

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных трудов

Выпуск 11

В двух частях

Часть 2

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 001.895:[631.152:657.1.011.54]

ББК 40.7

И66

Редакционная коллегия:

В. В. Гусаров (гл. редактор),

В. А. Левчук (отв. за выпуск),

В. В. Азаренко, В. С. Астахов, А. Н. Карташевич,

С. А. Плотников, В. А. Шаршунов, О. В. Гордеенко,

В. И. Коцуба, И. И. Сергеева, К. Л. Пузевич, М. В. Цайц

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Л. В. Мисун*;

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. Н. Босак*

**И66 Инновационные решения в технологиях и механизации
сельскохозяйственного производства** : сб. науч. тр. : в 2 ч. /
редкол.: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки : Белорус. гос.
с.-х. акад., 2026. – Вып. 11. – Ч. 2. – 147 с.

ISBN 978-985-882-849-3.

Представлены результаты научных исследований в области механизации
сельскохозяйственного производства.

Для научных сотрудников, преподавателей, студентов и практических ра-
ботников АПК.

УДК 001.895:[631.152:657.1.011.54]

ББК 40.7

ISBN 978-985-882-849-3 (ч. 2)

ISBN 978-985-882-847-9

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

Секция 3. МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 631.559.2+631.563.8

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

С. И. КОЗЛОВ, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Система автоматического управления раскрывается и изучается на основе упрощенного и детального (развернутого) структурного анализа [1, 2]. При проведении анализа систем автоматического управления с замкнутым контуром очень важно знать характеристики, которыми обладают системы автоматизации данного типа. Это позволяет эффективно использовать общие положения механизмов, используемых для проведения структурного анализа различных конструктивных решений [3, 4].

В замкнутом контуре управления элемент управляется с помощью единственного физического ввода, который обычно называют контролируемым (регулируемым) или управляющим измерением, что, по сути, не меняет функционального содержания таких терминов. В таких автоматизированных системах применяется принцип контроля отклонений (регулирование по отклонению).

Понимание содержания структуры управления с замкнутым контуром в этом шаблоне позволяет получить представление о содержании основной обратной связи. Основная обратная связь в САР часто может быть отрицательной и устойчивой или изменчивой [4, 5, 6]. Такие автоматизированные системы могут управлять одной или несколькими локальными реакциями с первоначальной обратной связью в замкнутом контуре управления [4].

Основные и локальные каналы обратной связи, работающие в САР, в некотором роде демонстрируют этот тип систем автоматизации. Такие автоматизированные системы называются одноконтурными, если основная обратная связь работает только в САР. Если САР имеет основной контур обратной связи, а также один или несколько локальных

контуров обратной связи, такие автоматизированные системы называются многоконтурными. В настоящее время это ядро замкнутого контура управления в одноконтурном САР. Существующие локальные контуры обратной связи в многоконтурных ОВД образуют дополнительные замкнутые контуры управления. Многоконтурные САР характеризуются наличием основного и одного или нескольких дополнительных замкнутых контуров управления. Принцип действия основного и локальных каналов обратной связи, видимых и функционирующих в траве, можно понять с помощью простого и детального структурного анализа. Функциональная обратная связь каждого типа обеспечивает осознанное восприятие и визуальную наглядность.

Содержание главной обратной связи в САР характеризуется содержанием главного замкнутого контура регулирования. Такое содержание зависит от конструктивного исполнения технических средств автоматизации, посредством которых создается главный замкнутый контур регулирования в САР. Технические средства автоматизации осуществляют физическую связь между выходом и входом объекта регулирования и потому обеспечивают действие главной обратной связи [3, 4] и одновременно образуют главный замкнутый контур регулирования в САР. Исходя из этого, в системах автоматизации данного типа основное содержание обратной связи для передачи информации о состоянии объекта определяется содержанием структуры основного замкнутого контура управления.

Основная часть. Процесс передачи информации о состоянии ОР сопровождается изменением числовых значений выходных параметров объекта, его физической природы и внешнего вида. Процесс преобразования осуществляется автоматически, технически с использованием замкнутого контура управления. В результате результирующий входной параметр ОР, как правило, имеет иную физическую природу по сравнению с выходным.

Структурный анализ САР с замкнутым контуром регулирования раскрывает действие в них только главной обратной связи.

Визуальная наглядность основного действия обратной связи показана на структурных схемах автоматизированных систем с замкнутым контуром управления [3, 4].

Этот тип структурного анализа выполняется на основе определенных общих принципов и методов. Структурный анализ – это оригинальное учение и методология, которые обеспечивают упрощенное понимание структуры автоматизированных систем управления.

Реально действующие САР, которые характеризуются конкретными конструктивными особенностями, разделяются на три упрощенные структурные разновидности. Такие структурные разновидности реально действующих САР определены посредством исследований, проведенных на основе анализа принципиальных электрических схем систем автоматизации данного вида и использования функциональных признаков, которые присущи ОР и АРУ. Каждая структурная схема отражает конкретную конструктивную разновидность САР двумя отдельными и различными по функциональному признаку структурными элементами.

Один структурный элемент называется объектом регулирования (ОР), а второй – автоматическим регулятором управления (АРУ) (рис. 1). По количественному составу структурных элементов и их функциональному назначению упрощенные структурные схемы являются однотипными для всех САР.

Структурные схемы похожи только внешне, что связано с традиционными графическими и буквенными обозначениями. Содержание простой схемы блоков отличается для каждой конкретной САР. Это связано с различным дизайном ОР и АРУ. Разница между САР и ОР определяет разницу и содержание анатомических взаимосвязей, характеризующихся входными и выходными физическими параметрами.

Объект регулирования имеет несколько входных параметров различной физической природы и различного вида и один выходной физический параметр.

Входными параметрами объекта являются управляющие воздействия $U_i(t)$, нагрузка $\lambda(t)$ и помеха $f_i(t)$. Физическая природа управляющих воздействий $U_i(t)$ и нагрузки $\lambda(t)$ характеризуется физической природой управляющей среды, которая подается автоматическим регулятором управления в ОР.

Выходной параметр $X(t)$ является физическим параметром управления объектом. Численные значения параметра $X(t)$ зависят от наличия и состояния управляющей среды в объекте.

В буквенном обозначении управляющего воздействия $U_i(t)$, индекс i отражает количество численных значений, которое составляет $i = 2$. Это означает, что АРУ вырабатывает в каждой САР два различных по численным значениям управляющих воздействия $U_i(t)$, которые действуют во вход ОР в виде конкретных физических параметров.

Такое количество управляющих воздействий $U_i(t)$, определяет два необходимых их численных значения, что обусловлено требованием поддерживать ОР в заданном состоянии равновесия.

Функциональная запись $U_i(t)$ означает, что численные значения управляющего воздействия изменяются во времени и оказывают целенаправленное влияние на состояние ОР.

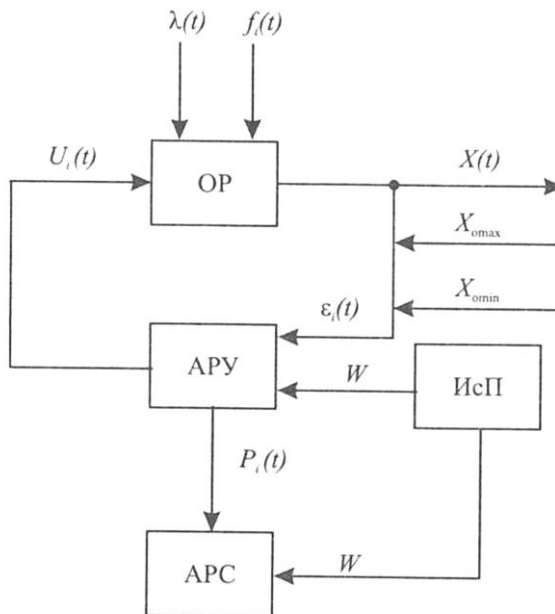


Рис. 1. Структурная схема систем автоматического регулирования (САР) с замкнутым контуром регулирования: ОР – объект регулирования; АРУ – автоматический регулятор управления; АРС – автоматический регулятор сигнализации; $\lambda(t)$ – нагрузка; $f_i(t)$ – помеха; $X(t)$ – параметр управления (параметр состояния объекта регулирования); $U_i(t)$ – управляющее воздействие; $X_{\max}$ – задаваемое максимальное значение параметра управления; $X_{\min}$ – задаваемое минимальное значение параметра управления; $\varepsilon_i(t)$ – управляющий сигнал; $P_i(t)$ – входной параметр АРС; ИсП – источник питания; W – энергия источника питания, которая является входным параметром АРУ и АРС

Одно управляющее воздействие вырабатывается АРУ при достижении физическим параметром управления $X(t)$ максимально заданного оптимального значения $X_{\max}$. Второе управляющее воздействие

вырабатывается АРУ при достижении физическим параметром управления $X(t)$ минимально заданного оптимального значения $X_{\text{отп}}$.

Нагрузка $\lambda(t)$ представляет собой для конкретного ОР конкретный физический параметр, который характеризуется численными значениями расхода управляющей среды из объекта. И все-таки нагрузка $\lambda(t)$ показывается входным параметром ОР, а не выходным. Это обусловлено тем, что управляющая среда покидает ОР и уходит за пределы его конструкции.

Уход управляющей среды из ОР характеризует ее расход и соответственно внешнее влияние на состояние объекта. Расход управляющей среды очень сильно влияет на состояние ОР и в наибольшей степени выводит его из заданного состояния равновесия.

Функциональная запись нагрузки $\lambda(t)$ означает, что численные значения расхода управляющей среды объектом изменяются во времени.

Такая запись означает также, что степень влияния нагрузки на состояние ОР не является постоянной и тоже изменяется во времени.

Помеха $f_i(t)$ включает в свой состав физические параметры окружающей среды, в которой работает ОР, а также конкретные физические параметры, характеризующие состояние конструкции объекта.

В буквенном обозначении помехи $f_i(t)$ индекс i отражает количественный состав физических параметров, который составляет $i = 1, 2, \dots, n$. В общем случае помеха $f_i(t)$ включает в свой состав n различных физических параметров.

Функциональная запись помехи $f_i(t)$ означает, что численные значения физических параметров изменяются во времени. Такая запись означает также, что степень влияния помехи на состояние ОР не является постоянной и тоже изменяется во времени.

Автоматический регулятор управления (АРУ) в каждой реальной САР имеет один входной и один выходной физические параметры. Входным параметром АРУ является физический параметр $X(t)$, который используется для управления объектом. Выходным параметром АРУ является физический параметр $U_i(t)$, который называется управляющим воздействием и используется для поддержания заданного состояния равновесия ОР. В упрощенных структурных схемах показывается большее количество входных параметров АРУ.

Заключение. Физическая взаимосвязь между простыми структурными схемами, отражающими структуру реальных САР, обозначается латинскими и греческими буквами в соответствии с физической природой и типом входных и выходных параметров. В каждой структурной

схеме буквенные обозначения не отражают природу и тип входных и выходных параметров в реальной САР.

Виртуализация означает, что алфавитная номенклатура входных и выходных параметров условна и является общей для реальной САР. Это связано с тем, что каждая структурная схема одновременно отражает одни и те же конструктивные характеристики нескольких реальных САР с одинаковой структурой и замкнутым контуром управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов, С. И. Упрощенный структурный анализ систем автоматизации сельскохозяйственной техники / С. И. Козлов, С. А. Бортник // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2020. – С. 138–143.
2. Развернутый структурный анализ систем автоматизации сельскохозяйственной техники / С. И. Козлов [и др.] // Технический сервис машин. – 2021. – № 4. – С. 62–68.
3. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов/ И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – Москва: Колос, 2004. – 344 с.
4. Радченко, Г. Е. Автоматизация сельскохозяйственной техники / Г. Е. Радченко. – Минск: Технопринт, 2005. – 384 с.
5. Козлов, С. И. Эксплуатационное содержание и сущность систем автоматизации современной сельскохозяйственной техники / С. И. Козлов, С. А. Борник, В. М. Кузюр // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2022. – № 1 (21). – С. 10–19.
6. Козлов, С. И. Структурный анализ автоматизированных систем управления сельскохозяйственной техники / С. И. Козлов, С. А. Борник // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2019. – С. 276–281.

Аннотация. Система автоматического управления системами автоматизации раскрывается и изучается на основе упрощенного и детального структурного анализа. При проведении анализа замкнутых систем автоматического управления очень важно знать характерные и специфические особенности, которые характеризуют системы автоматизации такого типа. Это позволяет эффективно и продуктивно применять общие положения методики, которые используются для выполнения структурного анализа САР различных конструктивных решений.

Ключевые слова: автоматизация, система, регулирование, контур, параметры, контроль.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА ДЛЯ СИСТЕМ ДЕЗИНВАЗИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А. В. КУЗИН, аспирант
В. В. ШМИГЕЛЬ, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет»,
Ярославль, Российская Федерация

Введение. Разработка эффективных и экономичных методов дезинвазии в агропромышленном комплексе требует перехода от эмпирических подходов к точному прогнозированию и оптимизации режимов обработки. Озон, как мощный окислитель, является перспективным агентом, однако его применение затруднено сложной зависимостью конечной концентрации от множества факторов: параметров генерации, массопереноса и кинетики разложения [1, 2]. Целью данной работы являлась разработка математической модели, интегрированной в программный комплекс «OzoneSimula» [3], для точного прогноза концентрации озона на всех этапах технологического цикла и оптимизации энергозатрат.

