя, что позволяет применять их с энергоемкими машинами. Крутящий момент на ВОМ (кН·м) определяется величиной мощности на привод рабочих органов и рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{ВОМ}} = \frac{N_{\text{ВОМ}}}{\omega}, \text{ где } \omega - \text{частота вращения ВОМ, с}^{-1}.$$

Во избежание динамических перегрузок ВОМ необходимо, чтобы машины с повышенным моментом инерции вращающихся масс снабжались муфтой, исключающей поломки привода в момент выключения ВОМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства: практикум / Т.А. Непарко [и др.]; под. общ. ред. Т.А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 216 с
2. Ляхов А.П. Параметры оценки приспособленности энергосредств к агрегатированию в составе МТА / А.П. Ляхов, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков, О.В. Жаврид // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 6-9.

УДК 629.11:004.94

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОЛЕСНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.А. Дюжев¹, О.К. Яцкевич², Е.В. Шапорова²

¹ОАО «АМКОДОР» - управляющая компания холдинга» Научно-технический центр, г. Минск, Республика Беларусь;

²Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Усложнение поставки импортных комплектующих белорусским предприятиям требует мобильного прогнозирования поведения модифицированной машины. Одним из инструментов для решения таких задач является система 1D моделирования AMESIM Siemens, которой располагает БНТУ, апробация также была выполнена в НТЦ ОАО «АМКОДОР».

Классические рекомендации для фронтальных погрузчиков предусматривают использование гидромеханических передач (далее ГМП) с гидротрансформаторами (далее ГТ) с муфтой свободного хода (далее МСХ), реализующей режим гидромукты при соотношении частот вращения турбины и насоса 85 % и более, что повышает КПД, снижает потери энергии и нагрев. Однако известны модели зарубежных погрузчиков, в которых МСХ не используется, что снижает стоимость ГМП и улучшает надежность, а при ограниченных пробегах рост потерь энергии не очевиден. В 2019 году потребители неоднократно жаловались на перегрев ГМП погрузчиков «Амкодор» с ГТ без МСХ при переездах дольше 20 минут. МСХ была введена в конструкцию без испытаний, жалобы прекратились. Однако усложнение закупки импортных МСХ потребовало объективно оценить ее значимость.

Целью исследования являлась сравнительная оценка тягово-динамических качеств и теплового режима ГМП фронтального погрузчика «Амкодор 342С4» с гидротрансформаторами с активным диаметром $D_a=320$ мм (далее ГТ 320) и $D_a=350$ мм (далее ГТ 350) с МСХ и без нее в цикле погрузки щебня и при транспортном пробеге.

Поскольку тягово-скоростные расчеты характеризуют потенциал машин при максимальном нагружении, их результаты не позволяют корректно оценить влияние особенностей трансмиссии на потребительские качества погрузчика. Поэтому сравнительная оценка выполнена путем натурных и виртуальных исследований в характерных режимах - в цикле погрузки щебня и при транспортном пробеге. Обработаны тензограммы

частот вращения и моментов на валах, определены скорости, перемещения, мощности и энергии в контрольных точках. Верификация цифровой модели выполнена по перемещениям, скоростям и температурам.

Цикл погрузки сыпучего груза. Расчетным принят режим с 75% загрузкой дизеля, характерный для эксплуатации. Тензограмма цикла погрузки щебня по росту момента на ведущих мостах позволяет отчетливо идентифицировать начало врезания ковша в штабель (рис. 1), которое принято за начало цикла. Момент на привод ведущих мостов растет при 3-5 кратном снижении частоты их вращения. По мере исчерпания кинетической энергии при врезании в штабель видна точка снижения частоты вращения дизеля и роста момента, растет отбор мощности на гидравлику погрузочного оборудования. Затем нагрузка дизеля уменьшается при остановке хода, снижается отбор мощности на гидроцилиндры, виден кратковременный пик момента на мосты, при этом ГТ работает с максимальным коэффициентом трансформации. Затем следуют подъем груза, движение задним ходом, подъезд к точке выгрузки, выгрузка и возврат к точке нового врезания в штабель.

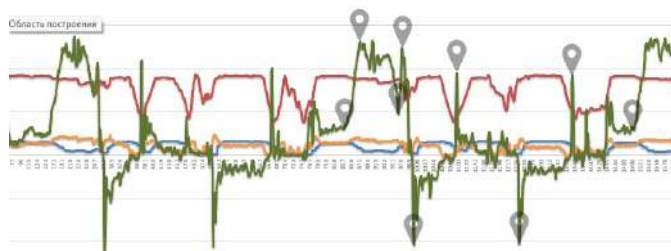


Рис.1 – Фрагмент тензограммы цикла погрузки. Красная линия – частота вращения дизеля, синяя - привода ведущих мостов, желтая – момент на входе ГМП, зеленая – момент от ГМП на привод мостов. Метки слева направо: начало врезания в штабель, потеря скорости движения, потеря частоты вращения дизеля, снятие отбора мощности на рабочую гидросистему и снижение загрузки дизеля, разгон назад, разгон вперед к месту выгрузки, разгон назад и разгон к штабелю, следующее врезание в штабель.

Полученные экспериментальные данные были использованы для анализа и отладки цифровой динамической модели (далее ЦМ).

Исследования цифровой модели. ЦМ погрузчика «Амкодор 342С4» (рис. 2) выполнена в системе AMESIM [2], которая верифицирована Siemens применительно ко всем отраслям машиностроения. Задаются параметры: ДВС серией кривых «частота вращения-момент», гидротрансформатора диаграммами $I_{гт} - M_n$, $I_{гт} - K_t$ с учетом температуры масла, данные системы охлаждения ГМП, упруго-массовые характеристики элементов приводов, закон изменения коэффициента трения фрикционных, законы управления. Выбор передач,

загрузка дизеля, уклон дороги, сопротивление ходу, торможение, нагружение гидронасосов заданы как функция времени.

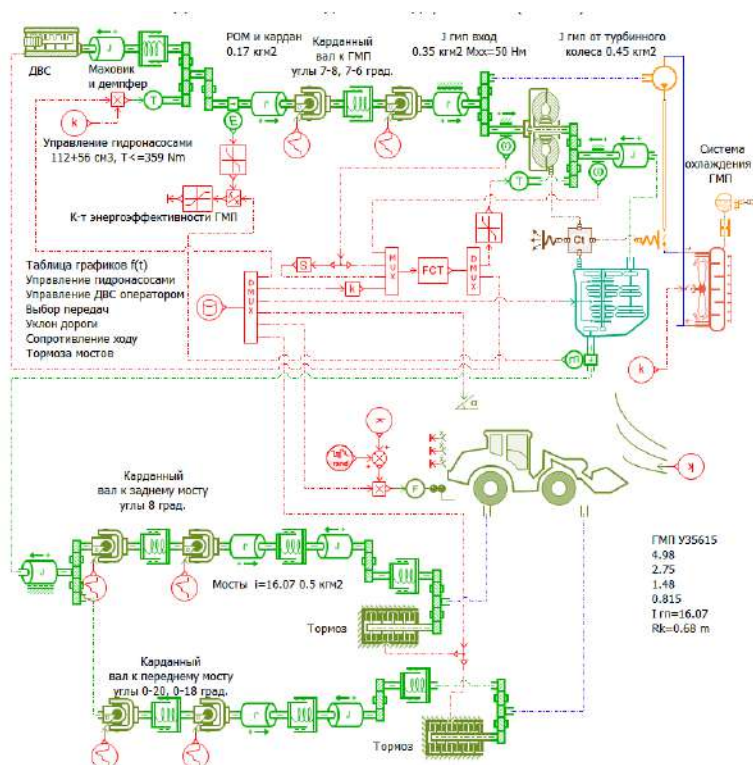


Рис. 2 – Цифровая модель погрузчика «Амкодор 342С4»

Моделирование работы в цикле. Коррекция предварительных данных цифровой модели по опытным данным позволила достичь расхождения с экспериментальными значениями нагрузок и скоростей на входе и выходе ГМП не более 5 %. Пример результатов имитации работы в цикле погрузки представлен ниже (рис. 3). Различия скорости в цикле погрузки машин с ГТ 350 с МСХ и без МСХ составили менее 3 % (рис. 4).

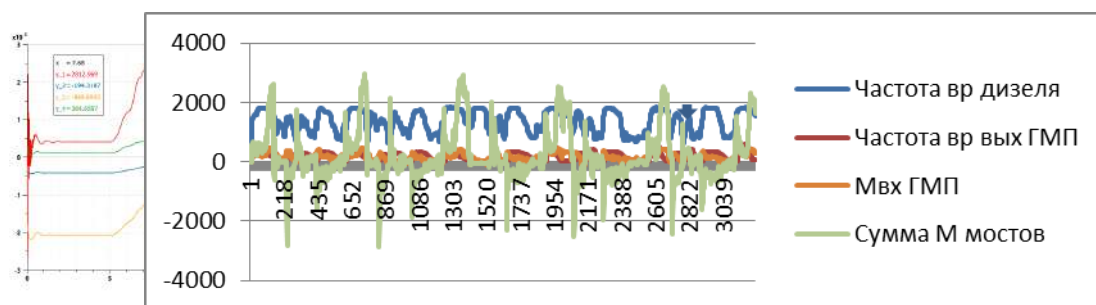


Рис. 3 – Цикл погрузки. Верхняя диаграмма- тензограмма 5 циклов, нижняя – ЦМ, где желтая линия – частота вращения дизеля, синяя - привода ведущих мостов, зеленая – момент на входе ГМП, красная – момент на привод мостов.

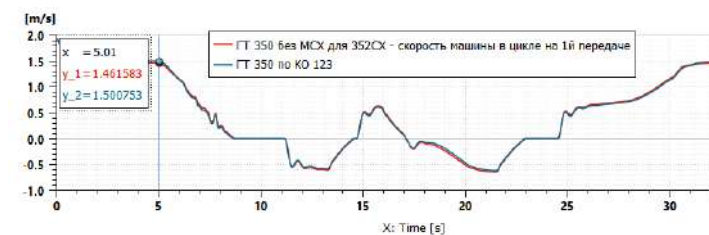


Рис. 4 – Цикл погрузки. Скорости в цикле погрузки на 1й передаче при 75% загрузке дизеля для ГТ 350 с МСХ (красная линия) и ГТ 350 без МСХ (синяя линия) отличаются не более чем на 3 %.

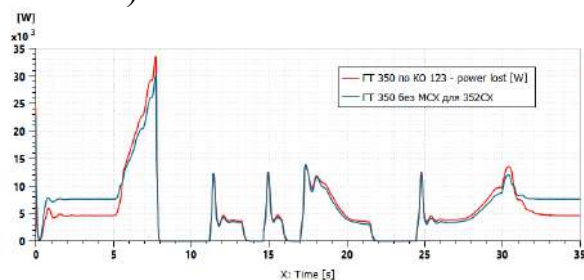


Рис. 5 – Тепловыделение в цикле погрузки с ГТ 350 с МСХ (красная линия) и без МСХ (синяя линия).

ГТ350 с МСХ показал большее торможение при врезании с большим на 10 % выделением тепла и малое тепловыделение при низкой нагрузке (рис. 5). За цикл тепловыделение с МСХ и без нее отличается незначительно.

Моделирование транспортного пробега выполнено с использованием участка дороги Фаниполь-Минск (3 подъема и спуск), принятого для сравнительных испытаний. Имитировано 30-минутное движение на четвертой передаче. Расхождения максимальной температуры после 20-ой минуты ЦМ с результатами экспериментов не превысили 3°C (рис. 6). ГТ350 с МСХ и без МСХ показали незначительную разницу как по тепловому режиму, так и по тягово-скоростным качествам (рис. 6, 8). Определен уровень теплоотдачи радиатора (+15 %), обеспечивающего температуру ГМП до 110°C (рис. 7). Расхождения расчетных максимальных скоростей на четвертой передаче для ГТ с МСХ составило 0,2-0,4 км/ч (1 %), а для ГТ 320 без МСХ 4,4 км/ч (12 %, рис. 8, табл. 1), скорости в начале врезания в штабель с ГТ350 до 4 %.

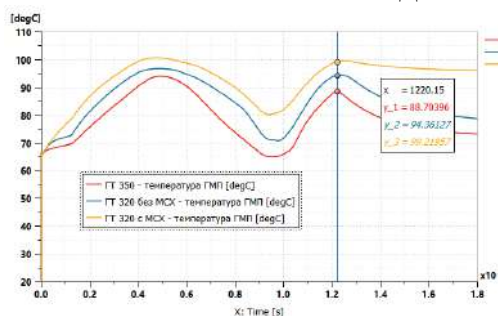


Рис. 6 – Температура ГМП для ГТ 350, ГТ320 с МСХ, ГТ320 без МСХ.

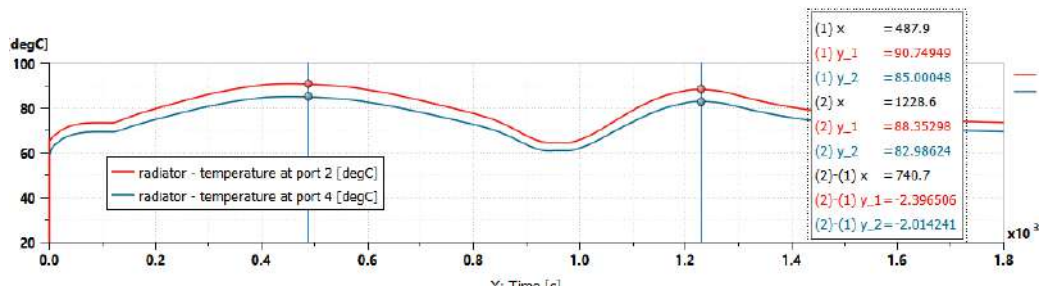


Рис. 7 – Температура ГМП с ГТ 320 без МСХ приводится к норме при увеличении теплоотдачи на 15 %.

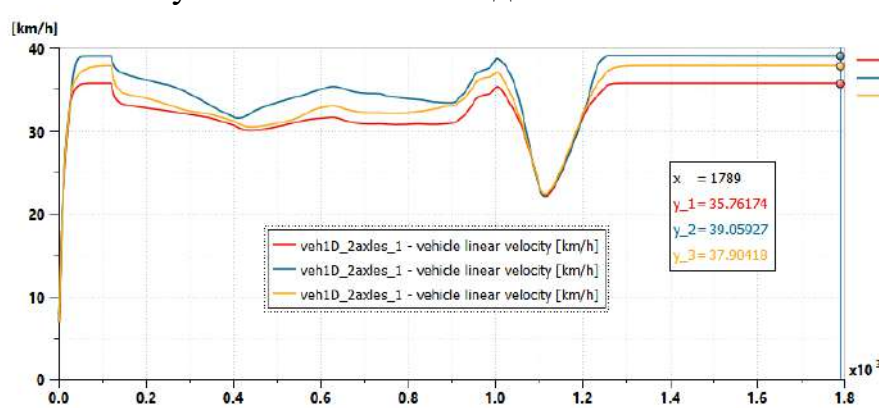


Рис. 8 – Скорость погрузчика в ходе пробега: синяя линия для ГТ 350 с МСХ, красная - ГТ320 с МСХ, желтая - ГТ320 без МСХ.

Таблица 1. Сравнительные результаты исследований

Параметры	Результаты опытов		Результат ЦМ	
	ГТ350 с МСХ	ГТ320 с/без МСХ	ГТ350 с/без МСХ	ГТ320 с /без МСХ
Максимальная скорость на 1-й передаче, км/ч	6,95	6,73/6,62	6.46/6,47	6,48/6/46
Максимальная скорость на 4-й передаче, км/ч	39,4	36/33,5	39/38.5	35,8/37,9
Время цикла погрузки, с	26	27/30	27/27,2	29/30
Кинетическая энергия массы машины к началу врезания, кДж	12,6	8,4/8,36	10,9/10,87	7,5/7,4
Удельный расход топлива в цикле погрузки на 1 т	100%	98,8%/104.2%	-	-
Удельный расход топлива на 1 км пробега	100%	117%/122%	-	-
Температура ГМП, приведенная к 40°C при переезде	109	117/117	108,7/108,3	119,2/114,4

Выводы

1. ГТ 320 как с МСХ, так и без нее повышает температуру ГМП на 6-8°C и требует повышения теплоотдачи радиатора ГМП не менее чем на 15 %.
2. На производительность и тепловой режим значительно влияет типоразмер ГТ, а влияние МСХ для ГТ350 слабое, что позволяет исключить ее из конструкции ГМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчеты об испытаниях погрузчика Амкодор 342С4 согласно карте опыта №123-2021. ИЦИДМ, 2022
2. Методики моделирования в модуле AMESIM Siemens support.sw.siemens.com

УДК 631.36

АГРЕГАТ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ

А.Г. Вабищевич, П.В. Авраменко, Н.Д. Янцов, А.А. Бакиров
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Одной из целей государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2021-2025 г являются повышения продуктивности кормовых угодий, общая площадь которых составляет до 3 млн. га [1].

Для выполнения различных видов работ в личных подсобных хозяйствах, приусадебных участках используются мини-трактора и мотоблоки с соответствующими орудиями на многих операциях, проводимых на подворье, в том числе для заготовки сена, заготовка и измельчения кормов, перевозки грузов и др.

В статье предлагается экспериментальный малогабаритный агрегат для заготовки кормов (рис. 1), состоящий из мини-трактора, навесной волокуши, расположенной спереди и колесно-пальцевых граблей, расположенных сзади и смещенных сбоку справа мини-трактора.



Рис. 1 – Агрегат для заготовки кормов

Навесная волокуша в составе агрегата предназначена для уборки сена, соломы из валков, подбора и перевозки копен сена, соломы и рулонов массой до 50 кг. Она используется в агрегате с мини-тракторами в том числе с мини-тракторами на базе мотоблока МТЗ-05 для работы на приусадебных участках, подсобных хозяйствах и других мелко контурных участках.

Волокуша состоит из задних и боковых стенок, выполненных в виде сварной конструкции из труб диаметром 32...40 мм. К задней стенке крепится механизм уравнивания и навесное устройство с механизмом

навешивания на мини-трактор. Для обеспечения жесткости конструкции волокуши применены боковые раскосы.

При движении агрегата пальцы волокуши забирают травяную массу из валка, копну сена или рулон. По мере накопления масса упирается в заднюю стенку, а боковые стенки препятствуют разбрасыванию массы в стороны. Разгрузка осуществляется при опускании волокуши на почву, при движении агрегата задним ходом за счет сцепления травяной массы с почвой.

Грабли, входящие в состав комбинированного агрегата, обеспечивают сгребание и ворошение скошенных естественных и сеяных трав. Они используются в агрегате с мини-трактором для работы на приусадебных участках, подсобных хозяйствах и других мелко контурных участках.

Грабли состоят из рамы, переднего управляемого и задних опорных пневматических колес. Рабочие органы граблей – пальцевые колеса с пружинными зубьями, которые имеют пружинную подвеску, обеспечивающую копирование микрорельефа поля. Рабочие органы граблей – пальцевые колеса взаимозаменяемы с рабочими органами граблей ГВК-6.

При работе агрегата при первом проходе колесно-пальцевые грабли сгребают высохшие стебли растений в валок. При последующих проходах высохшая масса растений подбирается волокушей, которая формирует на поле небольшие копны, а следом идущие грабли формируют новый валок.

При движении граблей пальцевые колеса соприкасаются с почвой, обеспечивая их вращение. Пружинные зубья захватывают травяную массу и транспортируют ее по ходу движения агрегата.

Для выполнения операции сгребания сена в валки секцию пальцевых колес устанавливают под углом 45° к направлению движения агрегата. Для ворошения пальцевые колеса поворачиваются вокруг оси шарниров на 90° .

Для перевода пальцевых колес из транспортного в рабочее положение и обратно на раме граблей установлен винтовой механизм подъема, состоящий из рукоятки, винта и гайки.

Производительность агрегата до 0,6 га/ч, рабочая скорость 5...7 км/ч, ширина захвата волокуши 1500 мм, граблей – 1200...1800 мм.

Таким образом, использование малогабаритного агрегата для заготовки кормов весьма удобно и рентабельно для использования в личных подсобных хозяйствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Аграрный бизнес» развития сельскохозяйственного производства в Республике Беларусь на 2021-2025 г. Постановление СМ РБ № 59 от 01.02.2021 г.

УДК 631.312

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАМЫ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Э.В. Лисовский¹, А.О. Шукюров¹, П.С. Литвинюк¹, А.Л. Кисельков¹,
А.М. Насковец²

¹ ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь;

²ОАО «БЕЛАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», г. Жодино, Республика Беларусь

Приведены методические рекомендации по оценке усталостной долговечности элементов несущих конструкций транспортных средств при моделировании эксплуатационного нагружения на основе комплексного применения технологий компьютерного моделирования. Рассматриваются базовые этапы алгоритма решения следующих задач: расчет динамической нагруженности; разработка общей конечно-элементной модели рамы транспортного средства с последующей подготовкой уточняющих подмоделей; расчет показателей напряженно-деформированного состояния; оценка усталостной долговечности несущих элементов транспортного средства при работе в типовых эксплуатационных условиях. Расчетные исследования реализованы с использованием комплекса программного обеспечения: средства моделирования многокомпонентных систем ADAMS, средства статистической обработки данных и описания, реализации алгоритмов управления движения машины MATLAB, пакетов конечно-элементного анализа ANSYS и оценки усталостной долговечности nCode Design Life.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, виртуальные испытания, метод конечных элементов, несущие системы, рама, транспортное средство, силовая нагруженность, динамика, напряженно-деформированное состояние, усталостная долговечность, сварные соединения, метод VOLVO, ANSYS, ADAMS, nCode.

Введение. Развитие транспорта на современном этапе требует разработки надежных конструкций, обладающих высокими технико-эксплуатационными характеристиками.

Применение технологий компьютерного моделирования при разработке новой конструкции позволяет значительно ускорить процесс разработки и минимизировать возможные ошибки еще на этапе проектирования.

В данной работе приводятся основные результаты разработки

методических рекомендаций по оценке усталостной долговечности рамы ТС на основе комплексного компьютерного моделирования процессов нагружения, оценки прочности и накопления повреждений.

В качестве объекта исследования рассматривается рама ТС большой грузоподъемности (рис. 1).

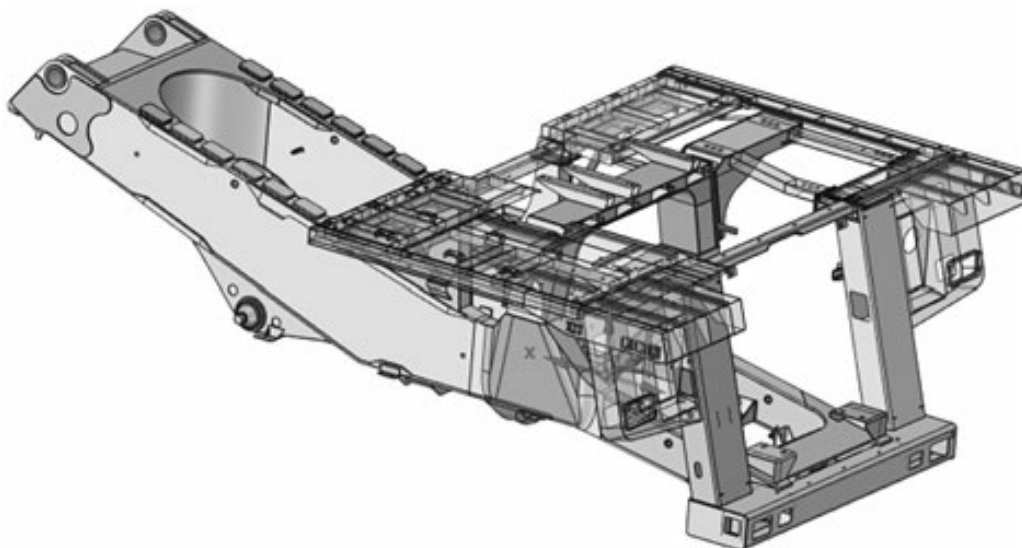


Рис. 1 — Трехмерная геометрическая модель рамы ТС

Для данной конструкции наиболее опасными по критерию усталости считаются зоны сварных соединений. Реализованный в данной работе способ расчетной оценки усталостной долговечности сварных соединений несущих конструкций основан на методе VOLVO [1–4].

Основной *целью данной работы* является описание методики определения усталостной долговечности сварных соединений конструкции.

Алгоритм взаимодействия программных модулей между собой. В решении данной задачи используется различное программное обеспечение (ПО). На рисунке 2 приведена схема с алгоритмом взаимосвязей используемого ПО.

В ходе вычислений применяются следующие программные средства: SpaceClaim, ADAMS, MATLAB, ANSYS и nCode Design Life.

Данный комплекс ПО позволяет определить динамические нагрузки, действующие на несущие конструкции в заданных условиях эксплуатации, историю изменения НДС и выполнить оценку ресурса по критерию многоциклового усталости [4 - 6].

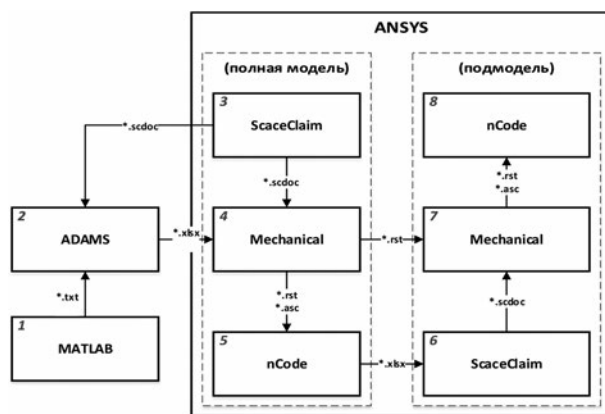


Рис. 2 — Алгоритм взаимосвязи используемого программного обеспечения при проведении расчетных исследований

Алгоритм проведения виртуальных испытаний. Для расчета усталостной долговечности конструкции выделены основные этапы работы, которые приведены в составе алгоритма исследования (рис. 3).

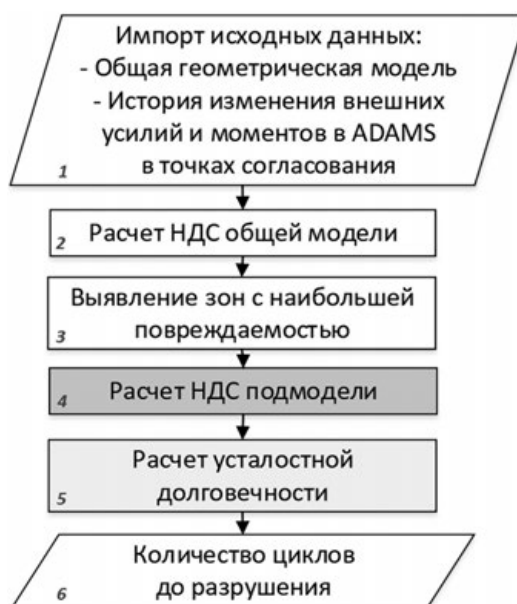


Рис. 3 — Алгоритм расчета усталостной долговечности несущих элементов конструкций машин

Исходными данными (блок 1) является трехмерная геометрическая модель объекта исследования в формате Parasolid или STEP и история изменения внешних усилий и моментов в точках согласования, полученная из ADAMS.

Расчет НДС общей КЭ модели (блок 2) выполняется с целью получения истории изменения НДС исследуемой конструкции. Полученная история изменения НДС передается в программу nCode с целью последующего расчета для выявления зон с наибольшей

повреждаемостью (блок 3). После того как будут выявлены зоны с наибольшей повреждаемостью на общей КЭ модели, выполняется выделение данных зон конструкции из ее общей геометрической модели с последующим созданием уточняющих подмоделей. На основе подмодели строится расчетная КЭ модель с более высокой степенью детализации КЭ сетки. Расчет НДС подмодели (блок 4) аналогичен блоку 2, за исключением того, что внешние нагрузки и граничные условия передаются из общей модели в виде перемещений узлов подмодели, взятые по ее границам.

Расчет усталостной долговечности (блок 5) выполняется в nCode для каждой выделенной подмодели. Основным отличием являются уточненные настройки самого расчетного пакета nCode. В качестве выходных данных (блок 6) получаем количество циклов нагружения до разрушения в заданных зонах.

Расчет НДС подмодели. На данном этапе работы выполняется расчет НДС фрагмента конструкции. На рисунке 4 в виде алгоритма приведено описание последовательности выполняемых действий.

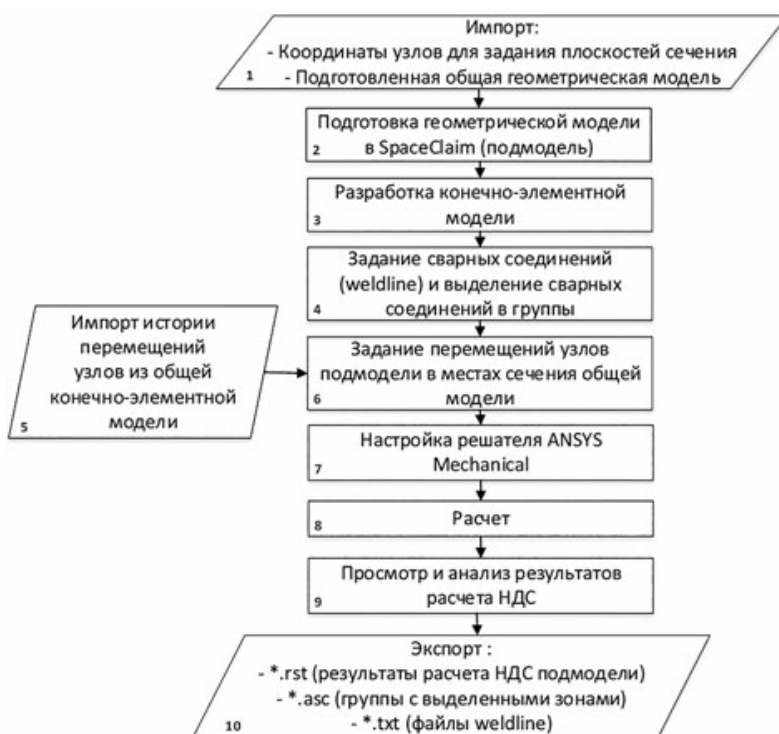


Рис. 4 — Расчет напряженно-деформированного состояния

Входными данными на данном этапе является подготовленная общая трехмерная геометрическая модель ТС и координаты узлов для задания плоскостей сечения модели.

Импорт данных - блок ввода данных для расчета. Передается общая трехмерная геометрическая модель ТС, подготовленная в блоке 1

(см. рис. 3) и координаты узлов для задания плоскостей сечения модели, блоки 2 и 3 (см. рис. 3).

Выделение подмоделей в общей геометрии, подготовка геометрии. Блок разработки подмодели с уточненным описанием геометрии для детального расчета показателей НДС.

На основании результатов расчета НДС полной модели (блок 2) и распределения зон повреждаемости (блок 3) вырезается участок конструкции с потенциальными зонами наибольшей повреждаемости.

Разработка КЭ модели. На основании подготовленной трехмерной геометрической подмодели создается более детальная КЭ сетка подмодели. Необходимо отметить, что применяемый для расчетной оценки усталостной долговечности метод VOLVO [1–4] не содержит особых требований к размеру сетки конечных элементов.

Задание сварных соединений (weldline) и выделение сварных соединений в группы. Данный этап является необязательным при условии использования в блоке 5 (рис. 3) функции автоматического определения сварных соединений при использовании метода VOLVO [1–2].

Ручное задание сварных соединений (weldline). В блоке создаются данные, описывающие расположение и направление сварных соединений (weldline).

Импорт перемещений узлов из общей КЭ модели. На данном этапе в дереве проекта ANSYS Workbench задаются связи между общей моделью и подмоделями для передачи перемещений для узлов на границах подмодели.

Расчет. Продолжительность данного этапа зависит от вычислительных возможностей рабочей станции, на которой выполняется расчет, количества заданных режимов нагружения, частоты задания изменения истории нагружения.

Просмотр и анализ результатов расчета НДС. На данном этапе визуальным показателям НДС выполняется промежуточная верификация модели и оценка зон локализации напряжений.

Экспорт результатов расчета. Данный этап отвечает за вывод исходных данных, которыми являются файлы с результатами расчета НДС подмодели.

На пятом этапе алгоритма (рис. 3) выполняется расчетная оценка усталостной долговечности сварных соединений анализируемой подмодели. Входные данные на этом этапе расчета представлены историей изменения НДС подмодели и описанием групп с выделенными зонами или файлы, содержащие описание расположения сварных соединений (weldline). В результате вычисляется количество блоков нагружения (т. к. рассматривается сложное нагружение, описывающее нагрузки, действующие на

определенной продолжительности движения ТС) до разрушения при заданных условиях нагружения. Более детальное описание пятого этапа общего алгоритма (рис. 3) представлено в виде алгоритма на рисунке 5.

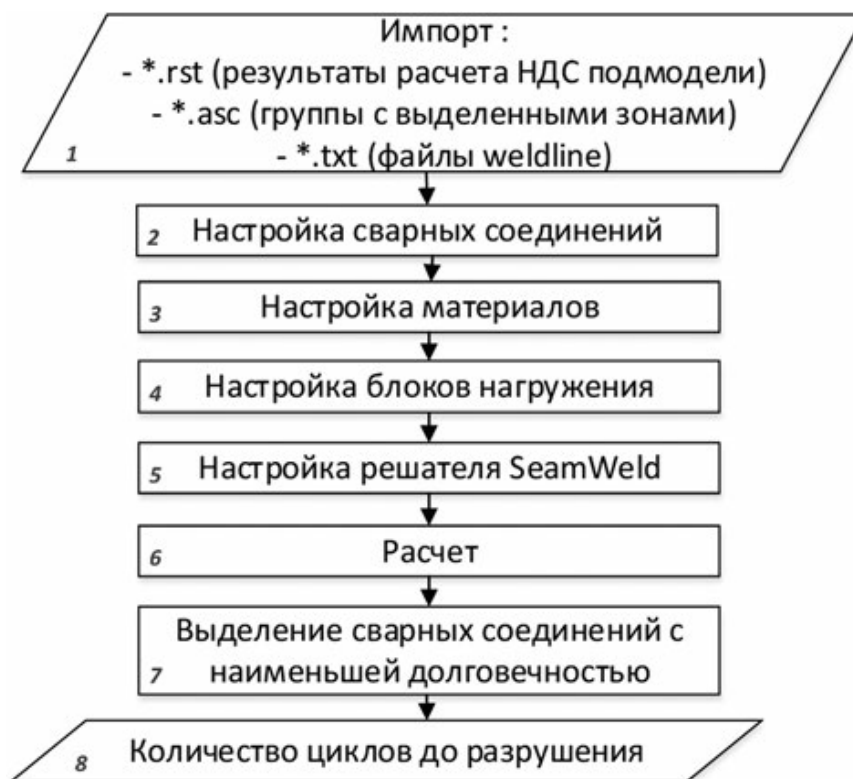


Рис. 5 — Расчет усталостной долговечности

Расчет усталостной долговечности. На данном этапе выполняется расчетная оценка усталостной долговечности сварных соединений анализируемой подмодели конструкции.