Основная часть. Математическая модель, реализованная в программе «OzoneSimula», описывает полную цепочку от генерации озона до его концентрации в обрабатываемой среде. Модель состоит из двух связанных модулей: модуля генерации озона в газовой фазе и модуля массопереноса и кинетики в водной суспензии.

Выходная концентрация озона рассчитывается на основе баланса мощности и удельной энергии [4]:

$$C_{g,out} = \frac{1}{Q_g} \cdot \eta \cdot \frac{P_{dis}}{SED}, SED = \frac{P_{dis}}{Q_g}, \quad (1)$$

где $C_{g,out}$ – концентрация озона на выходе из озонатора, г/м³;

Q_g – объёмный расход газа, м³/с;

η – коэффициент эффективности генерации, г/кДж;

P_{dis} – мощность разряда, кВт;

SED – удельная вложенная энергия, кДж/м³.

Коэффициент эффективности генерации η комплексно зависит от режимных и средовых факторов:

$$\eta = \eta_0 \cdot F_u(U) \cdot F_f(f) \cdot F_T(T) \cdot F_\phi(\phi). \quad (2)$$

Ключевой является нелинейная зависимость от напряжения $F_u(U)$ с областью насыщения, учитывающая как рост генерации, так и последующее термическое разложение озона, что является критичным для выбора рабочей точки оборудования [5]:

$$F_u(U) = k_1 \cdot (U - U_0)^\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot (U - U_0)), \quad (3)$$

где U_0 – пороговое напряжение зажигания, кВ;

k_1, α, β – эмпирические константы.

Чем выше напряжение над порогом зажигания, тем сильнее разряд и интенсивнее генерация озона. Параметр α определяет, характер этого роста на графике:

- если $\alpha = 1$, рост линейный;
- если $\alpha > 1$, рост сверхлинейный;
- если $\alpha < 1$, рост затухающий (логарифмический).

С ростом напряжения начинают преобладать процессы разрушения озона, такие как нагрев и влияние УФ-излучения [6]. Параметр β – определяет насколько «сильно» и «рано» начинается этот спад на графике:

- большое значение β означает, что спад начинается быстро и кривая будет острой;
- малое значение β означает, что плато насыщения будет широким, а спад плавным.

Зависимость от частоты можно описать линейной или степенной моделью в узком диапазоне, так как при генерации озона в данном случае используется промышленная частота:

$$F_f(f) = k_2 \cdot f^\gamma, \quad (4)$$

где k_2, γ – константы.

Показатель степени γ показывает, насколько чувствителен процесс генерации озона к изменению частоты:

– $\gamma \approx 1$. Типичный случай для низких частот. Удвоение частоты приводит примерно к удвоению выхода озона. Это говорит о том, что каждый импульс тока вносит примерно равный вклад;

– $\gamma < 1$. Выход озона растет медленнее, чем частота;

– $\gamma > 1$. Выход озона растет быстрее частоты.

Влияние температуры описывается уравнением Аррениуса, так как с повышением температуры озон разлагается [7]:

$$F_T(T) = A_T \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot (T+273,15)}\right) \quad (5)$$

где T – температура воздуха, °C;

E_a – кажущаяся энергия активации разложения озона, кДж/моль;

R – универсальная газовая постоянная;

A_T – предэкспоненциальный множитель.

Зависимость от влажности можно выразить экспоненциальным затуханием:

$$F_\phi(\phi) = \exp(-k_\phi \cdot \phi), \quad (6)$$

где ϕ – относительная влажность;

k_ϕ – константа.

Мощность разряда для барьерного генератора рассчитывается по модели конденсатора:

$$P_{dis} = f \cdot C_d \cdot (U^2 - U_0^2), \quad (7)$$

где C_d – эквивалентная ёмкость разрядного промежутка, Ф.

Для перехода к концентрации в зоне воздействия на паразита C_w используется модель идеального перемешивания – CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor). В таком случае, баланс массы озона:

$$V_m \frac{dC_w}{dt} = K_L a \cdot (C_w^* - C_w) \cdot V_w - R_w \cdot V_w. \quad (8)$$

Если $\frac{dC_w}{dt} = 0$, получаем:

$$K_L a \cdot (C_w^* - C_w) = R_w. \quad (9)$$

Равновесная концентрация C_w^* определяется законом Генри:

$$C_w^* = H(T_w) \cdot P_g = H(T_w) \cdot \frac{C_{g,out} \cdot R \cdot (T_g + 273,15)}{M_{O_3}} \quad (10)$$

где $H(T_w)$ – постоянная Генри для озона в воде, г/л·атм;

P_g – парциальное давление озона в газе, атм;

T_w, T_g – температура воды и газа, °C;

M_{O_3} – молярная масса озона, г/моль;

R – универсальная газовая постоянная. Постоянная Генри сильно зависит от температуры воды [8].

Зависимость постоянной Генри от температуры выражается следующим уравнением:

$$H(T_w) = H_0 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_{sol}}{R \cdot (T_w + 273,15)}\right), \quad (11)$$

где ΔH_{sol} – энтальпия растворения. Скорость разложения озона в воде R_w складывается из химического потребления и само-разложения:

$$R_w = k_{rxn} \cdot C_w + k_{dec} \cdot C_w^n, \quad (12)$$

где k_{rxn} – константа скорости реакции с примесями, c^{-1} ;

k_{dec} – константа скорости разложения озона; n – порядок реакции разложения.

Поскольку при обработке водной суспензии воздушной смесью происходит процесс переноса озона из одной фазы в другую, через границу раздела, можно ввести коэффициент переноса. В данном случае коэффициент массопередачи $K_L a$ зависит от гидродинамических параметров процесса:

$$K_L a = k \cdot Q_g^m, \quad (13)$$

где k, m – эмпирические константы для конкретного абсорбера.

Решая балансное уравнение для установившегося режима, получаем финальное выражение:

$$C_w = \frac{K_L a \cdot C_w^*}{K_L a + k_{rxn} + k_{dec} \cdot C_w^{n-1}}. \quad (14)$$

Если принять, что $R_w \approx k_{total} \cdot C_w$, где $k_{total} = k_{rxn} \cdot k_{dec}$, тогда:

$$C_w = \frac{K_L a \cdot H(T_w) \cdot \frac{C_{g,out} \cdot R \cdot (T_g + 273,15)}{M_{O_3}}}{K_L a + k_{total}}. \quad (15)$$

Разработанная система уравнений (1)–(15) является вычислительным ядром программы «OzoneSimula». Пользовательский интерфейс предоставляет возможность оперативного изменения входных параметров: напряжения, частоты, расходов газа и воды, температур, влажности и ХПК. Результаты вычислений представляются в виде набора графиков (рис. 1).

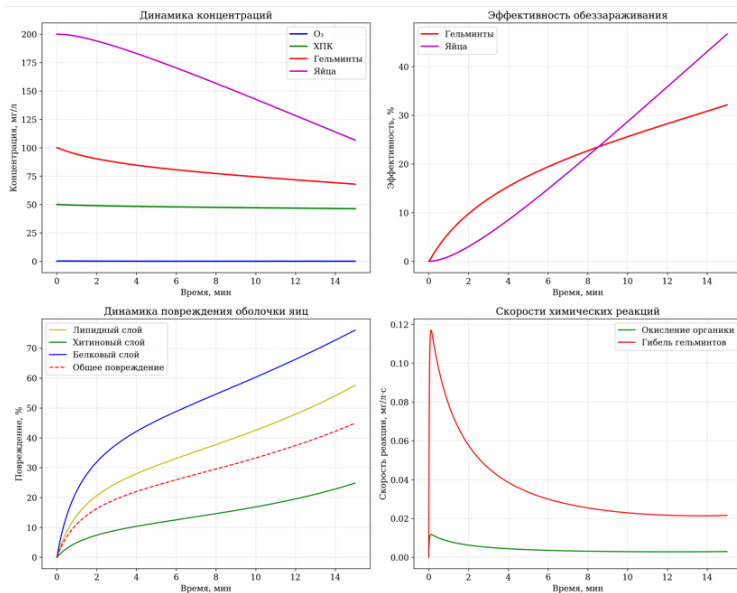


Рис. 1. Графики динамики концентраций, эффективности и повреждения оболочек яиц, выгруженные в файл

Программа в реальном времени рассчитывает и визуализирует цепочку: «Параметры генерации $\rightarrow C_{g,out} \rightarrow C_w$ ». Это позволяет не только прогнозировать результат, но и решать обратную задачу: находить такие настройки озонатора, которые обеспечат летальную дозу озона для целевого объекта [1, 2], минимизируя при этом энергозатраты.

Заключение. Разработана комплексная детерминированная модель, позволяющая прогнозировать концентрацию озона в водной суспензии на основе параметров работы озонатора (напряжение, частота, расход газа) и состояния среды (температура, влажность). Данная модель является завершающим звеном в цепочке моделей, разработанных авторами [1, 2], и служит теоретическим фундаментом для программного комплекса «OzoneSimula», позволяя рассчитывать эффективные режимы дезинвазии. Главным преимуществом подхода является замкнутость расчетного цикла: от управляющих параметров оборудования до результирующей концентрации в зоне обработки. Данный инструмент существенно расширяет возможности по планированию и

оптимизации режимов дезинвазии, что подтверждает его высокую практическую значимость для сельского хозяйства. Перспективы работы связаны с экспериментальной верификацией модели и уточнением эмпирических коэффициентов для конкретных типов озонаторов и обрабатываемых сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин, А. В. Компьютерное моделирование эффективности обработки озонем гельминтов сельскохозяйственных животных (на примере *Ascaridia galli*) / А. В. Кузин, В. В. Шмигель, Е. В. Шешунова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2025. – № 2 (70). – С. 78–86.
2. Кузин, А. В. Построение компьютерной симуляции воздействия озона на яйца гельминтов (на примере *Ascaridia galli*) / А. В. Кузин, В. В. Шмигель, Е. В. Шешунова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2025. – № 2 (70). – С. 87–94.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689889: OzoneSimula / А. В. Кузин; правообладатель ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 30.10.2025.
4. Wang, J. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective / J. Wang, H. Chen // Science of The Total Environment [Наука об окружающей среде в целом]. – 2020. – Vol. 704. – Art. № 135249.
5. Обоснование параметров озонатора для озонирования ульев / С. В. Оськин, Д. С. Цокур, А. Лоза, И. Н. Шишигин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 11 (149). – С. 94–101.
6. Имитационное моделирование процесса электросинтеза озона / С. П. Бобков, И. А. Астраханцева, Э. Г. Галиаскаров, Е. С. Бобкова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2024. – № 2 (78). – С. 20–28.
7. Иванова, О. П. Гигиеническое обоснование доочистки воды на водопроводных сооружениях от фосфорорганических соединений, продуктов их синтеза и гидролиза / О. П. Иванова, Д. А. Чура, А. К. Маненко // Гигиена и санитария. – 1986. – № 11. – С. 10–13.
8. Леванов, А. В. Растворимость озона в воде при различных температурах / А. В. Леванов, И. В. Кусков // Журнал физической химии. – 2019. – Т. 93, № 7. – С. 986–991.

Аннотация. Представлена математическая модель, реализованная в программе «OzoneSimula», для прогнозирования концентрации озона в системах дезинвазии. Модель интегрирует уравнения генерации озона в барьерном разряде и массопереноса в водную суспензию. Показана взаимосвязь параметров оборудования и среды с конечной эффективностью обработки. Разработанный программный комплекс позволяет оптимизировать режимы обработки.

Ключевые слова: озон, математическая модель, дезинвазия, барьерный разряд, программирование, озонирование.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОДСТИЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ НОЖЕЙ РОТОРА ИРК-145

А. В. МЕЛЕХОВ, ст. преподаватель

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Назначение подстилки – препятствовать отдаче тепла животного полу, поглощать влагу и создавать сухое и мягкое ложе. Из подстилочных материалов выбирают такие, которые обладают малой теплопроводностью, большой теплоемкостью, влагопроницаемостью, гигроскопичностью, газопоглотительными свойствами. Вместе с тем подстилка не должна приставать к волосанному покрову животных, содержать вредные и ядовитые растения и их семена, не быть пораженной плесневыми грибами, не пылить. Важно, чтобы подстилочный материал после его использования не терял ценность как удобрение [1–8].

Основная часть. Измельчитель-раздатчик грубых кормов ИРК-145 предназначен для самозагрузки, транспортировки и измельчения грубых кормов и подстилочного материала в рулонах цилиндрической формы в стационарном режиме с выгрузкой измельченных кормов и подстилочного материала в транспортное средство или в навал, а также имеет возможность применения в животноводческих помещениях для подачи измельченного сена в кормушки или на кормовой стол, а подстилочного материала в логово помещения при беспривязном содержании животных на глубокой подстилке. Цифры в марках обозначают размер диаметра рулона в сантиметрах [9–13].

Измельчитель-раздатчик кормов ИРК-145 состоит из: шасси, барабана, рамы, ролика опорного, ролика верхнего, трансмиссии, ротора, стяжки, манипулятора загрузки, короба продувания, желоба выгрузного, гидросистемы, электрооборудования, гидромотора.

Измельчитель-раздатчик грубых кормов ИРК-145 может применяться в животноводческих помещениях с шириной проезда не менее 2 600 мм и высотой не менее 2 700 мм при ширине кормового прохода не менее 2 100 мм.

Измельчитель агрегируется с колесными тракторами класса 1,4.

В ходе анализа существующих машин и их измельчающих аппаратов было выявлено ряд недостатков в их конструкции.