Входными данными для расчета являются история изменения НДС подмодели, описание групп с выделенными зонами или файлы, содержащие расположение сварных швов (weldline). В результате выполнения расчетов на данном этапе для рассматриваемого фрагмента конструкции определяется количество блоков нагружения до разрушения при заданных условиях нагружения.

Подход моделирования и оценки усталостной долговечности сварных соединений по методу VOLVO реализован в программном пакете nCode Design Life.

На рисунке 6 выделено поле-переключатель, отвечающее за использование автоматического или ручного метода определения сварных швов в решателе ПО nCode Design Life по методу VOLVO. В остальных полях указываются соответствующие настройки (глубина проварки, количество слоев швов).

Применяемые подходы описания нагруженности сварных соединений метода VOLVO позволяют использовать одну кривую

усталости для ряда наиболее применяемых конструкционных сталей.

☒ SeamWeld		
SeamWeldType	SolidWeld ▼	Type of seam weld
☒ SolidElementWeld		
SolidWeldAuto	False ▼	Solid weld auto selection mode
WeldDefinitionFilename	c:\Calculation\	File containing definitions of thick solid element
MaxWeldDepth	20	Maximum weld depth
NumWeldLayers	20	Number of weld layers
AverageResultsAtNodes	True ▼	Whether to average results to the nodes

Рис. 6 — Настройка решателя nCode Design Life — режим ручного определения данных по сварным соединениям

При настройке блока нагружения задается количество повторений для каждого режима нагружения, представляющего определенную последовательность эксплуатационных нагрузок заданной продолжительности (рис. 7).

Edit Loading
Advanced

Loading Type: Duty Cycle ▼

Configuration Method: Interactive ▼

Duty Cycle Filename:

Editor View

Description	Event Type	Configuration	Repeat Count
☒ LoadProviderDutyCycle	Duty cycle		
☒ прямолинейное движение	Time step load provider		30
☒ поворот влево	Time step load provider		6
☒ поворот вправо	Time step load provider		6
☒ подъем (заезд, переходной процесс)	Time step load provider		4
☒ подъем движение вверх	Time step load provider		19
☒ подъем (съезд, переходной процесс)	Time step load provider		4

Рис. 7 — Задание типовых блоков нагружения и настройка частоты их повторений

В качестве примера в таблице 1 приведены сравнительные результаты расчета усталостной долговечности фрагмента рамы большегрузного ТС.

Таблица 1 - сравнительные результаты расчета усталостной долговечности

Вариант конструкции	Изменение усталостной долговечности относительно базовой конструкции, %
1	2
Базовый (зона №1)	-
Базовый (зона №2)	-
Модификация №1 (зона №1)	-51
Модификация №1 (зона №2)	-250
Модификация №2 (зона №1)	+16
Модификация №2 (зона №2)	+17
Модификация №3 (зона №1)	+276
Модификация №3 (зона №2)	+86

Заключение. Представленные в данной работе методические рекомендации позволили структурировать и систематизировать процесс оценки усталостной долговечности несущих конструкций машин на базе комплексного подхода к моделированию процессов нагружения, расчета НДС и накопления усталостных повреждений конструкций.

Рассмотрены основные этапы предложенного алгоритма расчета усталостной долговечности несущих элементов конструкций машин (рис. 3). Подробно рассмотрен процесс расчета НДС подмодели конструкции (см. рис. 4) и расчета усталостной долговечности сварных соединений с использованием метода VOLVO.

В качестве примера использования разработанной методики показан процесс поиска наиболее эффективного по критерию усталости варианта изменения конструкции одного из наиболее нагруженных элементов несущей системы большегрузного ТС.

Таким образом, развитие приведенных выше методических средств компьютерного моделирования процессов нагружения и накопления повреждений позволяет реализовать концепцию применения натурных испытаний не только для подтверждения требуемых свойств конструкций, но и для поиска наиболее эффективных вариантов конструкций по критериям усталостной долговечности сварных соединений путем сравнительного анализа возможных модификаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fermér M. Industrial Experiences of FE-Based Life Predictions of Welded Automotive Structures / M. Fermér, H. Svensson // Fatigue and

Fracture of Engineering Material and Structures. — 2001. — Vol. 24, no. 7. — Pp. 489–500. — DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1460-2695.2001.00409.x>.

2. Rupp A. Computer aided dimensioning of spot-welded automotive structures / A. Rupp, K. Störzel, V. Grubisic // SAE Technical Paper. — 1995. — DOI: <https://doi.org/10.4271/950711>.

3. Fermér M. Fatigue Life Prediction of MAG-Welded Thin-Sheet Structures / M. Fermér, M. Andréasson, B. Frodin // SAE Technical Paper. — 1998. - DOI: <https://doi.org/10.4271/982311>.

4. DesignLifeTheoryGuide[Electronicresource].—Modeofaccess: <http://oss.jishulink.com/caenet/forums/upload/2014/09/25/191/45541828203375.pdf>. — Date of access: 08.09.2021.

5. Шмелев А.В. Совершенствование методов схематизации случайных процессов нагружения и расчета усталостной долговечности несущих конструкций грузовых автомобилей: дис. канд. техн. наук: 01.02.06 / А.В. Шмелев. - Минск, 2010. - 188 л.

6. Расчетная оценка усталостной долговечности несущих конструкций карьерного самосвала на основе комплексного компьютерного моделирования процессов нагружения и накопления повреждений/ А.В. Шмелев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. - 2020. - № 1(50). - С. 33–44.

УДК 631.312

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ПЛУГА С УЧЕТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ ПОЧВЫ ДИСКРЕТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

П.С. Литвинюк, А.О. Шукюров, В.А. Мендель
ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

Плуг является одним из незаменимых рабочих инструментов производителей растениеводческой сельхозпродукции. Плуги используют для вспашки почв, что в свою очередь уменьшает количество сорняков, разрыхляет и делает почву более мягкой и податливой, облегчая в том числе дальнейший посев сельхоз культур. Силовая часть конструкции должна выдерживать эксплуатационные режимы нагружения, возникающие при пахотном процессе. Для обеспечения соответствия проектируемой конструкции заявленным требованиям на этапах конструирования эффективно применение компьютерного (виртуального) моделирования. Одним из самых распространенных программных комплексов, обеспечивающих возможность проведения комплексного компьютерного моделирования различных процессов и режимов, основанного на реализации метода конечных элементов, можно считать ANSYS [1].

Виртуальное моделирование эксплуатационных режимов нагружения плуга позволяет оценить прочность конструкции и, в случае несоответствия, выполнить доработку конструкции с последующей расчетной оценкой эффективности изменений. Такой подход позволяет избежать необходимости изготовления в металле прототипов конструкций и проведения натурных испытаний. Это, в свою очередь, дает значительную экономию времени и материальных затрат.

Для оценки усилий, возникающих на лемехах и отвалах (далее - ножах) плуга, эффективно проводить моделирование процесса вспашки почвы с применением дискретных элементов, которые, в свою очередь, позволяют на этапах задания свойств материалов учитывать различные параметры почв. Данный метод позволяет учитывать не только характеристики почвы при моделировании, но разнообразные объекты, которые могут находиться в почве и при пахотных работах дополнительно нагружать ножи.

На начальном этапе происходит подготовка геометрической модели исследуемого объекта (рис. 1) путем удаления элементов конструкции, не оказывающих влияния на прочность и жесткость объекта исследования.

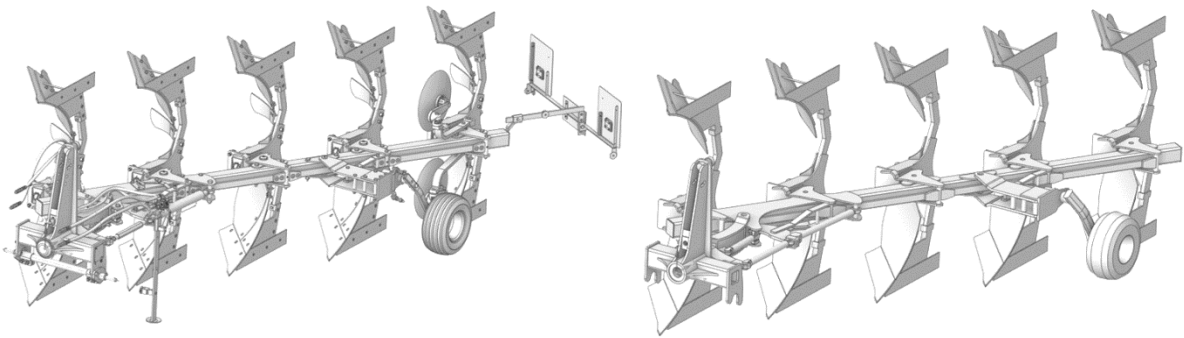


Рис. 1 – Процесс подготовки геометрической модели плуга к моделированию

На следующем этапе создается расчетная конечно-элементная модель. В среде программного комплекса ANSYS, на основе компьютерной объемной трехмерной геометрической модели плуга, создана расчетная конечно-элементная модель (рис. 2). Средний размер конечных элементов составляет 150 мм.

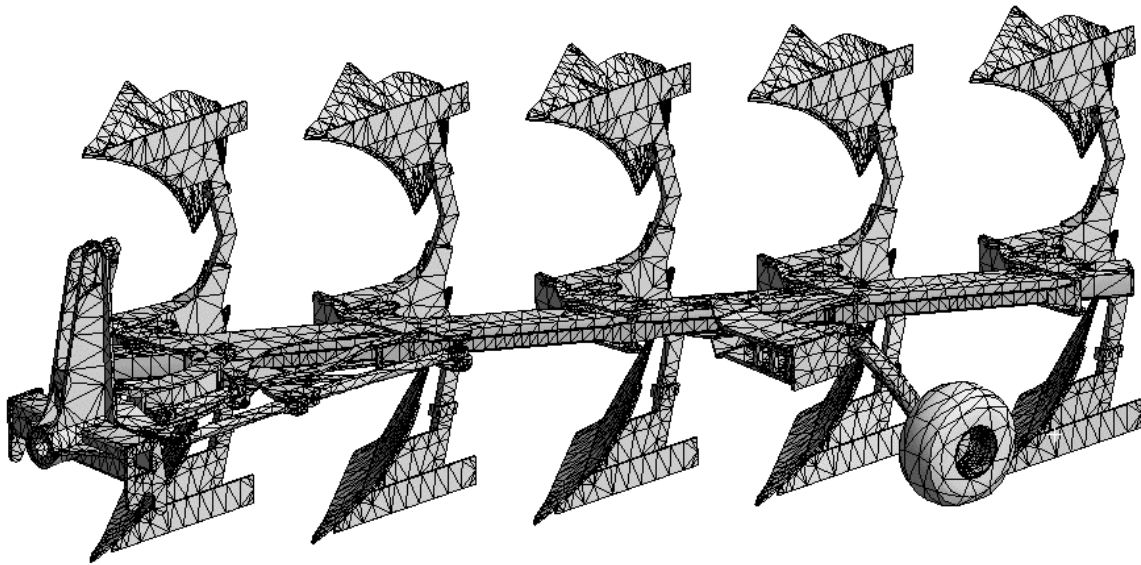


Рис. 2 – Конечно-элементная модель плуга

Для определения усилий, возникающих при пахотных операциях, проводилось моделирование процесса вспашки с применением дискретных частиц (рис. 3) и последующим экспортом полученных нагрузок на ножах.

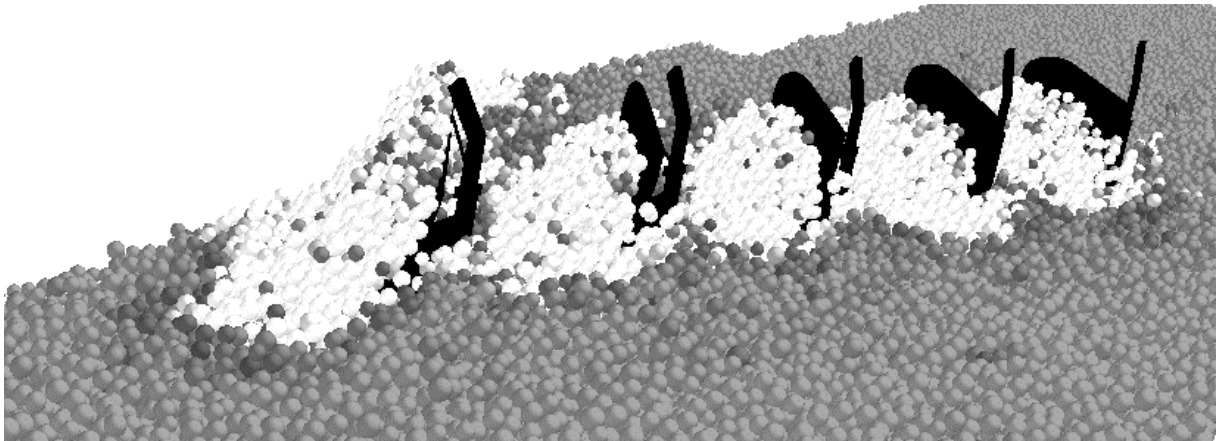


Рис. 3 – Дискретно элементное моделирования процесса вспашки

Перед началом приложения нагрузок на ножи плуга задавались граничные условия к прицепной части каркаса и колесу, а также сила тяжести. На следующем этапе моделирования нагрузки, полученные от дискретного моделирования, передавались в программный комплекс ANSYS и прикладывались к соответствующим ножам (рис. 4).

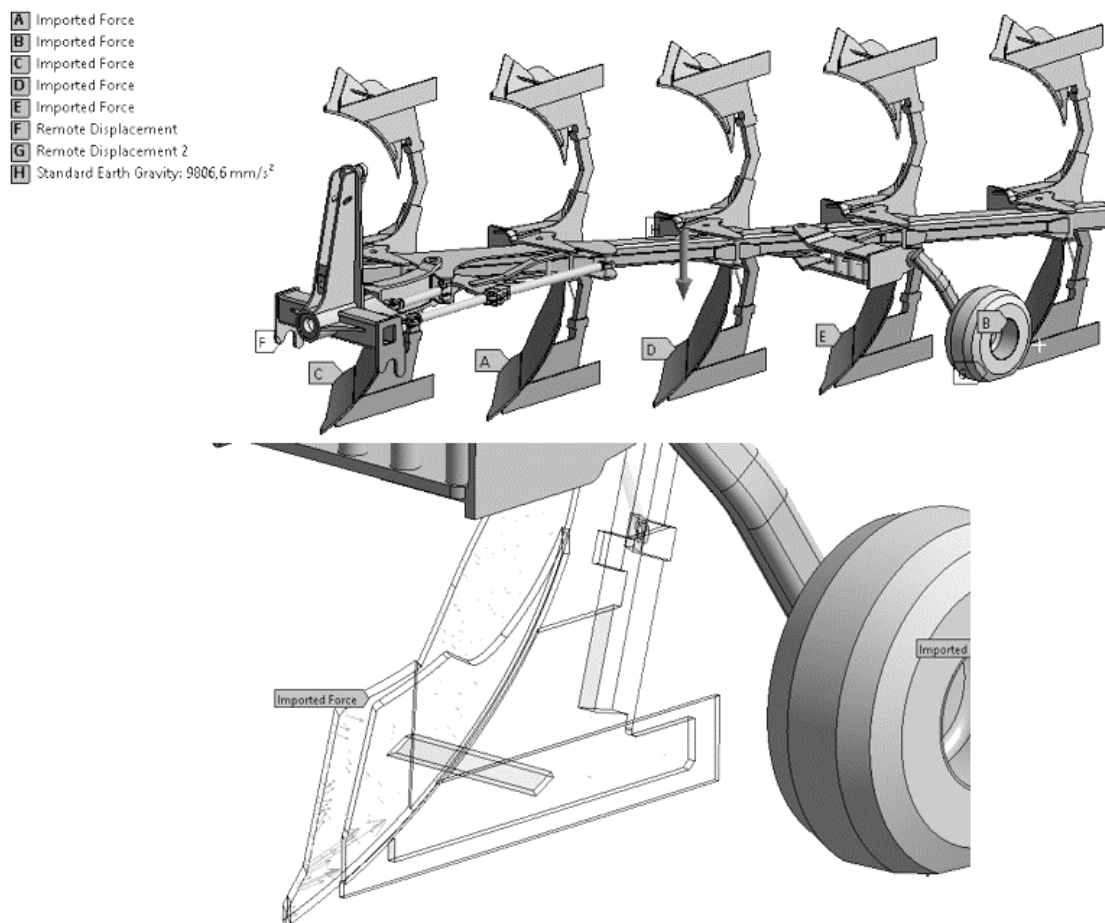


Рис. 4 – Описание приложения нагрузок на плуг

Результаты компьютерного моделирования нагружения плуга эксплуатационными режимами нагружения представлены в виде картин распределения эквивалентных напряжений (рис. 5). Основным критерием обеспечения прочности принято нахождение размаха напряжений в определенных пределах.