При взаимодействии режущего элемента (ножа) и измельчаемого материала в большей степени происходит не процесс резания, а процесс рубки, что в свою очередь влияет на качество измельченного материала (часть измельченного материала разбивается в пыль).

Поэтому нами предлагается установить по всей периферии ротора сегментные ножи, которые выполнены с двойной заточкой.

В центре ротора рекомендовано установить три прямоугольных ножа, скрепленных между собой болтовым соединением.

Прямоугольному ножу придадим форму части линии логарифмической спирали, материал, попавший на лезвие, будет двигаться со скольжением под одним и тем же углом. Если лезвию ножа придать вогнутую сложную форму с впадинами, имеющими форму части линии, спирали, каждая впадина будет представлять собой отдельный нож и длина его лезвия будет больше, чем при прямолинейном лезвии.

Процесс измельчения соломы заключается в следующем: при загруженном в барабан рулоне, происходит его вращение вместе с барабаном. Далее включается измельчающий ротор, вращение которого осуществляется в противоположную сторону. Ножами различной формы и размеров происходит процесс резания, далее измельченные частицы попадают в пространство между ротором и лопатками, которыми придается ускорение измельченному материалу. За счет создаваемого лопатками воздушного напора материал устремляется по выгрузному желобу в сторону регулируемого направления.

Если ножу придать форму части линии логарифмической спирали, материал, попавший на лезвие, будет двигаться со скольжением под одним и тем же углом.

Если лезвию ножа придать вогнутую сложную форму с впадинами, имеющими форму части линии, спирали, каждая впадина будет представлять собой отдельный нож и длина его лезвия будет больше, чем при прямолинейном лезвии. Установка ножей на роторе такова, что угол скольжения, охарактеризованный выше, будет находиться в таких пределах, что на резание потребуется затратить минимальное количество энергии, то есть $\tilde{\tau} = 20^\circ - 60^\circ$.

Заключение. В результате исследований установлено, что конструктивные изменения позволят повысить производительность измельчителя, что в свою очередь позволит уменьшить время, затрачиваемое на выполнение всего процесса.

Применение соответствующих типов ножей увеличит срок эксплуатации как режущих элементов, так и ротора в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босак, В. М. Аграэкалагічныя аспекты выкарыстання арганічных угнаенняў / В. М. Босак, Т. У. Сачыўка, А. У. Дамнянкова // Хімічная тэхналогія і тэхніка. – Мінск: БГТУ, 2025. – С. 464–467.
2. Босак, В. М. Арганічныя ўгнаенні: роля ў забеспячэнні харчовай бяспекі і ўзнаўленні глебавай урадлівасці / В. М. Босак, Т. У. Сачыўка, Н. У. Улаховіч // Інновацыйныя рашэнні ў тэхналогіях і механізацыі сельскагаспадарчага прадукцыі. – Горкі: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 22–24.
3. Босак, В. Н. Баланс использования соломы и применение ее на удобрение / В. Н. Босак // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – № 7. – С. 81–83.
4. Босак, В. Н. Органические удобрения / В. Н. Босак // Республика Беларусь. Энциклопедия. – Минск, 2007. – С. 590–591.
5. Босак, В. Н. Органические удобрения / В. Н. Босак. – Пинск, 2009. – 255 с.
6. Босак, В. Н. Солома на удобрение: рассчитываем баланс / В. Н. Босак // Наше сельское хозяйство. – 2009. – № 7. – С. 12–15.
7. Инструкция по использованию торфа в сельскохозяйственном производстве / В. В. Лапа, В. Н. Босак, С. Е. Головатый [и др.]. – Минск, 2006. – 19 с.
8. Состав и эффективность различных видов органических удобрений / В. Н. Босак, Т. М. Серая, В. В. Цвирков, О. Н. Марцуль // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 6. – С. 39–42.
9. Беляев, Н. М. Комплексная механизация в животноводстве / Н. М. Беляев // До-стижение науки и техники в АПК. – 2014. – № 5. – С. 50–53.
10. Белянчиков, Н. Н. Механизация животноводства и кормоприготовления / Н. Н. Белянчиков, А. И. Смирнов. – Москва: Агропромиздат, 2015. – 432 с.
11. Вагин, Ю. Т. Технологии и техническое обеспечение производства продукции животноводства / Ю. Т. Вагин, А. С. Добышев, П. А. Курдеко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2012. – 640 с.
12. Мелехов, А. В. Усовершенствование загрузочной фрезы погрузчика-раздатчика-смесителя кормов ПРСК-12 / А. В. Мелехов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки, 2025. – С. 205–208.
13. Техническое обеспечение процессов в животноводстве / В. К. Гриб [и др.]. – Минск: Бел. наука, 2004. – 831 с.

Аннотация. В ходе анализа измельчителя-раздатчика грубых кормов ИРК-1 и их измельчающих аппаратов был выявлен ряд недостатков в их конструкции. При взаимодействии режущего элемента (ножа) и измельчаемого материала в большей степени происходит не процесс резания, а процесс рубки, что в свою очередь влияет на качество измельченного материала. Предлагается установить по всей периферии ротора сегментные ножи, которые выполнены с двойной заточкой. В центре ротора рекомендовано установить три прямоугольных ножа, скрепленных между собой болтовым соединением.

Ключевые слова: измельчитель, раздатчик, рулоны, ротор, сегменты.

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СЫРЬЯ, ИСПОЛЗУЕМОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

А. А. ОСТРЕЙКО, ст. преподаватель

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Одним из направлений биоэнергетики является переработка биомассы методом метанового брожения с получением биогаза и обеззараженных органических удобрений [1–9].

Важнейшее значение для эффективного получения биогаза имеет правильный подбор компонентов сырья, из которого производится биогаз и грамотная их подготовка к ферментации.

Целью данной работы является выявление и анализ качественных характеристик сырья, влияющих на процесс получения биогаза, определение критериев, по которым следует подбирать сырье для биогазовых установок.

Основная часть. Сырьем для биогазовой установки служит навоз, отходы пищевой промышленности, пищевые и кормовые остатки, барда, биомусор (коммунальные отходы и др.), а также энергетические растения, такие как кукуруза, зерновые, подсолнечник, различные травы, а также свекла, силос, листва деревьев и т. д. [1, 6].

Качество сырья, загружаемого в ферментатор биогазовой установки, характеризуется влажностью, скоростью его расщепления и степенью разложения, наличием в нем питательной среды для жизнедеятельности бактерий, выходом биогаза на единицу сухого вещества, содержанием метана в биогазе и соотношением углерода и азота в сырье (таблица). Именно от этих показателей зависит время его сбраживания, количество получаемого биогаза и его состав.

Расщепление органики на отдельные составляющие и превращение в метан происходит лишь во влажной среде, поскольку различные виды бактерий, участвующие в этом процессе, могут перерабатывать только вещества в растворенном виде. Установлено, что влажность сырья, загружаемого в реактор биогазовой установки, составляет не менее 85 % в зимнее время и 92 % в летнее время года, а выход биогаза напрямую зависит от вида используемого сырья, а также температуры процесса сбраживания. Скорость расщепления сырья определяет время пребывания его в ферментаторе, чем меньше это время, тем бо-

лее экономична установка. Сырье всегда состоит из различных групп веществ скорость разложения которых значительно отличается между собой.

Выход биогаза и содержание в нем метана, а также соотношение содержания углерода и азота при использовании разных типов сырья

Тип сырья	Выход газа на килограмм сухого вещества, м ³	Содержание метана, %	Соотношение углерода и азота C/N
Навоз КРС	0,25–0,34	65	16,6–25
Свиной навоз	0,34–0,58	65–70	6,2–12,5
Птичий помет	0,31–0,62	60	7,3–9,65
Овечий навоз	0,30–0,62	70	33
Сточные воды, фекалии	0,31–0,74	70	6–10
Пшеничная солома	0,20–0,30	50–60	100–150
Кукурузная солома	0,38–0,46	59	50
Трава	0,28–0,63	70	12
Листва деревьев	0,21–0,29	58	50

Быстроразлагаемое сырье, такое как сахарная свекла, отходы продуктов питания и др., приводит к стремительному переокислению ферментатора, поэтому мало подходит для брожения в чистом виде и должно использоваться в смеси с другими видами сырья. Большинство установок для своей работы используют силос из трав, кукурузы, люпина, остатки зерна и т. д. в смеси с жидким или твердым навозом, который в чистом виде, как правило, используется редко.

Степень разложения сырья напрямую зависит от его состава и отражается на количестве получаемого газа. Обычно величина ее варьирует в пределах от 30–70 %, а для усредненного периода брожения будет составлять до 60 %. Установки, работающие исключительно на возобновляемом сырье, достигают степени разложения от 80 % органической сухой массы. Кроме того, применение энзимов, бустеров для искусственной деградации сырья (например, ультразвуковых или жидкостных кавитаторов) и других приспособлений позволяет увеличить выход биогаза на самой обычной установке с 60 % до 95 % от теоретически возможного выхода.

Для роста и жизнедеятельности метанообразующих бактерий необходимо обязательное присутствие в сырье органических и минеральных питательных веществ, таких как углерод, азот, водород, сера,

фосфор, калий, кальций, магний и некоторого количества микроэлементов – железа, марганца, молибдена, цинка, кобальта, селена, вольфрама, никеля и других. Эти микроэлементы особенно необходимы бактериям для образования энзимов, ускоряющих процесс брожения. Все эти вещества в необходимом количестве содержатся в жидком и твердом навозе. Достаточное их количество содержится также в сене, кукурузе, пищевых отходах, внутренностях животных, барде, молочных продуктах, которые могут бродить в чистом виде без добавления других видов сырья.

Важным фактором, влияющим на выход биогаза, является соотношение углерода и азота в перерабатываемом сырье. Если оно чрезмерно велико, то недостаток азота будет сдерживать процесс метанового брожения. Если же это соотношение слишком мало, то образуется такое большое количество аммиака, что он становится токсичным для бактерий. Поэтому для поддержания его в оптимальных пределах с целью получения максимально возможного выхода биогаза современные биогазовые установки работают на смешанном сырье, используя следующие соотношения питательных веществ: $C : N : P = 75:5:1$ или $125:5:1$; $C : N = 10:1$ или $30:1$; $N : P = 5:1$.

При подборе сырья необходимо учитывать, что только из органической части сухой массы можно произвести метан. Поэтому содержание органической сухой массы в соотношении с общей массой, является главным критерием для выбора составляющих смеси.

Содержание метана в биогазе определяется в первую очередь составом сырья. Максимальное его количество получается из протеинов – 71 %; жиры дают – 68 %, а углеводороды – лишь 50 %. Поэтому предпочтение отдается смесям сырья с высоким содержанием жиров и протеинов, таких как отходы зерна, свекла и картофель. В среднем выход газа из энергетических растений составляет $0,3 \text{ м}^3$ метана на килограмм органического сухого субстрата с отклонениями до $\pm 30 \%$. Существенная разница проявляется при расчете выхода газа с гектара посевной площади. Например, у свеклы и силосных сортов кукурузы по сравнению с другими культурами он составляет свыше $6\,000 \text{ м}^3/\text{га}$, поэтому силос из кукурузы является самым используемым сырьем для биогазовых установок. Зерно и клубнеплоды хоть и имеют высокий выход газа, но с 1 га возделываемой площади он будет составлять около $3\,000 \text{ м}^3/\text{га}$, что в два раза ниже, чем у кукурузного силоса.

Заключение. Для обеспечения оптимального выхода биогаза из ферментатора биогазовой установки необходимо тщательно подбирать исходное сырье, которое характеризуется влажностью, скоростью его

расщепления и степени разложения, наличием в нем питательной среды для жизнедеятельности бактерий, выходом биогаза на единицу сухого вещества, содержанием метана в биогазе и соотношением углерода и азота в сырье. Именно от этих качественных показателей зависит время его сбраживания, количество получаемого биогаза и его состав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баадер, В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – Москва: Колос, 1982. – 148 с.
2. Бараш, В. П. Асаблівасці і перспектывы развіцця альтэрнатыўнай энергетыкі / В. П. Бараш, В. М. Босак, Н. У. Улаховіч // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 8–10.
3. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 404 с.
4. Домненкова, А. В. Состояние и перспективы развития альтернативной энергетики в Беларуси / А. В. Домненкова, В. Н. Босак, И. И. Сергеева // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 33–35.
5. Острейко, А. А. Биогазовые установки и технологии / А. А. Острейко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 209–213.
6. Острейко, А. А. Оценка качественных характеристик сырья, используемого для получения биогаза / А. А. Острейко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 209–213.
7. Переработка навоза в биогазовых установках / Д. Ф. Кольга, С. А. Костюкевич, Т. В. Молош, В. Н. Босак // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2024. – № 3. – С. 7–11.
8. Сачыўка, Т. У. Альтэрнатыўная энергетыка ў Рэспубліцы Беларусь: накірункі і перспектывы развіцця / Т. У. Сачыўка, В. М. Босак, А. У. Дамнянкова // Химическая технология и техника. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 492–496.
9. Челноков, А. А. Безопасность жизнедеятельности / А. А. Челноков, В. Н. Босак, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 407 с.

Аннотация. Выявлены и проанализированы качественные характеристики сырья, влияющие на процесс получения биогаза. Определены критерии, по которым следует подбирать сырье для биогазовых установок.

Ключевые слова: биогаз, органическое сырье, ферментатор, биомасса, метан, энергетические растения, биогазовая установка.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SIMATIC S7-1200

О. В. ПОНТАЛЕВ, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Пастеризация молока – это ключевой процесс в современной пищевой промышленности, направленный на обеспечение безопасности и увеличение срока годности этого ценного продукта. Этот метод термической обработки назван в честь французского ученого Луи Пастера, который впервые продемонстрировал эффективность нагревания для уничтожения вредных микроорганизмов в жидкостях.

Основная цель пастеризации – уничтожение патогенных бактерий, таких как *Salmonella*, *E. coli* и *Listeria*, которые могут вызывать различные заболевания у человека. Процесс включает нагревание молока до определенной температуры (обычно от 63 °C до 75 °C) на определенный период времени (от 15 секунд до 30 минут), после чего молоко быстро охлаждается. Этот метод позволяет эффективно уничтожить большинство вредных микроорганизмов, сохраняя при этом питательные свойства и вкус молока.

Помимо безопасности, пастеризация значительно увеличивает срок годности молока. Уничтожение бактерий, вызывающих порчу, замедляет процессы разложения и брожения, позволяя молоку оставаться свежим гораздо дольше. Это особенно важно для дистрибуции молока на большие расстояния и для хранения в течение длительного времени в домашних условиях.

Следует отметить, что пастеризация не является стерилизацией. Она не уничтожает все микроорганизмы, а лишь наиболее опасные. Поэтому пастеризованное молоко требует хранения в холодильнике. Однако, благодаря пастеризации, молоко остается одним из самых безопасных и доступных источников питательных веществ для людей всех возрастов.

Основная часть. Внедрение микропроцессорных систем в сельское хозяйство является важным фактором повышения эффективности технологических процессов. Данный проект посвящен изучению возможностей применения микропроцессоров для автоматизации аграр-

ных процессов, в частности, процесса пастеризации молока. Принимая во внимание успешное применение программируемых логических контроллеров (ПЛК) в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, рассматривается возможность разработки программы управления процессом пастеризации молока на языке релейных схем (LD) в среде TIA Portal.

В рамках TIA Portal используется единый интерфейс пользователя для всех программных продуктов, обеспечивается поддержка функций навигации проектов, единой концепции использования библиотек, централизованного управления данными и обеспечения их полной согласованности, запуска необходимых редакторов, сохранения проектов, диагностики и множества других функций.

В качестве примера рассмотрим систему управления технологическим процессом пастеризации молока на базе микроконтроллера SIMATIC S7-1200 с управлением посредством панели оператора (рис. 1).

Технологический процесс можно условно представить рядом последовательных операций:

- загрузка молока обеспечивается последовательным включением вначале электромагнитного клапана К1, а потом запускается насос Н1;

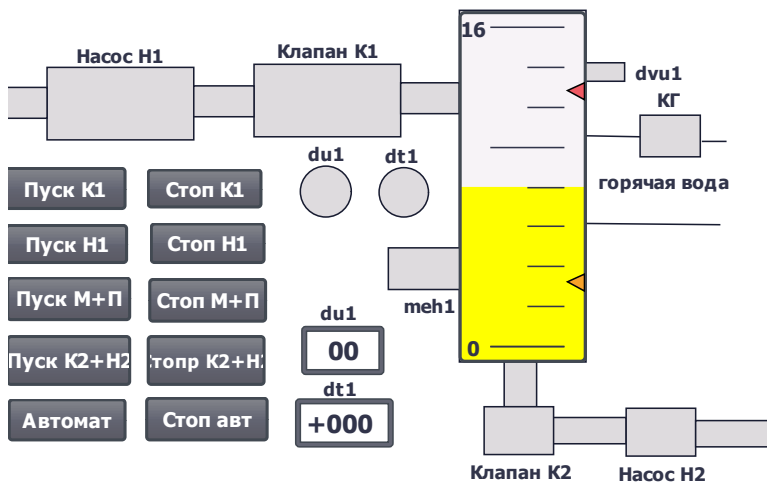


Рис. 1. Панель оператора КТР700 Basic PN

- происходит загрузка молока в танк, уровень определяется с помощью датчика давления, подключенного к аналоговому входу ПЛК, а текущее значение представляется на информационной панели du1;

- после достижения заданного уровня молока в танке происходит прекращение загрузки (выключается насос H1, потом клапан K1) и включается мешалка meh1 и клапан КГ, который подает горячую воду в теплообменный аппарат для обеспечения процесса пастеризации;

- значение температуры определяется с помощью датчика температуры, подключенного к аналоговому входу ПЛК, а текущее значение представляется на информационной панели dt1. При достижении заданной температуры включается таймер времени, встроенный в аппаратную схему ПЛК;

- после выдержки необходимого времени отключается мешалка meh1 и перекрывается клапан подачи горячей воды КГ. Далее происходит выгрузка пастеризованного молока последовательным включением клапана K2 и насоса H2;

- после выгрузки обработанного молока происходит последовательное отключение клапана K2 и насоса H2;

- далее происходит процесс промывки танка по выше представленной схеме, для последующей обработки следующего материала;

- после промывки танка цикл обработки молока повторяется.

Управление процессом осуществляется в двух режимах: ручном и автоматическом.

Визуально при работе оператор видит, включение и выключение оборудования технологической цепочки по изменению цвета объекта: синий оборудование выключено, а зеленый – работает.

В случае неправильной работы измерительных преобразователей давления и температуры все это представляется в виде аварийных сообщений на панели – загораются красным светосигнальные диоды du1 и dt1 [1].

Составление программы начинается с выбора контроллера, составления его «корзины» – добавление к ПЛК необходимых для работы модулей и выбор HMI панели.

Для составления данного проекта был выбран CPU 1214C DC/DC/Rly версии 4.2, позволяющая проводить симуляцию проекта в среде tia portal при отсутствии в собранной схеме управления процессом пастеризации микроконтроллера [2].

ЦПУ контроллера имеет следующие характеристики:

- питание 24 В пост. тока, встроенные DI14 x 24 В пост. тока SINK/SOURCE, DQ10 x реле и AI2;
- 6 встроенных быстрых счетчиков и 4 импульсных выводов;
- возможность расширения встроенных входов/выходов сигнальной платой;
- до 8 сигнальных модулей для расширения вводов/выводов;
- интерфейс PROFINET для программирования, HMI и коммуникации ПЛК-ПЛК.

Для ввода/вывода информации была выбрана панель оператора KTP700 Basic PN позволяющая произвести соединение с ЦПУ контроллера через PROFINET [2].

По завершении составления программы происходит ее проверка в режиме симуляции в среде программирования tia portal, которая реализует соединение виртуального контроллера и панели оператора для проверки работоспособности проекта по заданному алгоритму работы.

Заключение. Микроконтроллеры, как наиболее распространенные представители микропроцессорной техники, предлагают экономичное и эффективное решение для управления разнообразными системами. Объединяя в себе процессор, память и периферию, они минимизируют затраты. Внедрение инновационных подходов делает процессы более гибкими и легко настраиваемыми.

Использование инновационных решений и путей их реализации не только улучшает организацию процесса, но и позволяет сделать его гибким и регулируемым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программируемый контроллер S7-1200. Системное руководство. Издание 06/2019. A5E00307987-01. – 538 с.
2. Понталёв, О. В. Использование микроконтроллера SIMATIC S7-1200 в технологическом процессе пастеризации молока / О. В. Понталёв. – Брянск: Брянский ГАУ, 2025. – 272 с.

Аннотация. Рассмотрена возможность создания автоматической системы пастеризации молока на базе микроконтроллера SIMATIC S7-1200.

Ключевые слова: система пастеризации, молоко, микроконтроллер, температура.

КРАТКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

А. С. СИМЧЕНКОВ, ассистент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Процесс срочного охлаждения свежевыдоенного молока позволяет сохранить все качества продукта, подавляя развитие в нем микрофлоры. Чтобы за короткое время снизить температуру молока с +36 до +4–6 °С и грамотно организовать его хранение до переработки, используют танки-охладители. Несмотря на то, что свежевыдоенное молоко имеет естественную устойчивость к бактериям, только немедленное охлаждение молока до температуры 4–6 °С может остановить рост бактерий. Технологически правильное охлаждение молока – единственный путь к сохранению наилучшего качества молока и получению наибольшей прибыли [1–6].

Основная часть. Молоко является отличной средой для развития молочнокислых и маслянокислых бактерий. Бактерии в молоко попадают с вымени животного, из воздуха, с рук человека, из посуды и т. д. Оптимальная температура для роста и развития бактерий 25–40 °С и рН среда 6,8–7,4.

Молочнокислые бактерии, которые вызывают сквашивание молока, приостанавливают свой рост при температуре примерно 10 °С, а при температуре 2–4 °С их развитие полностью прекращается. Заморозка также помогает приостановить развитие бактерий в молоке, но в дальнейшем, при размораживании, многие бактерии возобновляют свою активность. Охладитель молока – аппарат для понижения температуры молока в целях подавления развития в нем микрофлоры. При этом между молоком и охлаждающей жидкостью происходит теплообмен через стенки труб или листы. Чем меньше загрязнено молоко, быстрее охлаждено и ниже температура его охлаждения, тем дольше сохраняются его свойства. В зависимости от продолжительности хранения молоко охлаждают до определенной температуры.

Теоретическому и экспериментальному исследованию процесса охлаждения молока посвящены работы М. В. Колончука, В. П. Миклуша, В. Г. Самосюка, В. М. Русских, В. С. Бабакина, В. Н. Кулагина, В. А. Выгодина и других ученых.

Для охлаждения молока в хозяйствах используют различные си-

стемы и способы, которые отличаются применяемыми хладагентами и хладоносителями (аммиак, фреоны, ледяная вода, рассол), способами охлаждения (в емкостях, потоке, с аккумуляцией холода), конструкцией компрессоров, их производительностью.

Выделяют объемное охлаждение, охлаждение в потоке и комбинированные системы.

1. Охлаждение жидкости на поток.

Предполагает использование пластинчатых или кожухотрубных теплообменников в качестве испарителей холодильной машины. Минимальная температура воды на выходе 3–4 °С. Используется для охлаждения жидкостей не более, чем на 7 К.

Характеризуется простотой, низкой стоимостью, но ограничена в применении – только для систем с постоянным расходом и постоянной или изменяющейся плавно тепловой нагрузкой.

Преимущества: простота, надежность, легкость в обслуживании; охлаждение любой жидкости с любыми конечными температурами; дешевизна. Недостатки: неустойчивость работы при резкопеременных нагрузках.

2. Охлаждение жидкости с накопительной емкостью.

Используется для постепенного охлаждения жидкости (охлаждения молока) за счет многократной циркуляции или накопления охлажденного хладоносителя в накопительной емкости. Предполагает возможность нескольких потребителей холода с непостоянным расходом жидкости и переменными тепловыми нагрузками. Может быть использована при наличии кратковременных пиковых нагрузках. Позволяет снабжать холодной жидкостью потребителей с большим перепадом температуры. Используются, как правило, пластинчатые или кожухотрубные теплообменные аппараты. Температура воды в емкости не ниже +4 °С. Для стабилизации режима работы водоохлаждающей машины и температуры хладоносителя в накопительной емкости могут быть установлены дополнительные перегородки.

Преимущества: простота, надежность, легкость в обслуживании, дешевизна. охлаждение любых жидкостей с любыми конечными температурами, возможность снабжением холодом потребителей с разными расходами охлаждающей жидкости, простота регулировки, устойчивая работа при любых режимах нагрузки.

Недостатки: необходима теплоизолированная емкость, требуется дополнительный насос хладоносителя.

3. Охлаждение жидкости с промежуточным хладоносителем.

Охлаждение жидкости при перепаде температур ($T_n - T_k$) более $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ производится с применением промежуточного хладоносителя и дополнительного теплообменника. Позволяет поддерживать температуру охлажденной жидкости с большой степенью точности и охлаждать жидкость на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более за один проход через теплообменный аппарат. При небольшой модификации схемы, можно получать воду с температурой на выходе до $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также используется для охлаждения жидкостей с высокой начальной температурой. Часто применяется в случае разветвленной сети подачи хладоносителя и удаленности объекта охлаждения от холодильной машины.

Преимущества: возможность охлаждения жидкостей в широком диапазоне температур, отсутствует риск разморозки испарителя, снижен риск разморозки промежуточного теплообменника, возможность поддержания температуры охлаждаемой жидкости с высокой точностью, возможность установки холодильной машины на большом расстоянии от потребителя холода.

Недостатки: сложность регулировки системы, требуется дополнительный насос, требуется теплообменник промежуточного контура, высокие требования к герметичности системы промежуточного хладоносителя.

4. Охлаждение с возможностью получения ледяной воды и накопления льда.

Этот способ применяется для получения ледяной воды и накопления запаса льда (при явно выраженных кратковременных пиках тепловых нагрузок потребителя). Ледяную воду получают с помощью пленочных или погружных испарителей. В первом случае панели испарителя, в которых кипит хладоагент, орошаются водой, стекающей из распределителя в виде пленки. Образовавшаяся ледяная вода с температурой $0,5\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ подается потребителю. Во втором случае испаритель погружен в воду и обеспечивает ее охлаждение, интенсивность которого усиливают с помощью мешалки или барботажа воздуха.

Преимущества: возможность снижения холодопроизводительности установки за счет накопления запаса ледяной воды или льда, работа при пиковых нагрузках.

Недостатки: высокая стоимость, большие габаритные размеры.