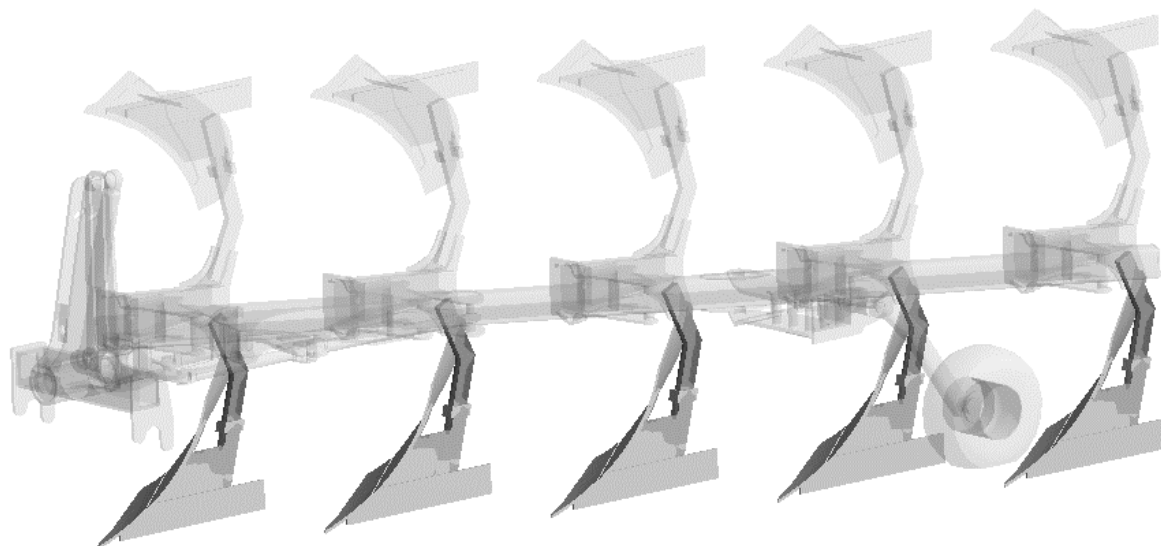


Рис. 5 – Эквивалентные напряжения в плуге при пахотных операциях.

Так же по результатам компьютерного моделирования выводился размах эквивалентных напряжений, который включает в себя такие этапы моделирования, как нагрузка конструкции силами тяжести, вход плуга в почву, вспашку и выход из почвы (рис. 6).

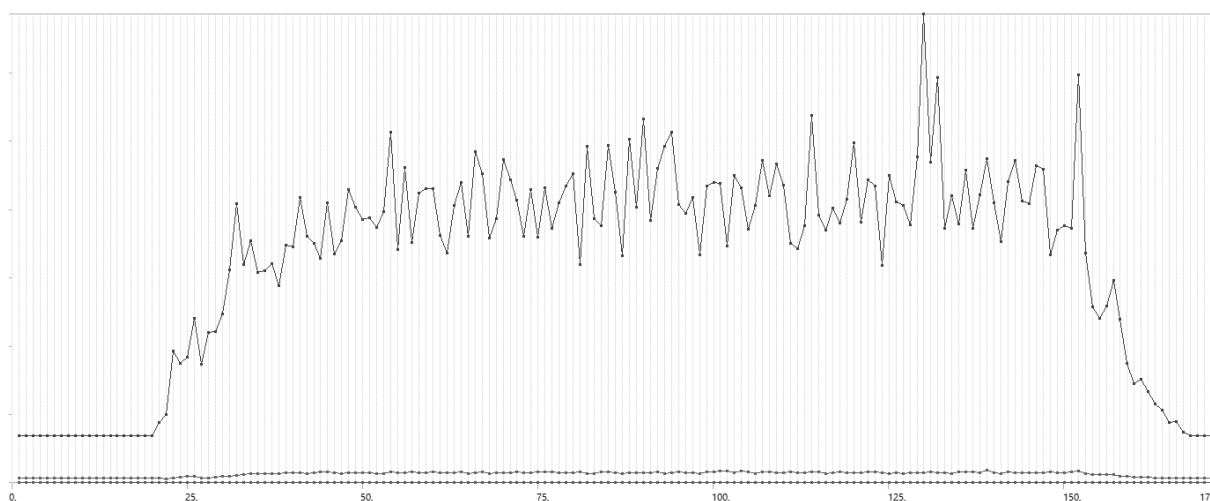


Рис. 6 – График изменения максимального значения эквивалентных напряжений от времени моделирования

Рассмотрена актуальная научно-техническая задача расчетного исследования силовых конструкций плуга на соответствие эксплуатационным режимам нагружения с применением компьютерного дискретного и конечно-элементного моделирования. Сделан акцент на возможность доработки разрабатываемой конструкции еще на стадии проектирования путем проведения серий виртуальных испытаний и при необходимости внесения изменений в конструкцию. Такой подход позволяет значительно повысить вероятность безотказной работы механизма и, как следствие, снизить затраты материальных средств и времени на разработку и поиск наиболее эффективных решений по критериям прочности силовых конструкций.

Применение компьютерного моделирования для исследования напряженно-деформированного состояния силового каркаса плуга на пахотных режимах работы с применением дискретного моделирования позволило на стадии разработки оценить наиболее нагруженные зоны конструкции, получить график изменений напряжений в конструкции, что в свою очередь позволяет при необходимости провести оценку долговечности конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

УДК 629.3.014

ВЫБОР ДИАПАЗОНОВ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Ч.И. Жданович¹, Н.В. Калинин²¹ Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь;² ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение. В [1] был предложен способ построения в Delphi универсального графика для отображения зависимостей, полученных при расчёте тягово-скоростных свойств трактора с электромеханической трансмиссией, позволяющий пользователю самому задавать, какой параметр брать по оси x , какой — по оси y , и подписать оси и кривые графика средствами Delphi без необходимости использования Excel и графических редакторов; также дана возможность пользователю построить графики сразу для двух разных зависимостей, привязав их к разным осям. В [1] программа выдаёт таблицу значений на вкладке «Таблица» диалогового окна [1, рис. 6], а на вкладке «График» необходимо выбрать из списков [1, рис. 5] названия параметров, значения которых должны быть отложены по осям графика. Обозначения параметров в списках на вкладке «График» полностью соответствуют обозначениям параметров в верхней строки таблицы, расположенной на вкладке «Таблица». Количество графиков соответствует количеству передач: по номеру передачи (диапазона) в левом (нулевом) столбце таблицы [1, рис. 6] программа определяет, на каком из графиков строить точку.

Однако может возникнуть необходимость построить график не для всех значений, полученных в результате расчёта, а только для части. Например, для построения тягового КПД трактора в [2] на графике построены только значения тягового КПД при силе тяги свыше 25–30 кН; если бы были построены графики для всего диапазона значений касательной силы тяги, то они бы слились и были неразличимы.

Цель работы — обеспечить возможность пользователю построить график только для определённых значений параметров, полученных в результате расчёта, либо для определённого их диапазона значений.

Программная реализация задачи. Дополним график в [1] так, чтобы можно было выбрать диапазоны значений или отдельные значения.

Создадим дополнительную таблицу StringGrid1 на отдельной форме Form3, чтобы пользователь мог с помощью неё выбрать отдельные значения или диапазоны значений выбранных параметров для построения

графиков. Сделаем четыре столбца: в нулевом столбце — номер передачи, в первом и втором столбцах — значения параметров по осям x и y , а в третьем столбце пользователь должен будет указать начало диапазона значений одной и конец диапазона двумя звёздочками, если переключатель под таблицей установлен в положение «Выбирать диапазоны значений», или обозначить звёздочкой, какие точки строить на графике, если переключатель установлен в положение «Выбирать отдельные значения». Для переключателя используется компонент `RadioGroup1` (рис.1).

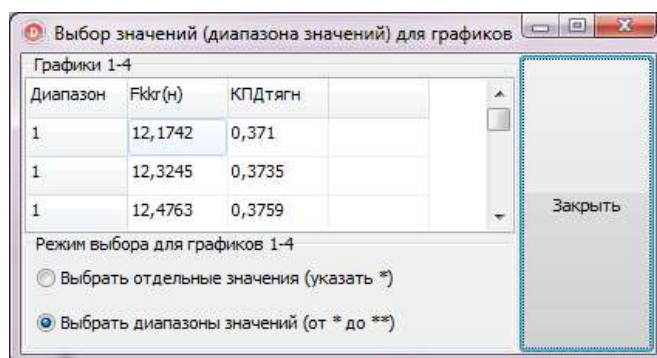


Рис. 1 — Вид формы для построения графика

Чтобы оставить возможность строить график для всех значений, на вкладку график положим флажок «Ограничивать значения» (компонент `CheckBox18`, рис.2): если флажок не установлен, то программа должна будет считать аналогично [1] без выбора значений. Если же установлен, то: 1) значения параметров, выбранных по осям x и y , будут переписаны в таблицу `StringGrid1` формы с именем `Form3`; 2) будет открыта `Form3` с таблицей, где пользователь должен будет обозначить диапазоны значений или значения, которые необходимо построить на графике; 3) после того, как пользователь закроет `Form3`, программа построит графики.

Внесения будут изменены только в процедуру `BitBtn20Click` и будет создана форма `Form3`, всё остальное в [1] останется без изменений. Ниже приведён листинг модифицированной программы `BitBtn20Click`.

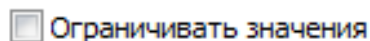


Рис. 2 — Флажок

```

procedure TForm1.BitBtn20Click(Sender: TObject);
  Var grp,grnx,grny,dn:integer; grpl,grp2:extended;
  itn,itn2:string;
  esegr:boolean; // вводим новую переменную esegr
begin
  if (ListBox1.ItemIndex<0) or (ListBox2.ItemIndex<0) then begin
    ShowMessage('Не выбраны графики!');
    exit; // завершение работы процедуры BitBtn20Click
  end; { компонент ListBox1 используется для выбора из списка того параметра,
        который будет отложен по оси абсцисс, а компонент ListBox2 используется для выбора
        из списка того параметра, который будет отложен по оси ординат.
        Если не выбран ни один параметр из списка, то значения свойства ItemIndex
        компонента ListBox равно -1.
        Таким образом, если не выбран какой-либо элемент из списка параметров, программа
        выдаст сообщение об этом и завершит работу }
    Series71.Clear; Series72.Clear; Series73.Clear; Series74.Clear;

```

```

{ Очистка графиков }
{ График Series71 соответствует передаче с номером 1, график Series72 - передаче
с номером 2, Series73 - передаче с номером 3, Series74 - передаче с номером 4 }
itn:=ListBox1.Items.Strings[ListBox1.ItemIndex];
{ переменной itn присваивается название параметра, выбранного в списке для x }
for grp := 1 to StringGrid3.ColCount-1 do
  if StringGrid3.Cells[grp,0]=Itn then grnx:=grp;
{Определяется номер столбца grnx, в котором находятся значения параметра,
откладываемого по оси x – имена параметров в верхней строке таблицы значений и в
списках совпадают }
  itn2:=ListBox2.Items.Strings[ListBox2.ItemIndex];
{ переменной itn2 присваивается название параметра, выбранного в списке для y }
  for grp := 1 to StringGrid3.ColCount-1 do
    if StringGrid3.Cells[grp,0]=Itn2 then grny:=grp;
    {Определяется номер столбца grny в котором находятся значения параметра,
откладываемого по оси y }
  if CheckBox1.Checked=false then begin {если строятся все точки (флажок выключен)}
    for grp:= 1 to StringGrid3.RowCount-1 do
      begin
        dn:=StrToInt(StringGrid3.Cells[0,grp]);
        grp1:=StrToFloat(StringGrid3.Cells[grnx,grp]);
        grp2:=StrToFloat(StringGrid3.Cells[grny,grp]);
        grstr(dn,grp1,grp2); // процедуру grstr см. в [1]
      end; // от for по grp
    end else begin {если нужно выбрать диапазоны значений или отдельные значения
(флажок (рис.2) установлен) }
      Form3.StringGrid1.RowCount:=StringGrid3.RowCount;
      { число строк таблицы для графиков присваиваем числу строк таблицы значений }
      for grp:= 0 to StringGrid3.RowCount do begin
        Form3.StringGrid1.Cells[0,grp]:=StringGrid3.Cells[0,grp];
        Form3.StringGrid1.Cells[1,grp]:=StringGrid3.Cells[grnx,grp];
        Form3.StringGrid1.Cells[2,grp]:=StringGrid3.Cells[grny,grp];
        { копируются из одной таблицы в другую необходимые значения для построения
графика: номер передачи, значения параметров, откладываемых по осям }
        Form3.StringGrid1.Cells[3,grp]:=''; { очищаем третий столбец, в котором
пользователь должен отмечать нужные строки звездочками }
      end; // от for
      { grp1 и grp2 – текущие значения для абсциссы и ординаты точки на графике; grnx и
grny – номера столбцов таблицы StringGrid3, в которых они находятся }
      Form3.ShowModal; // открывается форма с таблицей для графиков
      {Когда откроется форма с именем Form3 с таблицей для графиков, пользователь вначале
должен будет указать, нужно выбирать отдельные значения для построения графиков или
же выбирать диапазоны значений. Делается это при помощи переключателя RadioGroup1;
если пользователь включит его в положение «Выбирать отдельные значения», то
свойство ItemIndex переключателя RadioGroup1 станет равным «0», а если – в
положение «Выбрать диапазоны значений», то «1»};
      Далее пользователь должен будет работать с Form3 для построения графиков.
После этого пользователь должен будет закрыть форму для построения графиков, нажав
кнопку «Закрыть», после чего программа продолжит выполняться. Программа не будет
далее строки Form3.ShowModal выполняться до тех пор, пока пользователь не закроет
форму для построения графиков с именем Form3. }
      if Form3.RadioGroup1.ItemIndex=0 then begin //если выбирать отдельные значения
        for grp:= 1 to Form3.StringGrid1.RowCount-1 do { цикл от первой до последней
строки таблицы; число строк на 1 больше, чем число значений (есть ещё строка с
номером 0 для подписи данных), поэтому верхняя граница цикла – RowCount-1, а не
RowCount; на каждом шаге цикла значение целочисленной переменной grp соответствует
определённой строке}
          if Form3.StringGrid1.Cells[3,grp]='*' then begin
            dn:=StrToInt(Form3.StringGrid1.Cells[0,grp]); // п.1
            grp1:=StrToFloat(Form3.StringGrid1.Cells[1,grp]); // п.2
            grp2:=StrToFloat(Form3.StringGrid1.Cells[2,grp]); //п.3
            grstr(dn,grp1,grp2); // п.4: вызов процедуры grstr построения графика
          end; // от «if ... = '*'»; также тут заканчивается for по grp
          {Если в третьем столбце строки с номером, соответствующем текущему значению
параметра цикла grp, есть звездочка, то:
1) из нулевого столбца строки с номером, соответствующем параметру цикла grp, будет
взято значение номера передачи dn,
2) из первого столбца – значение величины по оси абсцисс,

```

3) из второго столбца — значение величины по оси ординат,
 4) затем будет вызвана процедура *grstr* для построения графиков;
 если же нет звёздочки в третьем столбце, то п.1–п.4 для строки с номером, соответствующем текущему значению параметра цикла *grp*, выполняться не будут }

```

end else begin //если выбран диапазон значений переключателем RadioGroup1
  esegr:=false; // переменная esegr примет значение «ложь»;
  for grp:= 1 to Form3.StringGrid1.RowCount-1 do begin
    if Form3.StringGrid1.Cells[3,grp]='*' then esegr:=true;
    { если в третьем столбце строки с номером, соответствующим текущему значению
    параметра цикла grp, будет звёздочка, то переменная esegr примет значение «истина»
    }
    if esegr=true then begin {точки на графике будут строиться только в том
    случае, если значение переменной esegr «истина» }
      dn:=StrToInt(Form3.StringGrid1.Cells[0,grp]);
      grp1:=StrToFloat(Form3.StringGrid1.Cells[1,grp]);
      grstr(dn,grp1,grp2); { вызов процедуры grstr для построения точки на
      графике с координатами (grp1,grp2); dn показывает номер передачи: если dn=1, то
      берётся точка для графика, соответствующего передаче под номером 1 и т.д. }
    end; // от «if esegr=true»
    if Form3.StringGrid1.Cells[3,grp]='**' then esegr:=false;
    { если в третьем столбце строки с номером, соответствующим текущему значению
    параметра цикла grp, будет две звёздочки, то переменная esegr примет значение
    «ложь»
    }
  end; // конец цикла по grp
end; end; //от «если выбран диапазон значений» и «если флажок (рис.2) установлен»
end;
```

Пример расчёта. Выполним расчёт для передаточных отношений $u_{мчт}$ трансмиссии 64,85; 71,83; 103 и 140 аналогично [2] при номинальном режиме работы ТАД без компенсации реактивной мощности. Выберем из списка (рис. 7) нужные параметры — силу тяги на крюке $F_{кр,н}$ при номинальном режиме работы ТАД, обозначенную в списке параметров как $F_{kkr(n)}$, и тяговый КПД при номинального режиме работы ТАД, обозначенный как $KПД_{тяги}$. Построим график для участка CD характеристики [2]. Для наглядности строить будем при $F_{кр,н} > 30$ кН. Устанавливаем флажок «Ограничивать значения» (рис. 2, 7) и нажимаем кнопку «Графики 1–4». В открывшейся таблице находим первую точку с $F_{кр,н} > 30$ кН для первого передаточного отношения $u_{мчт}=64,85$ — все расчётные значения, соответствующие $u_{мчт}=64,85$, обозначены цифрой 1 в нулевом столбце — и ставим «*» (рис. 3). Идём по таблице ниже и находим последнее значение участка CD (когда значение $F_{кр,н}$ постоянно, это уже участок BC) и ставим «**» (рис. 4).