Резервуары-охладители используют для глубокого охлаждения молока (до $4\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$), его временного хранения в охлажденном виде. Внутренняя емкость резервуара имеет рубашку охлаждения, обеспечивающую циркуляцию охлаждающей жидкости между стенками резервуа-

ра. Теплоизоляционный слой препятствует повышению температуры внутри емкости. Охлаждение в резервуарах-охладителях подразделяют на непосредственное и косвенное. При непосредственном охлаждении хладагент холодильной машины отнимает тепло непосредственно от молока, при косвенном охлаждении – от промежуточного хладоносителя.

Недостатки охлаждения молока с использованием резервуара-охладителя.

Охлаждение при помощи резервуаров-охладителей имеет ряд недостатков, которые решены в системе мгновенного охлаждения молока:

1. Резервуары-охладители требуют наполнения резервуара-охладителя хотя бы на 10 %, а система мгновенного охлаждения позволяет охлаждать молоко в потоке.

2. Время охлаждения в резервуаре-охладителе до 4 градусов составляет около 2,5 часов, за это время в молоке увеличивается количество бактерий, следовательно, повышается вероятность некондиционного молока (кисляка), а ведь это потерянные деньги. С системой мгновенного охлаждения эта проблема решена, так как охлаждение происходит немедленно.

3. Еще один недостаток резервуаров-охладителей, смешивание молока, поступающего в охладитель от второй и последующих доек. В результате чего происходит изменение жирового и белкового состава молока.

Система «мгновенного» охлаждения молока предназначена для быстрого охлаждения молока перед его подачей в резервуар-охладитель. В состав системы, кроме танка - охладителя молока, как правило, входит мощный ледогенератор со своим холодильным агрегатом, трубчатый (или пластинчатый) теплообменник, насос для подачи воды, термостат и аппаратура управления. Молоко, проходя через теплообменник, охлаждается до 8–10 °С, а затем поступает в резервуар-охладитель для дальнейшего охлаждения (до 3–4 °С) и хранения. При правильно выбранном ледогенераторе данная система охлаждает молоко с 32 °С до 4 °С за 30–40 минут.

Достоинства системы мгновенного охлаждения молока.

Благодаря принципиально другому подходу к охлаждению, система мгновенного охлаждения накапливает холод в перерывах между дойками или приемками. Для накопления холода используется аккумулярованный лед. Благодаря этому молоко охлаждается в потоке по мере поступления. При этом исключается подмораживание молока. Система

экономична как в плане энергопотребления, так и в потреблении воды. Вода находится в замкнутом контуре и используется повторно.

Предварительное охлаждение молока искусственным холодом.

Эта система мгновенного охлаждения молока позволяет нам повысить качество молока. Она проста по конструкции и не требует больших затрат на обслуживание. На кафедре механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства создана опытная установка этого типа, предназначенная для охлаждения молока, получаемого в пастбищный период.

Заключение. На основании приведённых результатов опыта, можно сделать вывод, что с увеличением времени прохода жидкостей через теплообменник снижается расход хладоносителя на охлаждение единицы объема молока, но снижается и интенсивность (средняя скорость) охлаждения. Следовательно, 1-й способ охлаждения предпочтительнее, т.к. циркуляция хладоносителя упрощает постоянное поддержание его низкой температуры, также степень охлаждения у этого способа выше из-за меньшего теплообмена хладоносителя с окружающей средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведищев, С. М. Технологии и механизация первичной обработки и переработки молока / С. М. Ведищев, А. В. Милованов. – Тамбов: ТГТУ, 2005. – 152 с.
2. Колончук, М. В. Доильное и холодильное оборудование: особенности конструкций и технический сервис / М. В. Колончук, В. П. Миклуш, В. Г. Самосюк. – Минск: УМЦ Минсельхозпрод, 2006. – 242 с.
3. Механизация животноводства / В. Г. Гриб [и др.]. – Минск: Ураджай, 1997.
4. Практикум по механизации животноводства / Ю. Т. Вагин, А. В. Крупенин, В. А. Цыганок [и др.]. – Минск: Ураджай, 2000. – 477 с.
5. Рошка, Т. Б. Производственные технологии / Т. Б. Рошка, В. Н. Босак, О. В. Нилова. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – 102 с.
6. Ulrich Daniel. Kühe Halten / Daniel Ulrich. – Stuttgart, 2005.

Аннотация. Произведена классификация и анализ существующих систем охлаждения молока с выявлением достоинств и недостатков в эксплуатации.

Ключевые слова: охладитель молока, молочнокислые бактерии, резервуары-охладители, хладоноситель, пластинчатый теплообменник.

Секция 4. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 338.4

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕРВИСНЫХ КЛАСТЕРОВ

Н. В. АЛЕНТЬЕВА, канд. экон. наук, доцент
Т. С. КРАВЧЕНКО, канд. экон. наук, доцент
А. Б. ДУДАРЕВА, канд. экон. наук, доцент
А. А. СИДОРИН, канд. экон. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет»,
Орел, Российская Федерация

Введение. Современные вызовы глобальной экономики, усугубленные кризисными явлениями и санкционным давлением, актуализируют задачу поиска внутренних резервов устойчивого развития национальной экономики. В этих условиях ключевым фактором конкурентоспособности и экономического роста становится не только эффективность отдельных предприятий, но и синергетический эффект от их взаимодействия в рамках интегрированных структур. Одной из таких высокоэффективных форм пространственной организации хозяйства являются сервисные кластеры. В отличие от промышленных и агропромышленных кластеров, сервисные кластеры, объединяющие компании из таких отраслей, как ИТ, телекоммуникации, финансовые, образовательные, медицинские, туристические и логистические услуги, остаются менее изученными, несмотря на их значительный потенциал. Создание таких кластеров позволяет преодолеть ключевые проблемы регионов: сырьевую зависимость, диверсификацию экономики, создание высокопроизводительных рабочих мест, утечку квалифицированных кадров и повышение инвестиционной привлекательности.

Целью статьи является комплексное экономическое обоснование создания региональных сервисных кластеров через систематизацию и оценку совокупности возникающих экономических эффектов.

Основная часть. В условиях постиндустриальной трансформации глобальной экономики сектор услуг становится доминирующим источником ВВП и занятости. Однако его развитие в рамках многих регионов носит стихийный и фрагментированный характер, что не позволяет в полной мере реализовать потенциал роста. В этом контексте

кластерный подход, теоретической основой которого послужили работы М. Портера, доказал свою результативность в промышленном секторе. Его адаптация к специфике услуг позволяет сформировать мощный инструмент регионального развития – сервисный кластер. Сервисный кластер – это географическая концентрация взаимосвязанных компаний, специализирующихся на оказании услуг, а также связанных с ними организаций (образовательных, исследовательских, финансовых, инфраструктурных), которые конкурируют и сотрудничают в определенной сфере [1].

Кластерная модель основана на принципах синергии, кооперации и конкуренции (так называемая «коопетиция»). Применительно к сфере услуг ее ключевыми особенностями являются:

1. Опора на человеческий капитал. В отличие от промышленных кластеров, ядром конкурентоспособности сервисного кластера являются не технологии сами по себе, а высококвалифицированные кадры, чьи компетенции непрерывно развиваются.

2. Важность нематериальных активов. Репутация, бренд территории, качество обслуживания и уникальные бизнес-модели играют решающую роль.

3. Интеграция с другими секторами. Сервисные кластеры часто являются «обслуживающими» для промышленных, агропромышленных или туристско-рекреационных кластеров (например, логистические, ИТ-кластеры).

Экономическое обоснование создания кластера базируется на идентификации и количественной оценке совокупности позитивных эффектов, возникающих для его участников и региона в целом.

Создание сервисного кластера генерирует мультипликативную цепь экономических последствий (рис. 1) [2].

Экономическое обоснование должно носить комплексный характер и включать следующие этапы:

1. Анализ потенциала региона: выявление существующей концентрации предприятий сервиса, оценка качества человеческого капитала, анализ поддерживающей инфраструктуры и институтов.

2. Идентификация «точек роста»: выбор специализации кластера на основе сравнительных преимуществ региона (например, туризм, логистика, финансовые услуги, образовательные услуги, медицинский туризм).

3. Количественная оценка эффектов: расчет прямых экономических показателей; оценка мультипликативного эффекта: с использованием

метода «затраты-выпуск» (input-output analysis); анализ бюджетной эффективности: прогноз роста налоговых поступлений в сопоставлении с объемом возможных государственных инвестиций в инфраструктуру кластера.

4. Оценка рисков: Анализ таких рисков, как недостаток кооперации между участниками, «перегрев» рынка труда, высокая зависимость от конъюнктуры одного рынка.

Прямые (внутрикластерные) эффекты

- Снижение транзакционных издержек: Географическая близость и установленные доверительные отношения сокращают затраты на поиск партнеров.
- Доступ к специализированным ресурсам и инфраструктуре: Кластер создает общую платформу для доступа к уникальным базам данных, лабораториям.
- Эффект масштаба и специализации: Компании могут фокусироваться на своих ключевых компетенциях, передавая непрофильные функции другим участникам кластера.
- Ускорение инновационных процессов: Плотная коммуникация между университетами, исследовательскими центрами и бизнесом стимулирует генерацию новых сервисных продуктов, бизнес-моделей и технологий обслуживания.

Косвенные (внешние) эффекты для региона

- Мультипликативный эффект на занятость: Создание одного рабочего места в ядре кластера (например, в ИТ-компании) ведет к созданию дополнительных рабочих мест в смежных отраслях (общепит, транспорт, услуги по уборке, детские сады).
- Рост налоговых поступлений: Увеличение оборота компаний-участников и доходов их сотрудников напрямую пополняет региональный и местный бюджеты.
- Повышение инвестиционной привлекательности территории: Сформированный кластер становится «магнитом» для внешних инвестиций, венчурного капитала и талантливых специалистов.
- Усиление бренда региона: Территория приобретает известность как центр компетенций в конкретной сфере услуг (например, «Калининград — центр морского логистики», «Казань — IT-столица России»).

Рис. 1. Пример создание сервисного кластера

Успешное формирование и развитие регионального сервисного кластера детерминировано комплексом взаимосвязанных факторов, которые можно систематизировать по следующим группам (таблица) [3].

Комплексное экономическое обоснование создания регионального сервисного кластера выступает ключевым инструментом для минимизации указанных рисков и барьеров. Оно должно включать:

- анализ рыночного потенциала и оценку спроса;
- оценку инвестиционных затрат и операционных издержек;
- расчет прямых финансовых результатов;
- оценку мультипликативных и синергетических эффектов;
- анализ рисков и чувствительности.

Факторы формирования и развития регионального сервисного кластера

Институциональные и управленческие факторы	
Активная роль региональных властей	Разработка и реализация целенаправленной кластерной политики, включающей налоговые льготы, субсидии, инфраструктурную поддержку.
Наличие «точки кристаллизации»	Роль катализатора может выполнять крупный резидент (якорное предприятие), университет с сильными R&D компетенциями или отраслевая ассоциация, которые притягивают к себе малый и средний бизнес.
Эффективная система коллаборации)	Наличие платформ для сетевого взаимодействия между участниками кластера (бизнес, наука, власть), способствующих реализации совместных проектов.
Ресурсные и инфраструктурные факторы	
Концентрация человеческого капитала	Доступ к квалифицированным кадрам, что обусловлено наличием профильных вузов и образовательных центров
Развитая цифровая и физическая инфраструктура	Высокоскоростной интернет, современные коворкинги, технопарки, транспортная доступность и качественная городская среда
Доступ к финансовым ресурсам	Наличие механизмов венчурного финансирования, фондов поддержки малого и среднего предпринимательства, программ государственно-частного партнерства
Рыночные и инновационные факторы	
Наличие платежеспособного спроса	Как со стороны конечных потребителей, так и со стороны бизнеса (межфирменные услуги), что создает устойчивый рынок для участников кластера
Критическая масса участников и конкуренция	Достаточное количество компаний, работающих в смежных и взаимодополняющих сегментах сервисного рынка. Здоровая конкуренция стимулирует инновации и повышение эффективности
Инновационный климат и культура предпринимательства	Склонность к риску, внедрению новых бизнес-моделей и технологий, а также наличие «экосистемы знаний» (университеты, НИИ), обеспечивающей генерацию инноваций

Таким образом, выявление и учет факторов успеха, а также глубокий анализ барьеров с последующей их количественной и качественной оценкой в рамках экономического обоснования являются обязательным условием для принятия взвешенных управленческих решений и успешной реализации проектов по созданию региональных сервисных кластеров.

Заключение. Экономическое обоснование создания региональных сервисных кластеров демонстрирует их высокую эффективность как инструмента диверсификации и повышения конкурентоспособности экономики региона. Преимущества кластерного подхода выходят далеко за рамки простой суммы эффектов от отдельных предприятий. За счет синергии, снижения издержек и ускорения инноваций кластер становится точкой роста, оказывающей мультипликативное воздействие на весь регион.

Целенаправленное формирование сервисных кластеров требует от органов регионального управления не прямого вмешательства, а выполнения роли стратегического координатора, создающего благоприятные институциональные и инфраструктурные условия для кооперации бизнеса, науки и власти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронкова, О. Ю. Формирование и развитие систем управления цепочками поставок в продовольственных кластерах региона / О. Ю. Воронкова, Л. И. Петрова // Экономический обзор. – 2020. – № 3 (4). – С. 15–22.
2. Сафиуллин, Р. Р. Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы / Р. Р. Сафиуллин, Л. А. Симонова. – Москва : ООО «Директ-Медиа», 2024. – 500 с.
3. Хаценко, Е. С. Перспективы развития отраслевой кластеризации в системе региональной экономики / Е. С. Хаценко. – Санкт-Петербург: Центр научно-производственных технологий «Астерион», 2022. – 196 с.