Передача	$F_{kkr(n)}$	$KПД_{тяги}$	
1	29,7096	0,5299	
1	30,1	0,5316	*
1	30,4973	0,5334	

Рис. 3 — Выбор начала диапазона значений силы тяги на крюке $F_{kkr(n)}$ и тягового КПД для первого значения $u_{мчт}$

Передача	$F_{kkr(n)}$	$KПД_{тяги}$	
1	50,1888	0,5207	**
1	50,8843	0,516	
1	50,8843	0,5148	

Рис. 4 — Выбор последнего значения диапазона значений силы тяги на крюке и тягового КПД для первого значения $u_{мчт}$

Аналогично делаем для $u_{мчт}=71,83$ и $u_{мчт}=103$, для которых расчётные значения обозначены цифрами 2 и 3 соответственно. Для четвёртого $u_{мчт}=140$ первое значение $F_{кр,н}=39,3553 \text{ кН} > 30 \text{ кН}$ — напротив него ставим «*» (рис. 5), а затем выбираем последнее значение $F_{кр,н}$ для участка CD при $u_{мчт}=140$ и ставим напротив него «**» (рис. 6).

Графики 1-4			
Передача	Fkkr(н)	КПДтягн	
3	7,4896	0,1339	
4	39,3553	0,5321	*
4	39,6797	0,5327	

Рис. 5 — Выбор начала диапазона значений силы тяги на крюке и тягового КПД для четвёртого значения $u_{мчт}$

Графики 1-4			
Передача	Fkkr(н)	КПДтягн	
4	50,7921	0,5166	**
4	50,8843	0,5168	
4	50,8843	0,5177	

Рис. 6 — Выбор последнего значения диапазона значений силы тяги на крюке и тягового КПД для четвёртого значения $u_{мчт}$

Жмём кнопку «Заккрыть» (рис. 1) — Form3 закрывается и строится график (рис. 7).

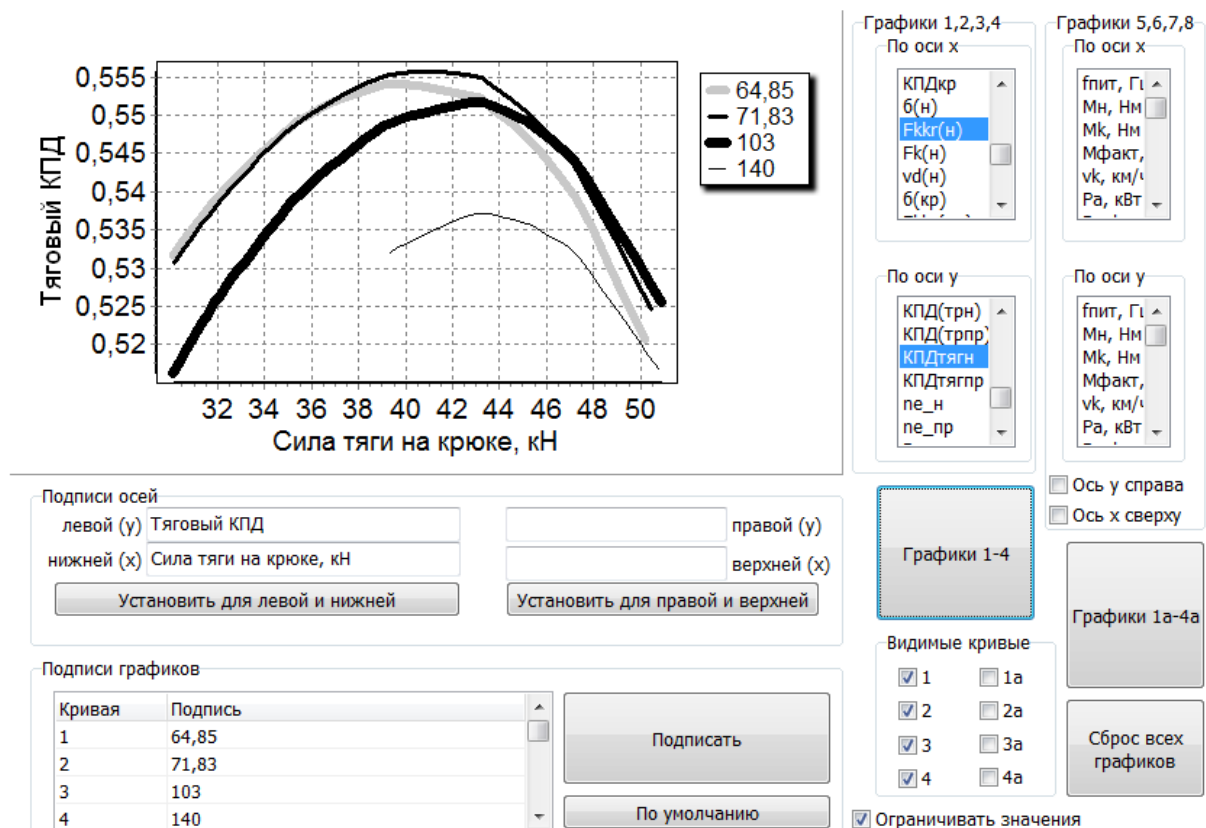


Рис. 7 — Вид формы с построенным графиком

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович Ч.И. Универсальный график для отображения характеристик трактора с электромеханической трансмиссией [Электронный ресурс] / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Научные решения проблем развития тракторной техники, многоцелевых колёсных и гусеничных машин, городского электротранспорта: сб. науч. тр. Белорус. нац. техн. ун-т, посвящ. 65-летию кафедры «Тракторы», 20–21 янв. 2019 г. / редкол.: В.П. Бойков (отв. ред.) [и др.]. — Минск: БНТУ, 2019. — С. 14–22. — Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/59035/14-22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. — Дата доступа: 10.10.2022.

2. Жданович Ч.И. Влияние реактивной мощности на тяговый КПД трактора с электромеханической трансмиссией / Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин // Актуальные вопросы машиностроения: сб. научн. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 10. — С.45–49.

УДК 62-33(075.8)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРОАППАРАТУРЫ ЗОЛОТНИКОВОГО ТИПА

В.В. Артемьев

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

Введение. Экономия материальных ресурсов является залогом успеха, как отдельного предприятия, так и экономики страны в целом. Уменьшение материальных затрат при проектировании гидросистем и их составных частей оказывает непосредственное влияние на снижение себестоимости и повышение рентабельности производства.

Отсутствие надежных методов расчета и проектирования бесконтактных уплотнений вынуждает затрачивать большие усилия на экспериментальную доводку гидроаппаратуры, получать конструкции, далекие от совершенства.

Рабочие температуры масел изменяется в широком диапазоне в зависимости условия эксплуатации аппаратуры золотникового типа т.е. при запуске отрицательная температура, а в летний период могут достигать 70⁰С. При высоких температурах вязкость уменьшается, вследствие чего растут утечки, а неверно выбранный зазор может привести к заклиниванию. Поэтому изучение закономерностей влияния вязкости рабочей жидкости на характеристики гидрораспределителя является важной и актуальной при разработке новой техники [1].

Цель работы установить зависимости перепада давления и утечек от температуры рабочей жидкости.

Основная часть. Для проведения исследований основным регулируемым параметром являлась температура масла. Исследования проводились на минеральном масле И-30А, температура изменения которого была выбрана в пределе $T=(0...120)^0\text{C}$, с дискретностью в 10⁰С.

В качестве контролируемых параметров были выбраны следующие: давление $P_{\text{ном}}=1...8$ МПа, расход $Q=25$ л/мин, время. Контроль осуществлялся датчиками специально разработанной измерительной системы с пневмогидроаккумуляторным источником рабочей жидкости.

Для определения утечки вследствие негерметичности золотника, гидрораспределитель переводился в начальное (нулевое) положение. При открытии крана управления пневмогидроаккумулятора в подводящей линии создавалось давление. Сбор жидкости осуществлялся через линию слива в мерный сосуд при непрерывном контроле времени [2].

Подготовка исследований начиналась с подготовки жидкости – нагрева (охлаждения) до заданной температуры.

При помощи устройства управления пропорциональным магнитом гидрораспределителя регулировалось значение силы тока, при которой начинается перемещение золотника распределителя, что соответствует силе перемещения золотника.

В результате проведённых экспериментальных исследований были построены графики, на которых отображаются функциональные зависимости утечек $\Delta Q = f(T)$ от температуры рабочей жидкости (рис. 1) и сил вязкого трения $R = f(T)$ на золотнике (рис. 2).

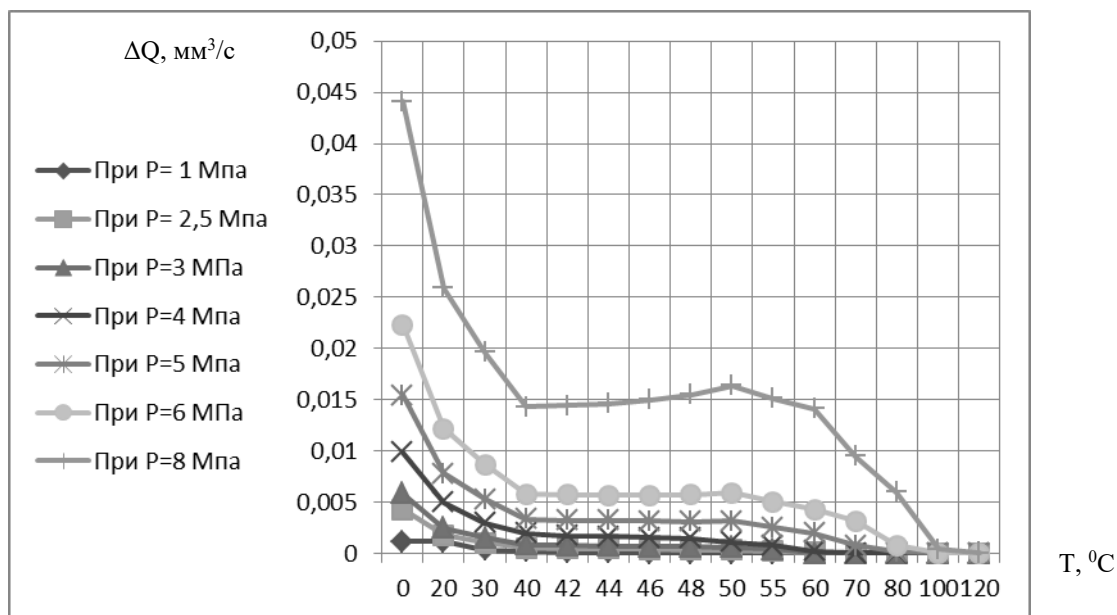
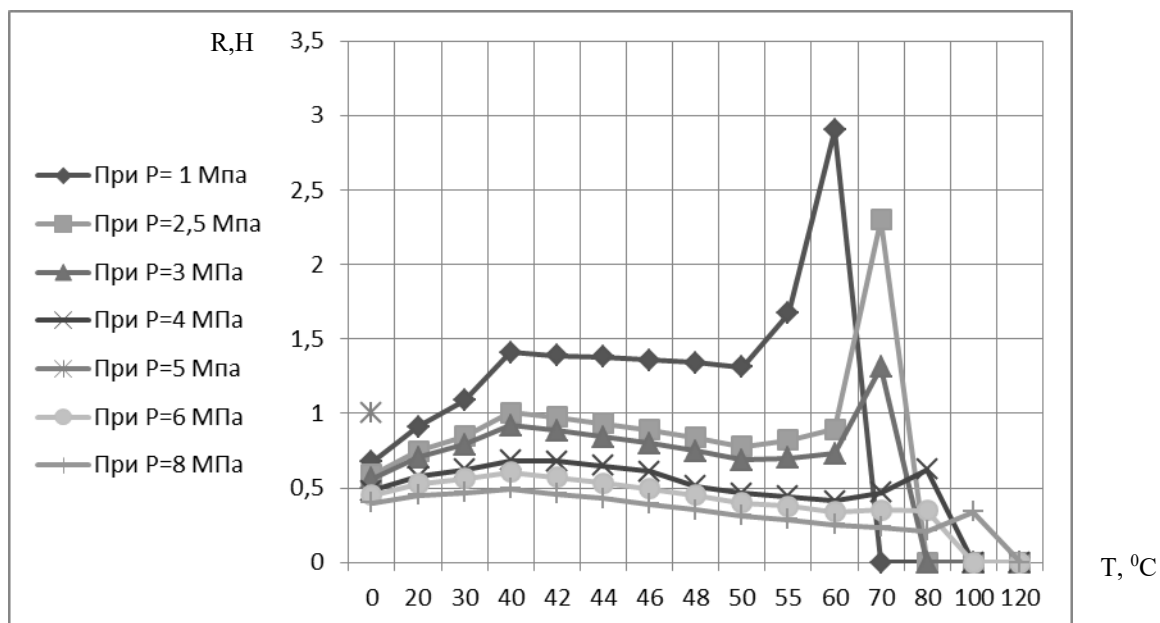


Рис. 1 – График зависимости: $\Delta Q = f(T)$

На рисунке 1 показаны графики зависимости утечек от температуры видно, что при заданных давлениях от 1 до 3 МПа и температурах от 0 до 80°C утечка постепенно падает, что связано с уменьшением зазора при повышении температуры, а при температурах от 100 до 120°C происходит снижение утечек вплоть до нуля. При давлениях от 5 до 8 МПа и температурах от 0 до 100°C утечки также постепенно падают, это также связано с уменьшением зазора, который компенсирует повышение утечек от уменьшения вязкости. Таким образом, величина утечек может быть определена по зависимости:

$$\Delta Q = -0,00002 \cdot T^3 + 0,0006 \cdot T^2 - 0,0055 \cdot T + 0,0181 \quad (1)$$

T – температура масла, °C;

Рис. 2 – График зависимости: $R=f(T)$

На рисунке 2 показаны графики зависимости силы вязкого трения от температуры. Видно, что при заданных давлениях от 1 до 8 МПа с температурами от 0 до 40⁰С, сила постепенно возрастает, что связано с уменьшением зазора при повышении температуры. При температуре 50⁰С наблюдается минимальная сила вязкого трения, а при температурах от 60 - 80⁰С наблюдается максимальное значение силы. Изменение перепада давления можно определить по зависимости следующего вида:

$$\Delta P = -0,0121 \cdot T^2 + 0,1533 \cdot T + 0,4226 \quad (2)$$

T – температура масла, ⁰С.

Таким образом с полученных математических моделей можно определить оптимальную температуру при помощи формулы следующего вида:

$$T = \sqrt[3]{\frac{0,0006 \cdot \Delta Q - 0,000001}{0,0036}} \quad (3)$$

$$T = -\sqrt{\frac{0,1533 \cdot \Delta P - 0,0648}{0,0121}} \quad (4)$$

Заключение.

1 На основе полученных графиков зависимости утечек и силы вязкого трения от температуры определено, что для оптимальной работы испытуемого гидрораспределителя при заданных давлениях от 1 до 8 МПа оптимальный диапазон температур должен составлять 48...50⁰С, т.к. при этих условиях обеспечивается минимальная сила вязкого трения с 1,3...0,3 Н и утечка (0,00003...0,0164 мм³/с).

2 При анализе результатов исследования установлено, что при заданном давлении 1 МПа при температурах от 70 до 120⁰С утечки падают вплоть до нуля, а силы резко возрастают, что свидетельствует о

заклинивании золотника в корпусе распределителя. При давлениях от 2,5 до 3 МПа с температурами от 80 до 120⁰С распределитель находится в заклиненном состоянии. При давлениях от 4 до 8 МПа заклинивание начинается при температуре 120⁰С.

3 На основании проведенной работы были установлены математические зависимости утечек от перепада давления и температуры для гидрораспределителя пропорционального золотникового типа с пружинным возвратом, что позволяет найти значения оптимальных температур при которых потери мощности гидропривода минимальны, а КПД максимален.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стасенко Д.Л. Гидравлические расчеты оборудования: практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Д.Л. Стасенко. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2015. – 36 с.

2. Влияние температуры на характеристики распределителя/ Артемьев В.В.// 1.4-я МНПК «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе» Гомель 2020г. – 208-201 с. : ил.

УДК 62-33(075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСАДОК ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

М.А. Одинцов

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

В середине XX в., в связи с резким развитием промышленности, энергетики и других отраслей, человечество столкнулось с проблемой загрязнения атмосферы и ухудшением генофонда планеты. Это привело к сокращению или полному уничтожению отдельных видов флоры и фауны, а также к снижению среднего показателя жизни человека. Проведенные исследования показали:

- 1) В некоторых случаях воздействие на экологию локальное;
- 2) В остальных – к экологическим проблемам приводят глобальные антропогенные или природные факторы.

Данная проблема присутствует и в сельскохозяйственной отрасли. Загрязнение в основном от ядохимикатов составляет 34,5% и от выбросов работы двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники около 55,6% (по итогам первого полугодия 2022 г.). В свою очередь это приводит к ухудшению плодородия почвы. Плодородие почвы определяет способность ее к обеспечению всех потребностей растений. К этим потребностям относится не только снабжение питательными веществами, но и обеспечение благоприятных для произрастания условий, хороший доступ влаги и воздуха. Эти параметры ухудшаются из-за не полного сгорания топлива и сопутствующих этому процессу взаимодействий.

Основными элементами при выбросах ухудшающие окружающую среду являются:

1. Окись углерода – ядовитый газ, образующийся при неполном сгорании топлива. При попадании в почву снижает способность переноса кислорода. Воздействие высоких уровней окиси углерода может привести к появлению "мертвой" почвы.
2. Диоксид азота – газ с высокой реакционной способностью, образующийся при сгорании топлива при высоких температурах. Диоксид азота вступает в реакции с водой и кислородом, образует азотную кислоту.
3. Диоксид серы – высокореактивный и едкий газ, образующийся при сгорании приводит к "деградации" почвы в целом.
4. Свинец – распространенный ингредиент во многих видах топлива. При выбросах в атмосферу ухудшает качество воздуха. В почве с

высоким содержанием свинца наблюдалось геометрическое снижение урожая.

В план развития сельскохозяйственной промышленности был включен критерий по охране окружающей среды. Одним из элементов данной программы является Закон «Об охране атмосферного воздуха» (Закон Республики Беларусь от 16.12.2008 №2-3). ". Настоящий Закон определяет правовые и организационные основы охраны атмосферного воздуха от выбросов загрязняющих веществ и направлен на сохранение, восстановление качества атмосферного воздуха, обеспечение экологической безопасности.

Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 N 1982-XII (ред. от 18.06.2019, с изм. от 18.12.2019) "Об охране окружающей среды". Охрана окружающей среды является неотъемлемым условием обеспечения экологической безопасности, устойчивого экономического и социального развития общества. Настоящий Закон устанавливает правовые основы охраны окружающей среды, природопользования, сохранения и восстановления биологического разнообразия, природных ресурсов и объектов и направлен на обеспечение конституционных прав граждан на благоприятную для жизни и здоровья окружающую среду.

Как было сказано выше, основным фактором загрязнения атмосферы, являются выбросы при сгорании топлива сельскохозяйственной техники. Главным отрицательным воздействием сельскохозяйственных агрегатов на экологию считается уплотнение почвы их ходовыми системами, а также выброс в атмосферу выхлопных газов двигателями.

Рассмотрим возможность снижения выбросов выхлопных газов на примере кормоуборочного комбайна FS80 с двигателем ЯМЗ 65856 мощностью 450 л.с. и расходом дизельного топлива 75 л/ч.

Сгорание дизельного топлива сопровождается выбросом в атмосферу до 14 кг/т сажи и до 5 кг/т топлива оксидов серы, т. е. в сумме - до 20 тыс. тонн токсичных продуктов на каждый 1 млн. тонн использованного топлива. Отработавшие газы содержат продукты полного и токсичные продукты неполного сгорания топлива, которые вызывают дымление, нагаро-,саже-, и коксообразование на горячих поверхностях двигателя. Основной причиной возникновения этих явлений - образование твердых частиц в зоне горения из-за неполного окисления в камере сгорания компонентов топлива и смазочного масла. В состав твердых частиц отработавших газов входят неокисленные элементы из топлив и смазывающих элементов. Химический состав топлива оказывает сильное влияние на выделение сажи и образование кокса. Примеси кислород- и серосодержащих соединений увеличивают, а азотсодержащих - снижают интенсивность дымо-, сажеобразования. Сильное влияние на сажеобразование оказывают металлсодержащие соединения (присадки).

Mn, Ba, щелочные и щелочноземельные металлы катализируют процессы окисления, уменьшают коагуляцию твердых частиц, благодаря чему снижается скорость образования сажи и кокса при горении дизельных топлив. Предполагается, что щелочноземельные металлы диспергируют частицы сажи, а соединения переходных металлов, окисляясь и раскисляясь, переносят кислород с первых стадий горения (с избытком кислорода) на последующие стадии (с недостатком кислорода).

Для снижения отрицательной характеристики выбросов газов следует применять специальные присадки для дизельных двигателей.

Анализ различных инженерных подходов моделирования процессов горения, протекающих в двигателе внутреннего сгорания, показал, что пространственное распределение полей концентрации реагирующих веществ, температур, давлений и скоростей в лабораторных условиях смоделировать сложно. С целью решения этой проблемы используют методику пространственно-временного предсказания процессов, протекающих в различных элементах камеры сгорания в конкретный момент времени. За основу моделирования условий работы двигателя берутся процессы, протекающие в начале и в конце такта расширения, а также в конце такта выпуска. Именно в конце такта выпуска дизельного двигателя токсичные компоненты (СО, сажа) выделяются в наибольшей степени. Поэтому, для исследования влияния добавок в дизельное топливо на снижение выбросов загрязняющих веществ моделируются условия, наблюдаемые в цилиндре двигателя под конец такта выпуска: температура составляет до 900 °С.

Для изучения эмиссии токсичных газов, образующихся при сжигании топливных эмульсий, проводят анализ вредных компонентов отработанных газов и анализируется при помощи газоанализатора ECOM-SG PLUS. На этом этапе выявлялись возможные составы и компоненты смесей, снижающие эмиссию вредных выбросов.

Установлено, что испарение и окисление модифицированных топливных эмульсий протекают при более высоких температурах по сравнению с дизельным топливом без добавок. Горение топлива сопровождается выделением в газовую фазу вредных выбросов: оксидов азота, углерода, серы, несгоревших углеводородов, которые определяются методом ИК-Фурье. Результатом стало то, что вводимые спиртовые добавки, а также амидный компонент снижают эмиссию вредных выбросов в окружающую среду: по оксиду углерода на 50-75%, по оксиду азота - на 60-70%. При этом наблюдается снижение содержания в отходящих газах углеводородов в 2-2,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон РБ № 1982-ХІІ от 26.11.1992. Об охране окружающей среды [электронный ресурс]. Режим доступа -

<https://pravo.by/document/guid=3871&p0=v19201982>. Дата доступа-03.10.2022.

2. Результаты исследования по применению антидымных присадок в дизельное топливо [электронный ресурс].

Режим доступа - <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniya-po-primeneniyu-antidymnyh-prisadok-v-dizelnoe-toplivo>. Дата доступа – 10.10.2022.

3. Применение присадок в топливах для автомобилей: Справ. изд. – М.: Химия, 2000-232 с. – Данилов А.М.

4. Присадки к топливам и смазочным материалам. Учеб. пособ.:2017-185., Дорогичинская В.А., Данилов А.М., Тонконогов Б.П.

УДК 631.312.4.072.3

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ТРАКТОРА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ С НАВЕСНЫМ ПЛУГОМ

В.Б. Попов¹, Г.Г. Кудренко²¹УО «Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь;²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Основная задача механической обработки почвы – создание благоприятных условий для развития культурных растений с целью получения высоких и устойчивых урожаев.

Рациональная реализация повышенной мощности энергонасыщенных тракторов на современном этапе осуществляется путем создания широкозахватных машин.

Целью работы является определение тяговых усилий плуга и подбор тяговой машины.

Плоская модель МН ПНУ трактора (рис. 1). При расчете ПНУ трактора с навесным плугом весом 0.77кН, определяются координаты подвижных шарниров МН и характерных точек замкнутой кинематической цепи. В частности, координаты оси подвеса МН – П56 определяются по выражениям:

$$X_{56}(S) = X_{05} + L_{56} \cdot \cos(\varphi_5(S)); \quad Y_{56}(S) = Y_{05} + L_{56} \cdot \sin(\varphi_5(S)),$$

где X_{05} , Y_{05} – координаты неподвижного шарнира Π_{05} на раме трактора; φ_i – угол, образуемый соответствующим звеном, в правой декартовой системе координат.

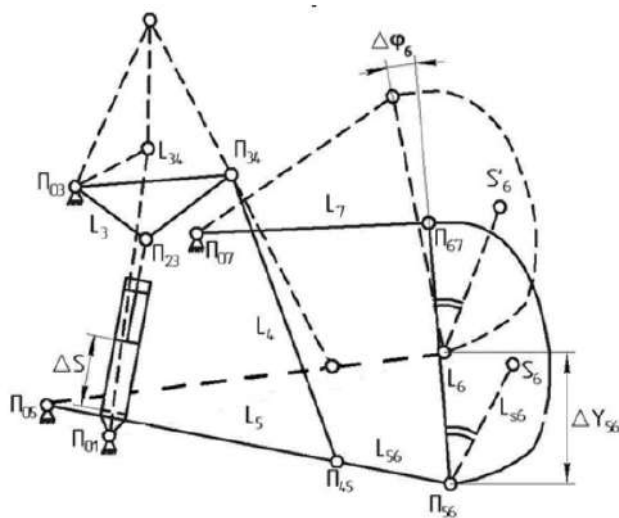


Рис. 1 – Схема механизма навески трактора с указанием координат точек

Координаты характерных точек центра тяжести НМ определяются в соответствии с формулами:

$$\begin{aligned} X_{S6}(S) &= X_{56} + L_{56} \cdot \cos(\varphi_6(S) + \varphi_{S6}); \\ Y_{S6}(S) &= Y_{56} + L_{56} \cdot \sin(\varphi_6(S) + \varphi_{S6}), \end{aligned}$$

где L_{S6} и φ_{S6} – характеристики вектора, проведенного от оси подвеса в центр тяжести рабочего орудия [1].

В результате кинематического анализа определяются аналитические выражения для передаточных чисел МН на оси подвеса – $I_m(S)$, для конкретной НМ – $I_{S6}(S)$, а также аналог ее угловой скорости – $\varphi'_6(S)$:

$$I_m(S) = \varphi'_3(S) \cdot U_{53}(S) \cdot L_{56} \cdot \cos(\varphi_6(S)),$$

где $\varphi'_3(S)$ – аналог угловой скорости звена поворотного рычага; $U_{53}(S)$ – передаточное отношение; L_{56} , $\varphi_5(S)$ – длина нижней тяги и угол, образуемый ею в правой декартовой системе координат.

$$I_{S6}(S) = \varphi'_3(S) \cdot U_{53}(S) \cdot (L_{56} \cdot \cos(\varphi_5(S)) + U_{65}(S) \cdot L_{56} \cdot \cos(\varphi_6(S) + \varphi_{S6})),$$

где L_{S6} , φ_{S6} – вектор, равный расстоянию от оси подвеса до центра тяжести НМ, и угол между ним и НМ, представленной звеном L_6 .

$$\varphi'_6(S) = \varphi'_3(S) \cdot U_{63}(S) = \varphi'_3(S) \cdot U_{53}(S) \cdot U_{65}(S),$$

где $U_{63}(S)$ – передаточное отношение, характеризующее соотношение угловых скоростей звеньев L_{56} и L_6 .

Зная $I_{S6}(S)$, можно, не выполняя силовой анализ МН, определить полезную нагрузку – $F(S)$, приведенную к рабочим гидроцилиндрам МН:

$$F(S) = P_6 \cdot I_{S6}(S)$$

Расчет усилий производят по схеме навесной машины в рабочем положении (рис. 2).

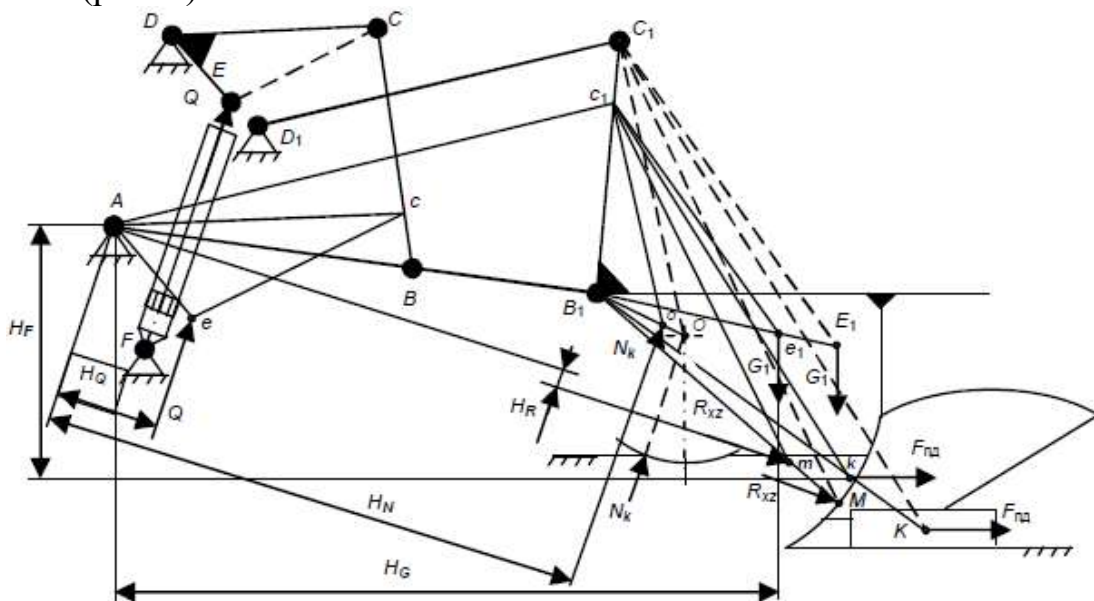


Рис. 2 – Схема к определению усилия подъема навесного плуга (рабочее положение)

Более точным является расчет усилий методом определения передаточных отношений между звеньями. Так как данный способ учитывает не только расстояние между фиксированной точкой и точкой приложения усилия, но и отношения двух звеньев относительно друг друга.

$$U_{BCDC}(S) := \frac{L_{DC} \cdot \sin(\psi_5(S) - \psi_{34}(S))}{L_{BC} \cdot \sin(\psi_4(S) - \psi_5(S))};$$

$$U_{AB_1DE}(S) := \frac{L_{DC} \cdot \sin(\psi_{34}(S) - \psi_4(S))}{L_{AB_1} \cdot \sin(\psi_5(S) - \psi_4(S))};$$

$$U_{AB_1B_1C_1}(S) := \frac{L_{BB_1} \cdot \sin(\psi_7(S) - \psi_5(S))}{L_{B_1C_1} \cdot \sin(\psi_6(S) - \psi_7(S))};$$

$$U_{D_1C_1B_1C_1}(S) := \frac{L_{BB_1} \cdot \sin(\psi_5(S) - \psi_6(S))}{L_{D_1C_1} \cdot \sin(\psi_7(S) - \psi_6(S))}.$$

Формулы определения передаточных чисел:

- На оси подвеса: $Im(S) := \psi'_5(S) \cdot L_{AB_1B_1C_1} \cdot \cos(\psi_5(S)).$

- Основное передаточное число:

$$IS(S) := Im(S) + \psi'_6(S) \cdot LS_6 \cdot \cos(\psi_6(S)).$$

Формулы определения грузоподъемности:

$$GS(S) := Pc \cdot \eta \cdot \frac{SS}{IS(S)}, \quad Gm(S) := Pc \cdot \eta \cdot \frac{SS}{Im(S)};$$

где P_c – давление в гидросистеме;

η – КПД подъемно-навесного устройства;

SS – площадь поршня гидроцилиндра со стороны нагнетающей магистрали:

$$SS := \pi \cdot D_c^2 \cdot 0.25;$$

где D_c – диаметр поршня.

Общее тяговое сопротивление плуга (формула В.П. Горячкина) – рациональная формула силы тяги плуга:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 9,8 fm + K_1 abn + \varepsilon abnv^2.$$

Она позволяет определить основные факторы, влияющие на тяговое сопротивление плуга, и направления его снижения. Увеличение массы и скорости движения плуга, неправильная регулировка, нарушение технического состояния и неправильная установка прицепа приводят к росту тягового сопротивления плуга и затрат энергии на вспашку. [3]

В процессе работы тяговое сопротивление плуга, непрерывно изменяется. Поэтому при составлении агрегатов используют среднее его значение, которое определяют измерением тягового усилия при вспашке или расчетом с учетом известного значения удельного сопротивления почвы K_c :

$$P = K_c abn.$$

Вредное сопротивление P_1 для конкретных условий можно принять постоянным и пропорциональным массе плуга:

$$P_1 = 9,8 fm,$$

где f – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа почвы и агрофона (для жнивья $f = 0,5$).

Полезное сопротивление можно представить в виде двух составляющих: сопротивления P_2 , возникающего при деформации пласта, и сопротивления P_3 , возникающего при отбрасывании пласта и сообщении ему кинетической энергии.

Сопротивление P_2 пропорционально площади поперечного сечения пласта:

$$P_2 = K_1 abn,$$

где K_1 – коэффициент, характеризующий сопротивление пласта различных деформаций: $K_1 = 20\text{--}50$ кН/м²; a – глубина вспашки, м; b – ширина захвата одного корпуса, м; n – число корпусов.

Сопротивление P_3 пропорционально площади поперечного сечения отбрасываемых пластов и квадрату скорости движения агрегата:

$$P_3 = \varepsilon abnv^2,$$

где ε – коэффициент, учитывающий форму рабочей поверхности корпуса плуга и свойства почвы, Н с²/м⁴; v – скорость движения агрегата, м/с.

Таким образом, при расчете сил действующих на механизм навешивания трактора и усилия действующие на плуг выбирают по общему сопротивлению плуга подбирают марку трактора и соответствующую передачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М. Наука, ил. 1988 – 590с.
2. Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей // Вестник ГГТУ им.П.О. Сухого 2000, №2, с. 25-29.
3. Сельскохозяйственные машины (устройство, работа и основные регулировки): учеб. пособие / В.А. Романенко [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 232 с

УДК 621.762

ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОГО КОМПОЗИТА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПОРИСТОСТЬЮ БРОНЗОВОЙ МАТРИЦЫ

С.В. Шишков, А.Н. Швецов

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

Наиболее широко из содержащих фторопласт-4 материалов для решения задач триботехники применяется металлофторопластовый материал. Он состоит из конструкционной основы, пористого слоя бронзы толщиной 0,3... 0,4 мм, поры которого заполнены смесью фторопласта-4 с дисульфидом молибдена, и тонкого прирабочного слоя этого же состава [1].

В УО «ГГТУ имени П.О. Сухого» разработан способ изготовления антифрикционного биметаллического металлофторопластового композиционного материала [2]. Отличительной особенностью разработанной технологии является то, что она позволяет получать на стальной подложке бронзовый слой различной пористости, что в свою очередь даёт возможность введения различного количества антифрикционного наполнителя.

Из данного материала простыми операциями листовой штамповки можно изготавливать различные детали триботехнического назначения: втулки радиальных подшипников, втулки с отбортовкой радиальноупорных подшипников, вкладыши сферических шарнирных подшипников и др. Основным требованием, предъявляемым к материалам, идущим на изготовление деталей в штампах, является их пригодность к штамповке. Поэтому материалы, поступающие в цеха холодной штамповки, подвергаются целому ряду проверок и испытаний.