Аннотация. Обоснована актуальность создания региональных сервисных кластеров как инструмента диверсификации экономики и преодоления сырьевой зависимости регионов.

Ключевые слова: сервисные кластеры, региональное развитие, кластерная политика, мультипликативный эффект, факторы формирования кластеров, диверсификация экономики.

АНАЛИЗ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МТП И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

А. Л. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент

В. А. ЛЕВЧУК, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Машинно-тракторный парк эксплуатируют в сложных условиях. Из-за контакта с почвой, растениями, топливно-смазочными материалами, удобрениями и влияния ряда других факторов поверхности тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин покрываются сорбционными слоями сложного и разнообразного состава – загрязнениями. Последние уменьшают устойчивость защитно-декоративных покрытий, повышают скорость коррозионных процессов, снижают уровень культуры технического обслуживания и ремонта машин и в конечном итоге служат одной из причин, приводящих к понижению надежности машин и агрегатов [1–4].

Основная часть. Загрязнения, встречающиеся при ремонте и обслуживании машин и оборудования различны по природе образования, условиям формирования, прочности, адгезии. Они представляют собой продукты как органических, так и неорганических соединений, их условно можно разделить на три основных вида: общие, технологические и смешанные.

К общим загрязнениям относят: пылегрязевые; почвенно-растительные остатки; остатки ядохимикатов, горюче-смазочных материалов; абразив, металлическая стружка, остатки моющих средств.

К технологическим относят: накипь; коксы; смолы; нагары; асфальто-смолистые отложения; продукты коррозии металлов; старые лакокрасочные покрытия.

К смешанным загрязнениям относят: продукты переработки ГСМ, охлаждающих жидкостей; ядохимикаты, продукты коррозии и др.

Обычно в условиях эксплуатации поверхности машин загрязнены не одним видом, а комплексами разнообразных загрязнений, несвоевременное и некачественное удаление которых приводит к интенсификации процесса старения машин и оборудования.

Механические свойства загрязнений изменяются в широких пределах: от свойств вязких веществ (масел), вязкопластичных (смазок), в

том числе мазеобразных (осадков), до свойств тел, обладающих пылеватой структурой (частицы почвы, атмосферная пыль) и твердых прочных образований (накипь, нагары и др.).

Характер загрязнений наружных поверхностей сельскохозяйственной техники зависит от условий эксплуатации и вида выполняемых работ. В атмосферном воздухе всегда содержится определенное количество пыли, которая в процессе эксплуатации техники и оборудования осаждается на их наружных и внутренних поверхностях.

Присутствующие в составе атмосферной пыли маслянистые загрязнения и попадающие в процессе эксплуатации техники остатки топливно-смазочных материалов усложняют процесс очистки поверхностей, придавая им свойство мягкости, которая интенсифицирует рост адгезии почвенных частиц и атмосферной пыли с деталями. Еще большей адгезией с очищаемыми поверхностями обладают загрязнения продуктов переработки эксплуатационных материалов и ядохимикатов.

По связи с очищаемой поверхностью все загрязнения можно разделить на три основные группы, которые различаются трудностью удаления загрязнений и их физико-химическими и механическими свойствами.

Первая группа – адгезионно-связанные (слабосвязанные загрязнения без примесей органических веществ).

Вторая группа – поверхностно адсорбционно-связанные (слабо связанные загрязнения с примесью органических веществ, до 35 %).

Третья группа – прочно (глубинно)-связанные (загрязнения, которые содержат в составе цементирующие и склеивающие вещества).

Адгезионно-связанные загрязнения – смесь хаотичных по ориентации и размерам частиц почвы, дорожной, атмосферной пыли с малым содержанием органических веществ (до 5...6 %), удерживаемых на поверхности только за счет молекулярных и электростатических.

Поверхностно адсорбционно-связанные загрязнения представляют собой остатки топливно-смазочных материалов, осадки смолистых отложений с большим содержанием органических веществ (более 6 %), которые удерживаются на поверхности не только за счет молекулярных и электростатических сил, но и за счет частичного поглощения загрязнений твердой поверхностью.

Прочно (глубинно) – связанные загрязнения состоят из лаков, полимеризованных смолистых отложений, нагара, краски, литейного и сварочного конгломератов, продуктов коррозии, окислы, накипи, адсорбционно-связанных с металлической поверхностью удобрений,

ядохимикатов, удерживаемых за счет прочного поглощения твердой поверхностью. В реальных условиях, может быть, сочетание нескольких видов загрязнений в различных соотношениях и последовательности.

Количество органических примесей в загрязнениях оказывает существенное влияние на качество очистки, и трудность их удаления возрастает по мере увеличения номера группы.

Заключение. Анализируя состав загрязнений и механизм их образования, можно наметить два направления решения проблемы повышения качества очистки (мойки) деталей, агрегатов, машин:

- предупреждение образования загрязнений или уменьшение адгезии их к металлической поверхности;
- разработка и внедрение в производство эффективных способов очистки (мойки) машин, агрегатов, деталей и материалов.

Первое направление следует отнести к числу профилактических, связанных с использованием техники. Оно охватывает следующие способы:

- введение присадок в топливо и масла;
- нанесение антиадгезионных покрытий;
- повышение уровня технического обслуживания машин.

Второе направление решения проблемы связано с ремонтом техники и требует в связи с неоднородностью состава и свойств загрязнений различных способов, средств и режимов их удаления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства / ред.: В. В. Гусаров [и др.]. – Горки: БГСХА, 2025. – 227 с.
2. Босак, В. М. Набірункі розвитку студентської навчальної діяльності в галузі ахової праці і безпеки життєдіяльності / В. М. Босак // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 3–5.
3. Разработка мероприятий по охране труда при постановке на хранение сельскохозяйственных машин, агрегатов и оборудования / А. С. Алексеенко, В. Н. Босак, В. В. Талашов, М. В. Цайц. – Горки: БГСХА, 2018. – 24 с.
4. Юцов, М. С. Применение пескоструйной обработки для очистки металлов / М. С. Юцов, В. А. Левчук // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 95–98.

Аннотация. Проведен анализ видов загрязнений МТП и намечены пути их устранения.

Ключевые слова: ремонт, техника, загрязнение, деталь, очистка.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ МАСЛА, ПРИМЕНЯЮЩЕГОСЯ В РЕЖУЩИХ АППАРАТАХ МНОГОРОТОРНЫХ КОСИЛОК

А. Л. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент
В. А. ЛЕВЧУК, канд. техн. наук, доцент
Н. С. СЕНТЮРОВ, ст. преподаватель

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. В режущих аппаратах многороторных косилок, такие как К-78М, АС-1 и их аналогов, выпускаемых белорусскими предприятиями, для смазывания шестерен привода роторов применяется смесь трансмиссионного масла ТЭп-15 и смазки общего назначения солидол Ж в равных долях [1, 2].

Во время работы косилки в масле накапливаются продукты износа трущихся деталей привода. Это приводит к ускорению абразивного изнашиванию деталей привода, и как следствие к их преждевременному выходу из строя.

Для того чтобы снизить содержание механических примесей в масле нами предложен и запатентован очиститель для центробежной очистки масла в режущих аппаратах многороторных косилок [3].

Теоретические исследования процесса центробежной очистки жидкости большинства ученых, таких как В. И. Гродзиевский, М. А. Григорьев, Н. Н. Липатов, В. И. Соколов, Д. Е. Шкоропад и других, опираются на такие показатели как плотность и вязкость дисперсной среды и дисперсной фазы. Поэтому обоснование параметров и расчет ожидаемых результатов применения очистителя выполняются с использованием вязкости масла, причем в процессе работы косилок меняется температура окружающей среды, от которой зависит и температура масла, а также происходит нагревание масла в процессе работы косилки.

Данное положение требует исследования вязкости масла режущих аппаратов многороторных косилок в зависимости от температуры.

Основная часть. Вязкость масла напрямую зависит от температуры масла и при различных температурах масла его вязкость также разная, чем выше температура, тем ниже вязкость.

Известны [4, 5] вязкости солидола Ж и трансмиссионного масла ТЭп-15. Однако для смеси смазочных материалов значения вязкости в зависимости от температуры изучены недостаточно хорошо.

Для определения необходимого температурного диапазона, в котором целесообразно исследовать вязкость смеси масел, было проведено определение температуры смеси масел при работе косилки в полевых условиях. За минимальную температуру масла в режущем аппарате многороторной косилки во время ее работы можно принять температуру окружающей среды, при которой происходит окашивание объекта. Она зависит как от места расположения объекта, на котором происходит окашивание, так и от календарных сроков проведения работ. В условиях Республики Беларусь окашивание производится при температурах от 10 °С до 30 °С.

При измерении температуры масла на работающих косилках было установлено, что максимальная температура масла для косилки К-78М составляет 67 °С, а для косилки АС-1 – 69 °С.

После определения диапазона температур масла, были проведены опыты по определению вязкости масла в данном диапазоне температур по методике [6].

Для исследований готовилась смесь, состоявшая из равных по массе частей трансмиссионного масла ТЭп-15 и смазки общего назначения солидол Ж. Чтобы получить равномерную смесь масла помещались в чистый стеклянный сосуд, предварительно вымытый бензином и высушенный. На электрической плите смесь медленно нагревали при постоянном перемешивании до температуры 70 °С. Температура смеси контролировалась термометром ТЛ-2. После доведения до требуемой температуры сосуд снимался с электрической плиты и постепенно охлаждался до комнатной температуры при перемешивании смеси.

Для определения вязкости в сосуд с дистиллированной водой устанавливали электронагреватель, для нагрева воды до необходимой температуры. Для измерения температуры воды использовали ртутный термометр ТЛ – 2 ГОСТ215 – 73, предел измерения от 0 °С до 100 °С, цена деления 1 °С. В сосуд помещали мешалку, необходимую для создания одинаковой температуры воды по всему объёму сосуда.

С помощью вискозиметра определяли кинематическую вязкость масла. Для исследований применялись вискозиметры марки ВПЖ-2 ТУ 10028-81 с различными диаметрами капилляров. Время истечения масла в вискозиметре замерялось с помощью секундомера. Точность измерения составляла 0,01 с.

Между последовательными определениями вязкости масла, а также перед началом проведения опытов вискозиметр тщательно промывался и высушивался. Вискозиметр вначале промывался несколько раз бензином, затем тщательно ополаскивался дистиллированной водой и осушающим растворителем – ацетоном. После чего вискозиметр тщательно сушился.

Измерения вязкости производили через каждые 5 °С при постепенном повышении температуры от 20 °С до 70 °С. После этого производили измерения при таком же понижении температуры смеси.

Кинематическую вязкость ν вычисляют по среднему (из нескольких измерений) времени истечения масла по формуле

$$\nu = T \cdot K, \quad (1)$$

где T – время истечения масла, с;

K – постоянная вискозиметра, $\text{м}^2/\text{с}^2$.

По полученным экспериментальным результатам кинематической вязкости масла в зависимости от его температуры была построена зависимость, представленная на рис. 1.

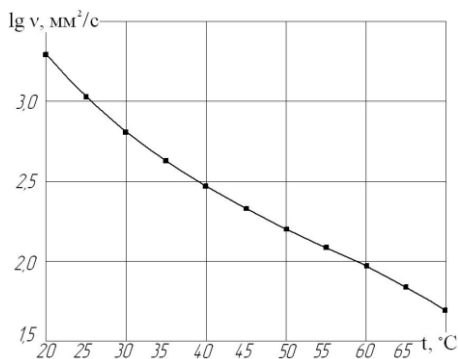


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости масла от его температуры

При этом для графического представления результатов измерения использовалась полулогарифмическая шкала, так как значение кинематической вязкости масла при 70 °С относительно невелико, а при температуре 20 °С оно значительно возрастает [7].

Достаточно адекватно при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,998$ результаты измерений описываются следующим уравнением:

$$\nu = 1,0011 \cdot t^4 - 30,013 \cdot t^3 + 330,56 \cdot t^2 - 1629,9 \cdot t + 3286,8, \quad (2)$$

где t – температура масла, °С.

Заключение. Температура масла в режущем аппарате многороторной косилки изменяется от температуры окружающей среды, до 67 °С для косилки К-78М и 69 °С для косилки АС-1 в рабочих условиях. Кинематическая вязкость смеси масел составила $1982 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ при 20 °С и $48,9 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ при 70 °С. Полученные значения кинематической вязкости масла в зависимости от его температуры, необходимы для расчета параметров центробежного очистителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косилка откосов каналов К-78М. Руководство по эксплуатации. – Минск, 2008. – 44 с.
2. Косилка ротационная навесная АС-1. Руководство по эксплуатации. – Минск, 2007. – 38 с.
3. Режущий аппарат роторной косилки: пат. 6876 Респ. Беларусь, МПК А01D 34/00 / Е. И. Мажугин, А. Л. Борисов, С. Г. Рубец; заявитель БГСХА. № u 20100403; заявл. 23. 04. 10; опубл. 30. 12. 10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – №.6 – С. 145.
4. Смазка, солидол жировой. Технические условия: ГОСТ 1033-79. – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 6 с.
5. Масла трансмиссионные. Технические условия: ГОСТ 23652-79. – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 10 с.
6. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33-2000. – Введ. 01.01.2002. – Минск: Межгосударственный стандарт, 2000. – 21 с.
7. Мажугин, Е. И. Определение плотности и вязкости масла, применяющегося в редукторе привода режущего аппарата многороторных косилок / Е. И. Мажугин, А. Л. Борисов, А. В. Пашкевич // Вестник БГСХА. – 2015. – № 1. – С. 126–129.