Ввиду того, что данный материал представляет собой многослойный композит, возникает необходимость дополнительной проверки адгезии бронзофторопластового покрытия к стальной подложке.

Испытания образцов проводились методом перегиба по ГОСТ 13813-68 до момента визуального образования трещины в покрытии либо отслоения покрытия от стальной подложки.

Для проведения испытаний использовались образцы с характеристиками, представленными в таблице 1.

Для более удобного контроля момента образования трещины опытные исследования проводились отдельно с двухслойными

(сталь+пористый бронзовый слой) и трехслойными (сталь+бронзофторопластовый слой) образцами (рис. 1).

Таблица 1 – Характеристика металлофторопластового материала

Толщина стальной подложки, мм	Толщина бронзового слоя, мм	Толщина бронзо-фторопластового слоя, мм	Пористость бронзового слоя, %
1,0	0,3	0,35	30
1,0	0,35	0,40	40
1,0	0,22	0,25	50

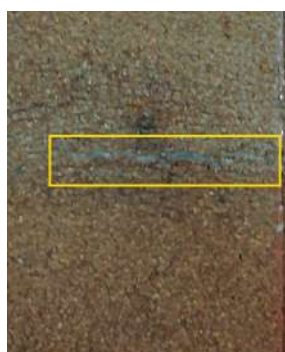


а)



б)

Рис. 1 – Испытания образцов: а) двухслойный; б) трехслойный.



а)



б)



в)

Рис. 2 – Образцы после испытаний (образование трещины): а) сталь+пористый бронзовый слой с пористостью 30%; б) сталь+пористый бронзовый слой с пористостью 40%; в) сталь+бронзофторопластовый слой с пористостью 50%.

Оценка адгезионных свойств показала, что:

– у материалов с толщиной бронзофторопластового покрытия 0,35 – 0,40 мм отслоение или образование трещины происходит раньше разрушения стальной подложки (рис. 2, а, б);

– у материалов с толщиной бронзофторопластового покрытия 0,25 мм отслоение или образование трещины происходит одновременно с разрушением стальной подложки (рис. 2, в).

В связи с этим при изготовлении подшипников скольжения штамповкой (гибка, свёртка) целесообразно проводить корректировку минимальных радиусов гибки с учетом адгезионных свойств покрытия:

– для материалов с толщиной бронзофторопластового покрытия 0,35 – 0,40 мм радиусы гибки необходимо увеличивать в 1,5 – 2 раза;

– для материалов с толщиной бронзофторопластового покрытия 0,25 мм гибку допустимо проводить штамповку с радиусами, применимыми для стальной подложки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Неметаллические конструкционные материалы. Т. II-4 / Ю.В. Антипов, П.Г. Бабаевский, Ф.Я. Бородай и др.; Под ред. А.А. Кулькова. / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 2005.-464 с.; ил.

2. Бобарикин Ю.Л., Шишков С.В. Способ изготовления полосового антифрикционного металлофторопластового материала. - Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, №3 2011г. с.3-9.

УДК 621.793

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНОСТИ РЕАЛЬНОГО КОНТАКТА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА

Н.Ф. Соловей, Д.В. Рехлицкая, Л.А. Мороз

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

Разработка фрикционных узлов кормо- зерноуборочной техники, повышающих ее надежность и долговечность, неразрывно связана с изменением физических процессов, протекающих на поверхностях трения. Сложная природа явлений, возникающих при трении, приводит к необходимости использовать теории физики твердого тела, физики поверхностных явлений, металлографии, спектрографии, механики деформируемых сред и др.

Долговечность с/х техники нередко определяется не поломками отдельных узлов и агрегатов, а износом поверхностей трения. Превышение допустимых норм износа вызывает дисбаланс, вибрацию, удары при пуске и остановке. Выход из строя многотонного комбайна может произойти вследствие износа и потери работоспособности небольшой детали, хотя сам износ будет незначительным и не превысит несколько граммов.

Согласно ГОСТ 27674-88: «изнашивание – это процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличение его остаточной деформации при трении, выраженный изменением размеров и (или) формы тела. Износ – это результат изнашивания, выраженный в известных единицах (длины, объема, массы)». Процесс изнашивания характеризуется его интенсивностью.

Нами проведены исследования деталей технологического тракта кормоуборочного комбайна КВК-800 №1809 Накладок КВК 0144421, КВК 0144423 с покрытием из стали 95X18, нанесенным методом гиперзвуковой металлизации. Процесс нанесения покрытия осуществлялся на установке АДМ-10 по следующему режиму:

Диаметр применяемой электродной проволоки, мм	1,6
Скорость подачи проволоки, м/мин.....	4,0
Электродвигатель привода подачи проволоки:	
номинальная мощность, кВт.....	0,045
номинальная частота вращения, об/мин.....	6000
Редуктор привода подачи.....	червячный
Токоподвод на электродные проволоки:	
напряжение, В.....	29,5±0,4
рабочий ток, А.....	127±7
Рабочее давление газов, МПа:	

пропан.....	0,34
воздух.....	0,6
Общий расход воздуха при 6 атм., м ³ /ч.....	60±5
Расход пропана, м ³ /мин.....	1,0±0,1

Температуру поверхности при нанесении покрытия измеряли пирометром Нимбус-530. Верхний предел температуры поверхности при нанесении покрытия - 110⁰С. Контроль толщины покрытия в процессе нанесения осуществлялся штангельциркулем. Определение топографии поверхности покрытия проводили методом построения сканограмм с использованием трехкоординатно-измерительной машины МСАх ф. Nikon Metrology (тип «Рука»). Измерение шероховатости производилось с помощью профилометра Surftest SJ-210 ф. Mitutoyo. Напыление выполнялось пошаговым перемещением металлизатора в вертикальной плоскости с шагом равным диаметру факела с последующим горизонтальным перемещением. Схема перемещения представлена на рисунке 1.

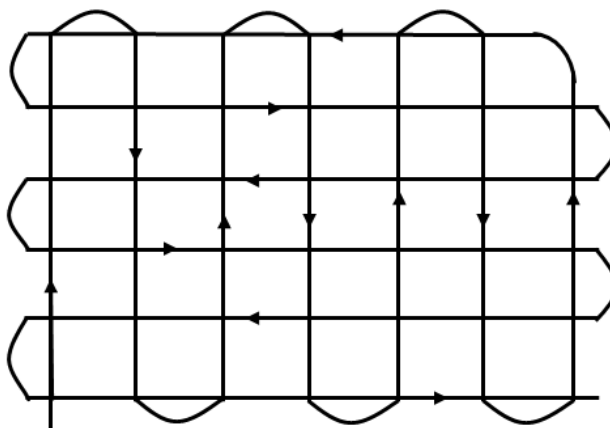


Рис. 1 – Перемещение металлизационного аппарата при напылении

Интенсивность износа определялась дискретно по измерению исходной толщины покрытия деталей технологического тракта кормоуборочного комбайна КВК-800 №1809 и после заготовки кормовой массы 11288т.

В процессе эксплуатации комбайна выявлено воздействие на поверхность покрытия некоторых активных веществ, содержащихся в зеленой массе заготавливаемых кормов (органические кислоты, жидкая фаза измельченных трав и грубостебельных культур), ведущее к изменению его механических свойств. При разнице микронеровностей шероховатой поверхности у их основания происходит расклинивающее действие молекул, облегчающее зарождение трещин (эффект Ребиндера). В результате эффекта Ребиндера при трении кормовой массы по покрытию образуется слой с низким сопротивлением сдвигу, что ведет к увеличению интенсивности износа.

Установлено, что в процессе напыления на поверхности детали формируется волнистость с периодом близким к шагу напыления, которая представляет собой совокупность квазипериодических неровностей с шагом существенно большим базовой длины, на которой определялись параметры шероховатости R_a и R_z . В процессе нанесения покрытия и эксплуатации колебания R_a составили 300%, при этом интенсивность износа менялась $(2,66 \dots 13,3) \cdot 10^{-6}$ мм/т. Зафиксированные значения интенсивности износа $(2,03 \text{ и } 44,3) \cdot 10^{-6}$ мм/т соответствовали точкам покрытия с крупными частицами распыляемой проволоки, что явилось следствием нарушения стабильности процесса напыления.

Совершенствование режимов и технологии нанесения покрытий аустенитных сталей типа 95X18 на детали технологического тракта кормоуборочного комбайна позволит формировать покрытие с R_a , характерным для процесса установившегося режима трения и интенсивностью износа $(5,3 - 8,3) \cdot 10^{-6}$ мм/т.

УДК 631.3-52: 631.3.072.2

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ «СИЛЫ НА КРЮКЕ» МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

В.Б. Попов¹, Г.Г. Кудренко²¹УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь;²Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Работы, связанные с обработкой почвы мобильными энергетическими средствами (МЭС) - тракторами или универсальными энергетическими средствами (рис.1), являются наиболее энергоёмкими тяговыми технологическими операциями. В растениеводстве такой операцией является пахота, представляющая рыхление почвы на глубину 0.20...0.27м с допускаемыми по агротребованиям отклонениями. Важной характеристикой навесного пахотного агрегата является положение мгновенного центра вращения (МЦВ) (рис.1) навесной машины в рабочем режиме [1-3], которое определяют устойчивость хода плуга, характер его заглубления в почву, нагрузку на опорном колесе и перераспределение нагрузки по осям МЭС.

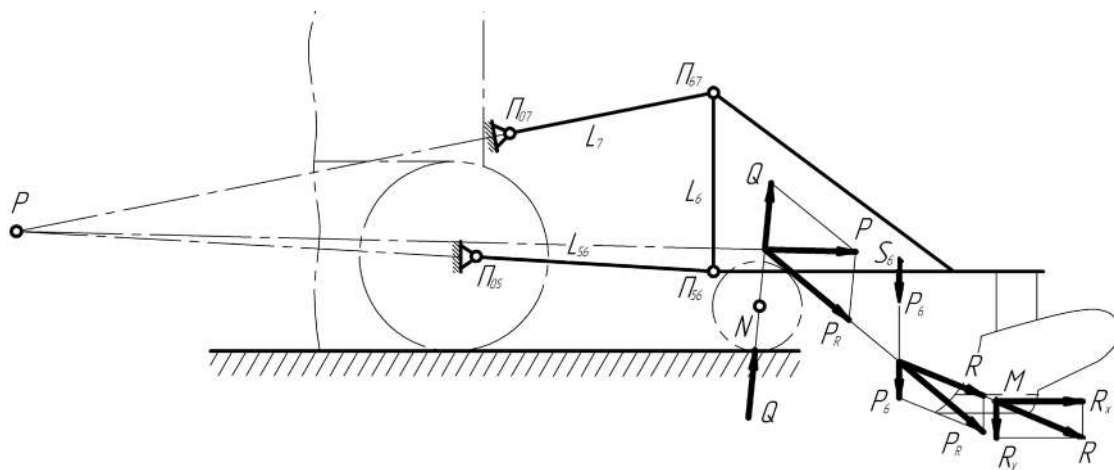


Рис.1 – Схема формирования силы сопротивления плуга

Положение подвижных шарниров Π_{56} и Π_{67} и характерной точки S_6 - центра тяжести плуга, жестко связанной со звеном L_6 определяется в результате выполнения процедуры геометрического анализа кинематической цепи, включающей МН и навесную машину [4].

На навесной плуг (рис.1) действуют: сила тяжести P_6 , приложенная в точке S_6 , сила сопротивления плуга R , приложенная в точке M и сила

реакции на опорном колесе Q , приложенная в точке N его контакта с почвой (рис.1). Реакция на опорное колесо навесного плуга может быть определена из уравнения моментов упомянутых сил относительно МЦВ для чего необходимо определить координаты характерных точек (S_6, N, M)

Определение координат характерных точек плуга рассмотрим на примере характерной точки центра тяжести плуга S_6 . Координаты центра тяжести плуга (рис. 1) относительно точки P определяются для рабочего положения оси подвеса – Π_{56} .

$$\begin{aligned} X_{S_6}(P) &= [X_P] + X_{S_6} + L_{S_6} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{S_6}) . \\ Y_{S_6}(P) &= [Y_P] + Y_{S_6} + L_{S_6} \cdot \sin(\varphi_6 + \varphi_{S_6}) \end{aligned}$$

Определение координат точек N и M выполняется методически аналогично.

В результате вертикальная составляющая силы Q рассчитывается по выражению:

$$Q_Y = \frac{P_6 \cdot X_{S_6}(P) + R_y \cdot X_M(P) - R_x \cdot Y_M(P)}{X_N(P) + \mu \cdot Y_N(P)},$$

где R_x и R_y – компоненты обобщенного сопротивления рабочих органов плуга.

С учетом потерь на перекачивание опорного колеса, учитываемых горизонтальной составляющей Q_x величина силы Q определяется по выражению:

$$Q = Q_Y \cdot \sqrt{(1 + \mu^2)},$$

Сила P_R , учитывающая совместное действие силы тяжести и обобщенного сопротивления рабочих органов плуга определяется по выражению:

$$P_R = \sqrt{(P_6^2 + R^2 + 2P_6 \cdot R \cdot \sin(\theta))},$$

В результате сила тягового сопротивления движению P определяется из параллелограмма сил (рис.1) по выражению:

$$P = \sqrt{(Q^2 + P_R^2 - 2Q \cdot P_R \cos \beta)}$$

Сила тягового сопротивления P действует под углом α к горизонту, который определяется по выражению:

$$\alpha = \arctg \left[\frac{\sin(\varphi_5 - \varphi_7)}{\cos \varphi_5 \cdot \cos \varphi_7} \right]$$

Плечо действия силы тягового сопротивления движению P рассчитывается по выражению:

$$\rho = Y_p \cdot \cos \alpha - (X_p - \mu \cdot r'') \cdot \sin \alpha$$

В ходе проделанной работы были получены аналитические выражения для расчета положения МЦВ навесной машины, однозначно связанные с параметрами МН, что позволяет оперативно оценивать тот или иной вариант МН МЭС на его соответствие техническим требованиям [5,6] при агрегатировании с плугом в рабочем режиме.

Выражения для расчета величины и направление силы сопротивления движению пахотного агрегата и аналитически определенное плечо действия этой силы позволяют в режиме автоматизированного проектирования выполнить многовариантный анализ “силы на крюке” МЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амельченко П.А. Агрегатирование тракторов «Беларусь»: учеб. пособие / П.А. Амельченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шатуня. – Мн.: Ураджай, 1993. – 302 с.
2. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин/ Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1977. – 326с.: ил.
3. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учебное пособие / В.А. Скотников [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. - 383с., ил.
4. Попов В.Б. Функциональная математическая модель анализа подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств – Механика - 2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теорет. и прикладной механике / Объедин. Ин-т машиностроения НАН Белоруси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. Минск, 2011. – т.1. с. 169-176. Справочник по с/х машинам

УДК 631.3-1/-9

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ В КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

К.А. Грабок, К.Ю. Козусев

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

В процессе эксплуатации при движении сельскохозяйственных машин по почвам и грунтам с неровностями происходят колебательные процессы, которые оказывают значительное динамическое воздействие на детали машины. Если у колесных комбайнов снижение данного динамического воздействия осуществляется за счет упругости шин, то у гусеничных машин для этого используется система подвески.

Подвеска представляет собой группу узлов и деталей, осуществляющих передачу усилий от опорных катков к корпусу машины. Подвеска должна обеспечивать плавность движения машины по неровной поверхности и при этом не должна ограничивать скорость ее движения. К основным узлам подвески можно отнести упругие и демпфирующие элементы (амортизаторы). Упругие элементы предназначены для смягчения динамических нагрузок вызванных толчками и ударами, возникающих при движении по неровной поверхности, а демпфирующие для затухания колебаний корпуса машины. Функции данных узлов могут выполнять как различные, так и один и тот же элемент.

Конструктивных вариантов исполнения подвески гусеничных машин имеется значительное множество. По характеру кинематических связей различают жесткие, полужесткие и упругие подвески. Жесткая подвеска позволяет получить на мягкой почве близкое к равномерному распределению нагрузки по каткам, что улучшает сцепление гусеницы и снижение уплотняющего воздействия на почву. Но, учитывая большую неподрессоренную массу, при движении по плотным и неровным грунтам с повышением скорости вследствие ударов возникают значительные динамические нагрузки, передаваемые на корпус машины. В то же время упругие подвески обеспечивают наилучшие показатели плавности хода машины, но имеют неравномерное распределение давления по длине опорной поверхности [1]. Как показывает практика в конструкции комбайна наиболее рационально использовать упругую многобалансирную подвеску с резиноармированной гусеницей, так как это позволяет снизить удельное давление и негативное воздействие на почву, а также повысить проходимость машины [2].

Необходимость обеспечить плавность хода машины предъявляет противоречивые требования к характеристике упругости подвески. Упругость подвески представляет собой зависимость нормального усилия Q на опорный каток от его вертикального перемещения h . С одной стороны для предотвращения пробивания подвески она должна иметь большой запас потенциальной энергии, который может быть увеличен либо за счет увеличения полного хода катка, либо за счет увеличения модуля жесткости подвески. Увеличение полного хода катка ограничено компоновкой машины, а увеличение жесткости подвески ведет к увеличению динамических нагрузок на узлы машины и потере скорости движения. Повышение жесткости подвески необходимо также и для предотвращения «галопирования» машины, которое возникает при мягкой подвеске без использования амортизирующих элементов. С другой стороны, для увеличения плавности движения машины жесткость подвески наоборот, необходимо уменьшать [3]. Основное распространение на самоходной гусеничной сельскохозяйственной технике получили подвески с пружинами, которые дают линейную характеристику упругости (Рис. 1, кривая 1). Решение проблемы плавности хода машины с линейной характеристикой упругости подвески может быть лишь компромиссным и далеким от оптимального. Для решения данной проблемы можно использовать подвески с нелинейной характеристикой упругости (рис. 1, кривые 2 и 3), такие характеристики могут обеспечить пневмогидравлические подвески.