Аннотация. Обоснована необходимость определения вязкости масла, применяющегося в режущем аппарате многороторных косилок. Описана методика проведения лабораторных исследований. Приведена графическая зависимость вязкости масла от его температуры.

Ключевые слова: вязкость, масло, многороторная косилка, режущий аппарат.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АУТСОРСИНГА В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ АПК: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

А. Б. ДУДАРЕВА, канд. экон. наук, доцент
Т. С. КРАВЧЕНКО, канд. экон. наук, доцент
Н. В. АЛЕНТЬЕВА, канд. экон. наук, доцент
А. А. СИДОРИН, канд. экон. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет»,
Орел, Российская Федерация

Введение. Современный АПК характеризуется высокой степенью механизации и автоматизации. Техническая готовность машинно-тракторного парка является критическим фактором выполнения полевых работ в сжатые агротехнические сроки. Однако содержание собственной сервисной службы требует значительных капиталовложений в оборудование, запчасти и высококвалифицированный персонал, что для многих предприятий, особенно средних и малых, экономически нецелесообразно. Противоречие между необходимостью поддержания высокого уровня технической готовности техники и высокими затратами на содержание собственной сервисной инфраструктуры [1–3].

Цель статьи – разработать и систематизировать модели аутсорсинга для технического сервиса в АПК, провести оценку их эффективности и идентифицировать ключевые риски их реализации.

Основная часть. Аутсорсинг в техническом сервисе агропромышленного комплекса (АПК) – это сложное стратегическое решение, driven как внешними рыночными условиями, так и внутренними потребностями сельхозпредприятий. В табл. 1 представлены Предпосылки и мотивы аутсорсинга в техническом сервисе АПК.

Переход на аутсорсинг в техническом сервисе АПК – это эволюция от модели «иметь» (собственную сервисную структуру) к модели «использовать» (услуги специализированного партнера).

Предпосылки (усложнение техники, стоимость, кадры) создают проблемное поле, а мотивы (снижение затрат, фокус на ядерной компетенции, доступ к инновациям) показывают путь к их решению и повышению общей конкурентоспособности сельскохозяйственного предприятия. В современных условиях это не просто способ сэкономить, а стратегический инструмент для устойчивого развития бизнеса в высококонкурентной среде.

Таблица 1. Предпосылки и мотивы аутсорсинга в техническом сервисе АПК

Предпосылки	Мотивы
Экономические факторы	Снижение капитальных затрат (отказ от покупки дорогостоящего диагностического и ремонтного оборудования). Сокращение операционных расходов (фонд оплаты труда сервисных инженеров, содержание помещений). Перевод постоянных издержек в переменные.
Технологические факторы	Усложнение конструкции сельскохозяйственной техники (электронные системы управления, GPS-навигация), требующее узкоспециализированных знаний и оборудования. Доступ к передовым технологиям и методикам ремонта, которыми владеет специализированный подрядчик.
Операционные факторы	Повышение качества и скорости сервисного обслуживания. Концентрация на ключевой деятельности (производство растениеводческой или животноводческой продукции). Гибкость и масштабируемость сервисной поддержки в пиковые периоды (посев, уборка).

В табл. 2 систематизирована классификация моделей аутсорсинга в техническом сервисе АПК и представлены их основные характеристики.

Для оценки эффективности моделей аутсорсинга предлагается использовать систему следующих показателей:

1. Экономическая эффективность:

- снижение совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) техникой;
- коэффициент экономии затрат на сервис;
- рентабельность сервисных операций (косвенно, через увеличение рентабельности основного производства).

2. Операционная эффективность:

- коэффициент технической готовности парка;
- среднее время простоя техники в ремонте;
- количество простоев по вине техники в сезон.

3. Качественные показатели:

- удовлетворенность аграриев качеством сервиса.
- квалификация сервисного персонала подрядчика.

Аутсорсинг в техническом сервисе АПК – это не способ просто сэкономить, а сложный стратегический инструмент. Его успешное применение требует взвешенного подхода, глубокого анализа рисков и выстраивания долгосрочных партнерских отношений с надежным подрядчиком, а не просто поиска исполнителя по самой низкой цене.

Таблица 2. Классификация моделей аутсорсинга в техническом сервисе АПК

Сущность	Целевая аудитория	Эффективность
Модель 1. Полный (комплексный) аутсорсинг		
Передача сторонней организации всех функций технического сервиса: от планового ТО и диагностики до сложного ремонта и обеспечения запчастями	Средние и крупные предприятия, желающие полностью высвободить ресурсы от непрофильной деятельности.	Максимальное снижение затрат и административной нагрузки.
Модель 2. Селективный (выборочный) аутсорсинг		
Передача на внешнее обслуживание только отдельных, наиболее сложных или капиталоемких видов работ (например, ремонт трансмиссий, двигателей, электронных систем, шиномонтаж)	Предприятия любого размера, имеющие собственную базовую сервисную базу, но не способные покрыть весь спектр ремонтов	Оптимизация затрат на конкретные дорогостоящие виды услуг, сохранение контроля над ключевыми процессами
Модель 3. Аутсорсинг по критерию «Затраты-Капитал» (Cost-Capital Outsourcing)		
Смешанная модель, при которой предприятие передает внешнему подрядчику функции, требующие значительных капитальных вложений (например, диагностическое оборудование), оставляя за собой операции с высокими операционными затратами, но не требующие дорогостоящих активов	Инновационно ориентированные предприятия, стремящиеся минимизировать капитальные вложения	Улучшение структуры баланса, доступ к современным активам без их покупки

Для управления рисками аутсорсинга в техническом сервисе АПК их первоначально необходимо идентифицировать. Виды рисков и методы их минимизации представлены в табл. 3.

Таблица 3. Риски аутсорсинга в техническом сервисе АПК

Риск	Метод минимизации
Риск потери контроля над качеством	Разработка детального SLA (Соглашение об уровне сервиса), система штрафов и бонусов, регулярный аудит подрядчика
Риск зависимости от подрядчика	Диверсификация подрядчиков (для селективной модели), наличие резервного подрядчика, детальная проработка условий расторжения контракта
Риск недобросовестности подрядчика (завышение стоимости, использование неоригинальных запчастей)	Прозрачная система ценообразования, право проверки используемых материалов, репутационный отбор подрядчика
Операционные риски (несоблюдение сроков, особенно в пиковые периоды)	Приоритизация в договоре, создание совместных мобильных бригад на период уборочной кампании
Риск утечки данных и ноу-хау	Включение в договор пунктов о конфиденциальности

Заключение. Аутсорсинг в техническом сервисе АПК является действенным инструментом повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий за счет снижения затрат и повышения качества сервиса. Не существует универсальной модели аутсорсинга; ее выбор должен быть основан на глубоком анализе специфики предприятия.

Селективная модель является наиболее гибкой и наименее рискованной для начального этапа внедрения аутсорсинга.

Ключевым условием успеха является не столько выбор модели, сколько качество управления взаимоотношениями с подрядчиком и проработанность контрактных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, С. П. Моделирование системы аутсорсинга в техническом сервисе сельскохозяйственных организаций / С. П. Иванов, Е. Н. Петрова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 5. – С. 45–52.
2. Логинова, А. С. Управление рисками при передаче функций технического сервиса на аутсорсинг в сельском хозяйстве / А. С. Логинова, О. С. Федоров // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 4 (376). – С. 33–37.
3. Смирнов, В. Г. Экономическая эффективность аутсорсинга в ремонтно-технической службе сельскохозяйственного предприятия / В. Г. Смирнов // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 6 (81). – С. 112–118.

Аннотация. Рассмотрена актуальная проблема повышения эффективности технического сервиса в агропромышленном комплексе (АПК) за счет разработки и внедрения рациональных моделей аутсорсинга.

Ключевые слова: АПК, технический сервис, аутсорсинг, модели аутсорсинга, эффективность, риски, сельскохозяйственная техника, сервисное обслуживание.

АНАЛИЗ ВИДОВ НАПЛАВОК ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

В. А. ЛЕВЧУК, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. В процессе эксплуатации различных механизмов, приходится иногда сталкиваться с необходимостью наплавить металл в том или ином месте детали. Разбитое крепежное отверстие, истертая в процессе эксплуатации поверхность, выкрошенная кромка металлорежущего инструмента, изношенная втулка подшипника. Во всех этих случаях можно обойтись без замены детали, восстановив ее способом наплавки металла на изношенную часть. Наплавка на деталь металла позволяет не только восстановить первоначальные свойства изделия, но и придать ему совершенно новые ценные качества [1–4].

Основная часть. В зависимости от марки металла наплавка может производиться без подогрева изделия и с предварительным подогревом. Основными требованиями, предъявляемыми к качеству наплавки, являются: надежное сплавление основного металла с наплавленным; отсутствие дефектов в наплавленном металле; идентичность свойств наплавленного металла. Надежное сплавление наплавки с основным металлом обеспечивается подбором силы тока, что для наплавочных установок с постоянной скоростью подачи электрода соответствует подбору скорости подачи проволоки или ленты.

В настоящее время в промышленной и производственных сферах используется большое количество способов наплавки. Рассмотрим различные виды наплавления в зависимости от типа используемого наплавочного материала.

Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами. Наплавка электродами с покрытием является наиболее универсальным методом, может осуществляться во всех пространственных положениях. Применяется как в промышленной отрасли, так и в бытовой сфере. Популярность данного способа обусловлена несколькими причинами: простота, гибкость, отсутствие необходимости в специальном оснащении.

Основные недостатки: низкая производительность, тяжелые условия для исполнителя, нестабильность качества полученного слоя, большое проплавление основного материала.

С помощью определения состава металла подбирается тип электрода, а толщина и форма заготовок влияет на диаметр сварочного стержня. Если толщина наплавленного материала составляет менее 1,5 мм – то диаметр прутка должен быть 3 мм. При толщине более 1,5 мм – 4...6 мм. Поверхность детали нужно очистить от различного рода загрязнений. Необходимость предварительного подогрева и последующей термообработки также зависит от марки используемых электродов.

Наплавка изделий из стали осуществляется на постоянном токе обратной полярности. Данный метод подразумевает применение различных схем наплавочных швов.

Вибродуговая наплавка выполняется путем вибрации электрода, амплитуда которой составляет 0,75–1,0 диаметра стержня. Процедура осуществляется на токе обратной полярности силой в 80–300 А. В моменты соприкосновения основного изделия и проволоки электрода происходит короткое замыкание, которое разогревает обе поверхности до температуры плавления.

В качестве присадочного материала могут применяться электроды различного сечения: прутки, пластины и т. п.

Основные достоинства: процесс остается устойчивым в обширном диапазоне плотностей тока: 0,2–300 А/мм², возможность наплавки слоев большой толщины за один проход, данный способ может применяться для работы с материалами, склонными к образованию трещин, возможность придавать наплавленному металлу нужную форму.

Главные недостатки: перегрев основного изделия в зоне термического влияния из-за большой погонной энергии процесса, необходимость сложного и уникального оборудования, невозможность получения тонких слоев, значительная длительность подготовки.

В настоящее время активно используется метод *плазменной наплавки*. В качестве источника тепла выступает высокотемпературная сжатая дуга, получаемая в специальных горелках. Присадочным материалом может быть наплавочный порошок, лента, проволока, электрод и пр. Плазменная наплавка с подачей в ванну двух плавящихся электродов обеспечивает высокую производительность.

Универсальным подвидом плазменной наплавки является наплавление с вдуванием порошка в дугу. При выполнении подобных работ

применяется горелка комбинированного типа, которая выдает два вида дуги: прямая и косвенная. Наплавочные порошки при помощи транспортирующего газа подаются из питателя в горелку и там вдуваются в дугу. За время пребывания в дуге большая часть порошка расплавляется, и на поверхность основного изделия он попадает в виде капелек.

Рабочую поверхность перед началом наплавления следует зачистить от различных загрязнений: ржавчина, влага, окалина и масло. При наложении первого наплавочного слоя каждый предыдущий валик нужно перекрывать на 20–30 % его ширины.

Основные преимущества: высокое качество наплавленного слоя, небольшая глубина проплавления основного металла, высокая прочность сцепления, возможность получения слоев малой толщины.

Недостатки: сравнительно невысокий уровень производительности, наличие сложного оснащения.

Дуговая наплавка под флюсом имеет несколько характерных черт: высокая производительность, большая универсальность и широкие возможности легирования основного металла.

Выделяют четыре вида дуговой наплавки под флюсом:

1. Широкое распространение имеет электродуговая наплавка лентой. Дуга, возникающая на торце электродной ленты, перемещается от одной кромки к другой. В результате этих циклических движений получается рассеянное тепловложение в основное изделие.

2. Многоэлектродная электродуговая наплавка. Суть процесса заключается в том, что дуга автоматически возникает на торце то одного, то второго электрода, которые расположены на некотором расстоянии друг от друга и имеют общий токопровод. Дуга перемещается с одного стержня на другой, приводя к попеременному расплавлению прутков.

3. Многодуговая электродуговая наплавка. Данный вид во многом схож с многоэлектродным способом. Только здесь количество электрических дуг соответствует количеству электродов.

4. Вибродуговая наплавка под флюсом подразумевает выполнение процесса с помощью колебательных движений электрода.