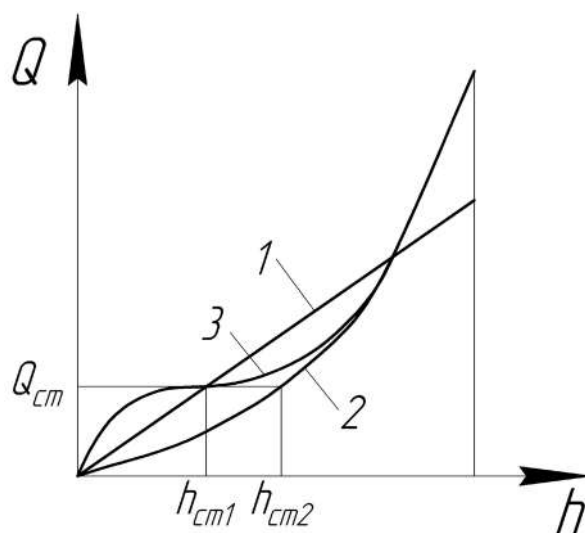


Рис. 1 – Характеристики подвески

Нелинейные характеристики позволяют иметь различную жесткость при различных значениях хода опорных катков, желательно, в соответствии с требованиями, сформулированными выше, иметь небольшую жесткость при движении по высокочастотному профилю с

малым значением хода катков и высокую жесткость при движении по профилю с высокой амплитудой неровностей.

Руководствуясь указанной информацией, с целью дальнейшего развития в перспективном направлении, НТЦК была разработана конструкция гусеничной тележки для самоходной рисоуборочной косилки на гусеничном ходу (рис. 2).

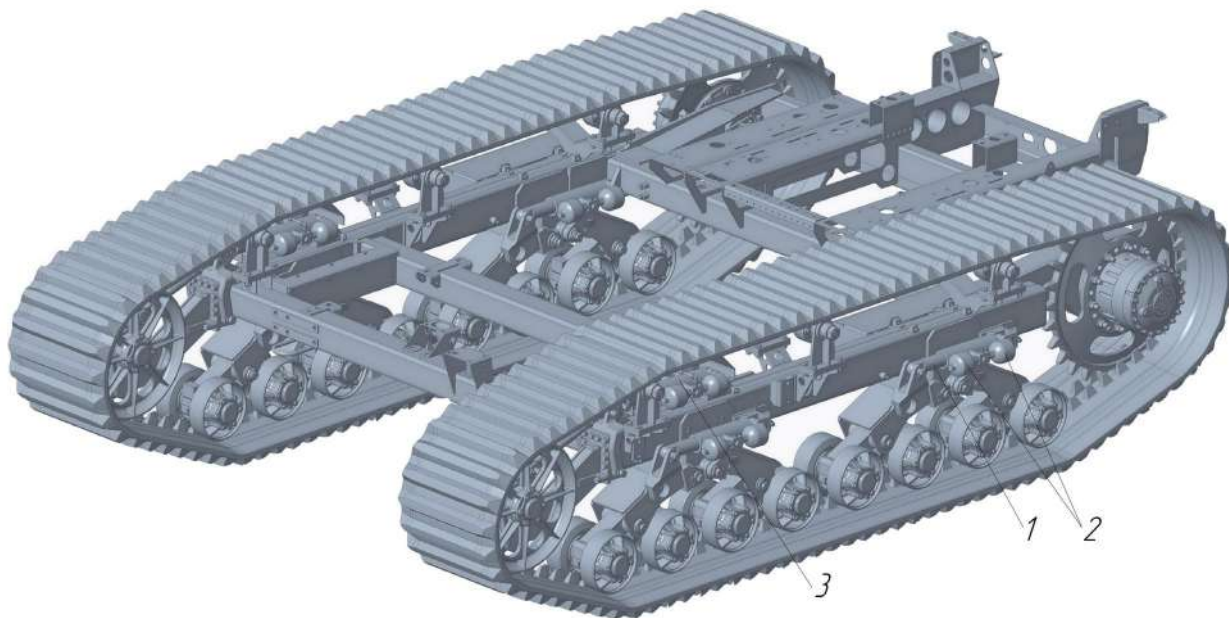


Рис. 2 – Общий вид гусеничной тележки самоходной рисоуборочной косилки с гидропневматической подвеской: 1 – гидроцилиндр подвески; 2 – пневмоаккумулятор; 3 – гидроцилиндр механизма натяжения

Тележка выполнена с упругой многобалансирной подвеской, в качестве системы подрессоривания применены гидроцилиндры с пневмогидроаккумуляторами. В ходе проектирования было выполнено виртуальное моделирование движения косилки с данной тележкой [4], а также проведены необходимые расчеты, которые показали, что теоретически предлагаемая конструкция подвески обеспечивает необходимые параметры жесткости и частоты колебаний корпуса машины. Окончательный вывод о правильности принятых конструктивных решений и работоспособности тележки с гидропневматической подвеской можно будет сделать после испытаний машины в полевых условиях.

В целом же гидропневматическая подвеска кроме указанного выше достоинства в виде нелинейной характеристики открывает ряд перспективных направлений дальнейшего развития: возможность точной настройки подвески за счет индивидуальной накачки пневмоаккумуляторов, управление положением корпуса машины в зависимости от установленного навесного оборудования, клиренсом, возможность настройки подвески под различные условия движения, автоматическое управление всей подвеской с целью стабилизации корпуса и предотвращения «галоупирования». При всех своих достоинствах

гидропневматическая подвеска обладает рядом недостатков. К наиболее значимым недостаткам данного типа подвески можно отнести более сложную конструкцию в сравнении с линейными пружинными подвесками, а также влияние температуры элементов гидропневматической рессоры на параметры подвески. Так при движении гусеничной машины по неровной поверхности с ростом скорости существенно увеличивается энергия колебаний корпуса, превращаемая гидропневматическими элементами подвески в тепловую энергию. При разогреве и расширении газа и жидкости рессор происходит повышение давления в рабочих полостях рессор и механизма натяжения, что приводит к изменению жесткости подвески, увеличению нагруженности узлов ходовой части, а также снижению надежности и долговечности [5]. Для снижения влияния температуры на характеристики подвески необходимо применять дополнительные конструктивные решения, что еще больше усложняет конструкцию подвески.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.В. Фролов (пред) и др. М.: Машиностроение. М38 Колесные и гусеничные машины. Т.IV-15 / В.Ф. Платонов, В.С. Азаев, Е.Б. Александров и др.; Под общ. ред. В.Ф. Платонова. 1997. – 688 с.
2. Экспериментальная оценка воздействия на почву зерноуборочных комбайнов на резиновых гусеницах на уборке сои в Амурской области. Липкань А.В., Самсонов Р.Е., ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии.
3. Расчет и конструирование гусеничных машин. Носов Н.А., Галышев В.Д., Волков Ю.П., Харченко А.П., Л., «Машиностроение», 1972 г. – 560 с.
4. Моделирование гусеничного движителя самоходной рисовой косилки. А.А. Калиновский, Ю.В. Чупрынин, А.Я. Машук. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: Сборник тезисов докладов 5-ой международной научно-практической конференции – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2021. – 290 с.
5. Модернизация ходовой части гусеничной машины. Коробкин В.А., Котлобай А.Я., Бойков В.П., Котлобай А.А., Тамело В.Ф. Наука и техника: международный научно-технический журнал. – 2013. – № 4. – С. 8–16.

СОДЕРЖАНИЕ

Секционные статьи

Секция № 1 «Тенденции и направления развития уборочной техники и научно-техническое сотрудничество»

СИНЕРГИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МЕТОДИК КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА 3D-МОДЕЛЕЙ. ВЕРИФИКАЦИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

И.А. Кольцова, Н.В. Грудина 3

СИНЕРГИЯ В ВОПРОСАХ КАЧЕСТВА 3D-МОДЕЛЕЙ

И.А. Кольцова, Н.В. Грудина 9

МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В РЕЖИМЕ ON-LINE НА ПРИМЕРЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

М.Р. Курамшин, В.А. Любич, И.В. Герасименко, В.А. Лоскутов..... 19

К ВОПРОСУ РАЗРУШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков, А.В. Рабков, С.Ф. Колоцей 23

ПЕРСПЕКТИВЫ АДАПТАЦИИ МОЛОТИЛКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА К РАБОТЕ С ОЧЕСАННЫМ ЗЕРНОВЫМ ВОРОХОМ

В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин..... 29

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

В.Н. Перевозников, А.В. Ленский, А.А. Жешко..... 34

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Д.И. Бурлаков..... 40

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПОТОВ КОМБАЙНОВ

С.В. Шилько, Т.В. Дробыш, А.П. Сазанков..... 44

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Д.Л. Стасенко, В.Ю. Процко..... 50

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МУФТЫ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА А.Н. Петрученко.....	54
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДЯНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЕЙ Д-260 А.В. Предко, Д.Г. Лисица.....	57
СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ Д.А. Телюк, А.В. Предко, М.С. Буко.....	63
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В CREO PARAMETRIC ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ СЛОЖНОГО МЕХАНИЗМА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА Д.А. Крот.....	68
ПАТЕНТОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В.С. Уксусов, С.Э. Груздев.....	75
АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В.В. Тодарев, В.А. Савельев, И.Н. Бураченко.....	78
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ РЕАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ С.А. Тюрин, Н.Н. Малык.....	83
АНАЛИЗ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ В УСЛОВИЯХ РЕМСЕЛЬХОЗТЕХНИКИ М.Л. Калиниченко.....	86
ОСОБЕННОСТИ НАПЛАВКИ НА РАБОЧИЕ КРОМКИ ПРОТИВОРЕЖУЩИХ БРУСЬЕВ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В.С. Голубев, И.И. Вегера, В.Е. Ходюш, П.С. Дробышевский.....	90
АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ЛИТЕЙНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В.А. Калиниченко.....	96
СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В.А. Калиниченко.....	99

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	
В.А. Калиниченко, С.А. Мацинов.....	104
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЛИВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВТУЛОК	
С.А. Мацинов.....	106
МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ	
Г.С. Кульгейко, Е.М. Голубчикова, А.Д. Дещеня.....	108
ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЕКТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ КОНСОРЦИУМА РАЗВИТИЕ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ИМПОРТНОГО ПО	
Д.В. Дубовский, В.И. Пыжик.....	114
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ВЕТВЯХ ГУСЕНИЧНОГО ОБВОДА КОМБАЙНА С РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЕЙ	
С.И. Кирилюк, С.А. Шишков.....	120
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОКЛАПАНОВ С ПНЕВМОУПРАВЛЕНИЕМ	
Ю.И. Железнякова, Д.Л. Стасенко.....	123
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ LS-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ LMS IMAGINE.LAB AMESIM	
А.С. Колодко, Ю.А. Андреевец.....	127
СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ LS-СИСТЕМ С КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ	
А.А. Гинзбург, Ю.А. Андреевец.....	132
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ И ФОРМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ УСТАНОВКИ ТОПЛИВНОГО ФИЛЬТРА ДИЗЕЛЯ	
Г.М. Кухарёнок, В.И. Березун, Д.В. Пахарев, В.В. Вересов.....	138
РАСЧЕТ РОТАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	
В.В. Брель, В.Д. Салтыков.....	142
СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА	
Д.Ю. Барсуков.....	144

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА В КОНСТРУКЦИИ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УБОРОЧНЫХ МАШИН	
О.В. Рехлицкий, А.А. Дакука, Т.П. Слепенко.....	146
ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ КОПИРОВАНИЯ УБОРОЧНЫХ МАШИН	
Д.В. Джасов.....	152
УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ РЕШЕТ	
И.А. Баран, А.Н. Вырский.....	158
НАГРУЖЕННОСТЬ ПОВОРОТНОГО КУЛАКА ЗЕРНО- УБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ УКЛОНА	
П.Е. Родзевич.....	170
ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО АППАРАТА НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЖАТКИ	
Н.Л. Прокопенко, А.Н. Кондрашова.....	172
ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРОНШТЕЙНА КРЕПЛЕНИЯ СУППОРТА РАБОЧЕГО ТОРМОЗА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСРЕДСТВОМ САЕ-СИСТЕМ	
О.В. Тебеньков, И.А. Кольцова, Н.В. Грудина.....	183
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ ПО СТЯСНОЙ ДОСКЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	
Д.В. Джасов, Д.В. Воробьев.....	188
СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ БОРТОВЫХ ЭКРАНОВ КОМПЬЮТЕРОВ	
Н.Ф. Соловей, Н.Н. Федосенко, А.С. Шантыко, Е.А. Кулеш, А.Г. Бердиев, Т.В. Кравчук.....	193
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКЕ ПРОИЗВОДСТВА	
О.В. Рехлицкий, В.Н. Шкирский, А.А. Емельянов.....	197

СЕКЦИЯ № 2 «Мобильные энергетические средства, тракторы, прицепные и навесные агрегаты»

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЗАНИЯ БОТВЫ КОРНЕПЛОДОВ

А.Ю. Несмиян, А.А. Ашитко, Р.Ю. Колесник, В.А. Максименко..... 209

**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО КАНАЛА
В НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ЦЕЛЯХ**

И.В. Герасименко, М.Р. Курамшин, А.В. Козорезов, Е.А. Батманов..... 211

НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

В.В. Тодарев, В.А. Савельев, И.Н. Бураченко..... 215

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ СЕМЯН
В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА**

В.Н. Перевозников, В.А. Левчук, В.И. Коцуба..... 219

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ
НАПЛАВКОЙ**

В.А. Шахов, П.Г. Учкин, М.Г. Аристанов..... 224

**РОТОРНОЕ БИЛЬНО-ВЫЧЕСЫВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ОТДЕЛЕНИЯ СЕМЯН ОТ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА**

М.В. Цайц..... 227

МАШИНА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

В.А. Бурдейко, И.М. Дыдышко..... 233

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО НАГРУЖЕНИЯ ГЕНЕРА-
ТОРОВ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

М.Н. Погуляев..... 238

**К ВОПРОСУ ОТКАЗА ТРАНСМИССИИ ЛЕГКОВОГО
АВТОМОБИЛЯ ПО ПРИЧИНЕ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА**

И.Ф. Цыглер, И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков..... 240

**РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ И ОБЩЕЙ КОМПОНОВКИ СВЕКЛО -
УБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

А.А. Калина, Н.А. Поздняков, Г.А. Таяновский..... 245

**ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СЕТЧАТЫХ
ФИЛЬТРАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСПЛАВОВ**

Л.П. Долгий, А.М. Михальцов, И.В. Рафальский, И.Г. Раков..... 251

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОЙ МЕХАНИКИ ТРАНСМИССИЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В.Б. Альгин, С.Н. Поддубко, Н.Н. Ишин, С.В. Шилько, В.Е. Старжинский... 256

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ЭНЕРГОСРЕДСТВ К РАБОТЕ В СОСТАВЕ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

С.И. Кирилюк..... 261

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОЛЕСНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.А. Дюжев, О.К. Яцкевич, Е.В. Шапорова..... 265

АГРЕГАТ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ

А.Г. Вабищевич, П.В. Авраменко, Н.Д. Янцов, А.А. Бакиров..... 271

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАМЫ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Э.В. Лисовский, А.О. Шукюров, П.С. Литвинюк, А.Л. Кисельков,
А.М. Насковец..... 273

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ПЛУГА С УЧЕТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ ПОЧВЫ ДИСКРЕТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

П.С. Литвинюк, А.О. Шукюров, В.А. Мендель..... 282

ВЫБОР ДИАПАЗОНОВ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Ч.И. Жданович, Н.В. Калинин..... 287

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРОАППАРАТУРЫ ЗОЛОТНИКОВОГО ТИПА

В.В. Артемьев..... 293

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСАДОК ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

М.А. Одинцов..... 297

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ТРАКТОРА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ С НАВЕСНЫМ ПЛУГОМ

В.Б. Попов, Г.Г. Кудренко..... 301

ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОФТО – РОПЛАСТОВОГО КОМПОЗИТА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПОРИСТОСТЬЮ БРОНЗОВОЙ МАТРИЦЫ	
С.В. Шишков, А.Н. Швецов.....	305
ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНОСТИ РЕАЛЬНОГО КОНТАКТА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА	
Н.Ф. Соловей, Д.В. Рехлицкая, Л.А. Мороз.....	308
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ «СИЛЫ НА КРЮКЕ» МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА	
В.Б. Попов, Г.Г. Кудренко.....	311
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ В КОНСТРУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	
К.А. Грабок, К.Ю. Козусев.....	314

Для заметок

Научное издание

6-ая международная научно-практическая конференция
**«Инновационные технологии в агропромышленном
комплексе - сегодня и завтра»**

Сборник научных статей

Статьи изданы в авторской редакции

Оригинал-макет: Качанова А.В. Романьков С.А..

Обложка: Шландыкова Н.И.

Ответственный за выпуск: Ковалева И.Н.

Подписано в печать 16.12.22. Формат издания 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная. Гарнитура Newton. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 25,8. Тираж 100 экз. Заказ №. 16-22

Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»
Регистрация № 1/244 от 25.03.14
246050 г. Гомель, Беларусь, Кирова, 32а