Кроме уже перечисленных достоинств, дуговое наплавление под флюсом имеет следующие преимущества: малые потери электродного металла, отсутствие излучения.

Недостатки: большое проплавление основного металла, необходимость применения флюсоформирующих устройств, наплавку возможно проводить только в нижнем пространственном положении, при ра-

боте с деталями малого диаметра и глубокими внутренними поверхностями имеются затруднения по удалению шлаковой корки.

Наплавка в среде защитных газов. Наиболее популярным методом является наплавка плавящимся электродом в среде углекислого газа, который характеризуется доступностью и дешевизной. Данный способ позволяет работать с деталями небольших диаметров и наносить на них слои толщиной от 0,5 до 3,5 мм.

Основные достоинства: отличное качество наплавленного металла, высокая производительность.

Недостатки: повышенный уровень разбрызгивания, для получения качественного дополнительного слоя необходимо применение специальной проволоки.

Наплавка в среде инертного газа проводится плавящимся и неплавящимся электродом. В первом случае дуга возникает между электродом и основным металлом. Наплавление осуществляется в условиях автоматической подачи электродной проволоки. В качестве защитной среды выступает смесь аргона с кислородом или углекислым газом.

В качестве неплавящихся электродов во втором случае выступают графитовые, угольные или вольфрамовые электроды. Присадочный материал вводится в зону дуги в виде проволоки или порошка. При наплавке угольным прутком наплавочные порошки насыпают на основную поверхность, а после расплавляют. Наплавленный слой обладает невысоким качеством из-за присутствия пор, неметаллических включений и других дефектов.

Дуговая наплавка порошковыми лентами и проволоками. Данный метод не требует использования флюса или защитных газов. Поэтому основными характеристиками этого способа являются простота и маневренность. Также для исполнителя создается возможность работать с деталями сложной формы, глубокими внутренними поверхностями, элементами малого диаметра и т. д.

Стабильность дуги и защита расплавленного металла от азота и кислорода из воздуха гарантируются за счет наличия необходимых компонентов сердечника электродного материала.

Газовая наплавка. В данном методе в качестве источника тепла используется газовое пламя, производящееся специальными горелками. Наплавочными материалами могут быть проволоки, стержни и прутки. Процесс наплавления с участием данных материалов практически не отличается от электродуговой наплавки.

В последнее время получила распространение газопорошковая наплавка. Данный метод позволяет упрочнять детали, обладающие

сложной конфигурацией, тонким слоем металла от 0,1 до 0,3 мм. При этом не происходит разбавление основного металла. Порошок через газокислородное пламя подается в рабочую зону. В результате нагрева порошок в пластичном и расплавленном состоянии достигает поверхности детали. Затем он затвердевает и образует наплавленный слой металла.

Преимущества: малое проплавление основного металла, универсальность технологии, возможность получения тонких слоев наплавленного металла.

Недостатки: низкая производительность, нестабильность качества наплавленного слоя, невысокий коэффициент использования присадочных материалов.

Лазерная наплавка выполняется с помощью высококонцентрированного источника энергии – лазерного луча. Данный метод не требует использования вакуумных камер. В качестве присадочного материала могут применяться прутки, ленты, обмазки.

Плюсы: высокая прочность сцепления, малое и контролируемое проплавление основного металла, возможность получения тонких слоев – до 0,3 мм, небольшая деформация деталей; возможность работы с труднодоступными поверхностями; лазерный луч может воздействовать сразу на несколько мест.

Минусы: низкая производительность, низкий КПД всего процесса, необходимо иметь сложное и дорогостоящее оснащение.

Электронно-лучевая наплавка производится в вакууме, представляет собой плавление основного и присадочного материалов электронным лучом. Электронный пучок позволяет регулировать нагрев как основного, так и присадочного материалов. Причем, происходит это раздельно, что позволяет свести к минимуму смешивание двух материалов. В качестве присадочного материала может применяться порошковая или сплошная проволока.

Достоинства: небольшое проплавление основного металла, возможность получения слоев малой толщины.

Недостатки: сложность оборудования и его высокая стоимость, необходимость биологической защиты исполнителя.

Электроконтактная наплавка осуществляется проволокой или порошком на специальном аппарате.

Преимущества: высокая производительность, низкие энергозатраты, отсутствует необходимость в защитной среде, минимальная зона термического воздействия из-за малой длительности импульсов.

Недостатки: ограниченность номенклатуры обрабатываемых изделий. Данный метод применяется для восстановления следующих деталей: валы, оси, штоки, барабаны и другие элементы, износ которых по диаметру не превышает 1–1,5 мм.

Для *наплавки трением* используется присадочный прут, который торцом прижимают к наплавляемой поверхности и вращают относительно продольной оси.

Наплавка взрывом. Плакирование с применением энергии взрыва осуществляется по технологии сварки взрывом.

Преимущества: возможность работы с металлами, соединение которых другими способами сложно или невозможно выполнить, отсутствие проплавления основного металла, минимальный уровень деформации изделий. Недостатки: необходимость специальных полигонов, значительная длительность подготовки, ограниченная номенклатура деталей, которые обрабатываются этим методом.

Заключение. Рассмотрены основные виды наплавки, их преимущества и недостатки. При выборе типа наплавки необходимо учитывать материалы, которые будут использоваться, а также требования к прочности и точности соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства / ред.: В. В. Гусаров [и др.]. – Горки: БГСХА, 2025. – 227 с.
2. Гусаров, В. В. Роль научных конференций в развитии научной деятельности факультета механизации сельского хозяйства УО БГСХА / В. В. Гусаров, В. Н. Босак, В. А. Левчук // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 3–6.
3. Ельницкий, В. А. Виды наплавки для восстановления деталей машин и механизмов, их преимущества и недостатки / В. А. Ельницкий, В. А. Левчук // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 135–140.
4. Разработка мероприятий по охране труда при постановке на хранение сельскохозяйственных машин, агрегатов и оборудования / А. С. Алексеенко, В. Н. Босак, В. В. Талашов, М. В. Цайц. – Горки: БГСХА, 2018. – 24 с.

Аннотация. Проведен анализ видов наплавки для восстановления деталей машин и механизмов, выявлены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: деталь, машина, наплавка, металл, прочность.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СХЕМ ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Е. И. МАЖУГИН, канд. техн. наук, доцент
А. Л. КАЗАКОВ, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Очистка жидкостей является одним из широко распространенных технологических процессов, выполняемых в самых разных сферах. Само понятие «очистка» имеет разные значения. В данной публикации мы рассмотрим очистку как процесс удаления из очищаемой жидкости (дисперсной среды) раздробленного (диспергированного) и перемешанного с ней твердого или нерастворимого жидкого вещества.

Схематически загрязненные жидкости можно рассматривать как гетерогенные системы, т. е. системы, характеризующиеся различием свойств в отдельных областях пространства, занимаемого системой, и существованием реальных физических поверхностей раздела между этими отдельными областями. Такие поверхности раздела существуют на границе между частицами загрязнений и очищаемыми жидкостями. По существующей классификации [1] сплошная непрерывная фаза дисперсной системы называется дисперсной средой, а находящиеся в ней частицы – дисперсной фазой.

Количественной мерой дисперсности вещества является степень дисперсности, представляющая собой величину, обратную размеру (диаметру или поперечнику) дисперсных частиц.

Дисперсную систему, состоящую из жидкой фазы и рассредоточенных в ней твердых частиц, называют суспензией или взвесью. Суспензия, в которой твердая фаза имеет коллоидную степень раздробленности, называется коллоидным раствором или золем.

Кроме двухфазных систем в технике встречаются трех- и четырехфазные.

В таблице приведена принятая градация дисперсных систем по размерам дисперсных частиц и степени дисперсности.

Обычно при технологической очистке жидкостей рассматривают грубо- и высокодисперсные системы. Задачу очистки жидкостей можно сформулировать как задачу разделения фаз дисперсных систем или снижения содержания дисперсных фаз в дисперсной среде до приемлемого уровня. При этом, как правило, решается и задача удаления из

системы диспергированных частиц с размерами большими допустимых при минимальных затратах на этот процесс.

Классификация дисперсных систем по степени дисперсности

Класс системы	Раздробленность вещества	Размер частиц, мм	Степень дисперсности, мм ⁻¹
Грубодисперсная	Макроскопическая	10...10 ⁻¹	10 ⁻¹ ...10
Высокодисперсная	Микроскопическая	10 ⁻¹ ...10 ⁻⁴	10...10 ⁴
Предельно высокодисперсная	Коллоидная	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁶	10 ⁴ ...10 ⁶
Молекулярная и ионная	Молекулярная и ионная	10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁷	>10 ⁶

Основная часть. Автором опубликован ряд работ, посвященных проблемам очистки жидкостей в машиностроении. Важнейшими из публикаций являются [2, 3, 4].

При очистке жидкостей можно рассматривать следующие основные варианты:

1) однократное переливание жидкости, имеющей исходную постоянную концентрацию загрязнений из одной емкости в другую через очищающее устройство постоянной пропускной способности, снижающее концентрацию загрязнений при постоянной очищающей способности очищающего устройства;

2) переливание жидкости, имеющей исходную концентрацию загрязнений из одной емкости в ту же емкость через очищающее устройство постоянной пропускной способности, снижающее концентрацию загрязнений при постоянной очищающей способности очищающего устройства.

Очищающую способность очищающего устройства характеризуют степенью очистки ϕ , коэффициентом очистки или коэффициентом отсева, значение которого определяется по формуле

$$\phi = (C - C_1) / C, \quad (1)$$

где C – исходная концентрация удаляемого из жидкой дисперсной системы вещества;

C_1 – концентрация удаляемого из жидкой дисперсной системы вещества в жидкой системе, прошедшей через очищающее устройство.

Данная величина (ϕ) может быть выражена в процентах, тогда числитель формулы (1) следует умножить на 100.

В работе [5] теоретически рассмотрен процесс очистки масла в картере двигателя внутреннего сгорания центробежным безрасходным

очистителем. Здесь использовано понятие среднего коэффициента отсева (среднего значения коэффициента очистки) $\varphi_{n\text{ ср}}$

$$\varphi_{n\text{ ср}} = (\varphi_{n\text{ нач}} + \varphi_{n\text{ кон}}) / 2, \quad (2)$$

где $\varphi_{n\text{ нач}}$, $\varphi_{n\text{ кон}}$ – соответственно начальное и конечное значения коэффициента отсева n -го прохода масла через маслоочиститель.

Предлагается [5] при отсутствии расхода (потерь) масла расчет количества примесей m_n , остающихся в прошедшем через очиститель n раз масле, выполнять по следующей формуле

$$m_n = (m_{n-1} + a)(1 - \varphi_{n\text{ ср}}), \quad (3)$$

где m_{n-1} – количество примесей, остающихся в прошедшем через очиститель $n - 1$ раз масле, кг;

a – количество примесей, поступающих в масло в течение одного прохода, кг.

При этом в очистителе накапливаются загрязнения, уменьшающие коэффициент отсева по закону

$$\varphi = \varphi_0 - cM, \quad (4)$$

где φ_0 – начальная величина коэффициента отсева;

M – количество механических примесей в очистителе, кг;

c – коэффициент при M , кг^{-1} , вычисляемый по формуле

$$c = \varphi_0 / M_{\text{м}}, \quad (5)$$

где $M_{\text{м}}$ – максимально возможное количество удаляемых примесей в очистителе, кг.

В зависимости от числа проходов масла n количество механических примесей в очистителе предлагается [5] определять по следующим формулам

$$M_{n-1} = (n - 1) a - m_{n-1}; \quad (6)$$

$$M_n = na - m_n, \quad (7)$$

где n – количество проходов масла через очиститель;

m_n – количество механических примесей, остающихся в масле, прошедшем очистку, кг.

Могут иметь место и другие схемы, однако все они описываются перечисленными вариантами или их комбинациями. Тем не менее, необходимо отметить, что в реальных технических системах обычно

присутствуют явления, существенно усложняющие рассмотренные схемы очистки. Так, меняется объем очищаемой жидкости, меняются характеристики очищающего устройства, причем закон, описанный формулой (4), не всегда выполняется, часть очищаемой жидкости может быть использована на привод очистителя, поступление загрязнений в очищаемую жидкость не всегда равномерное, меняется температура, а, следовательно, вязкость очищаемой жидкости, часть очищаемой жидкости теряется вместе с выделенными загрязнениями и др. Некоторые из этих факторов могут быть учтены при выполнении проектирования системы очистки, однако большинство вариантов процесса очистки могут быть сведены к рассмотренным схемам при условии учета возможных отклонений и принятии соответствующих упрощений.

Заключение.

1. Задачу очистки жидкостей можно сформулировать как задачу снижения содержания одной из дисперсных фаз в дисперсной среде до приемлемого уровня.

2. Возможные схемы очистки описываются перечисленными вариантами или их комбинациями, однако необходимо учитывать возможные осложнения при очистке жидкостей и принимать соответствующие упрощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М.: МГУ, 1982. – 348 с.
2. Мажугин, Е. И. Тонкослойное сепарирование моющих растворов, используемых при ремонте машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Е. И. Мажугин. – М.: ГОСНИТИ, 1987. – 220 л.
3. Карташевич, А. Н. Интенсивная очистка жидкостей и газов в технических системах / А. Н. Карташевич, Е. И. Мажугин. – Минск: Красико-Принт, 2002. – 290 с.
4. Мажугин, Е. И. Центробежная очистка моющих растворов при ремонте сельскохозяйственной техники / Е. И. Мажугин, А. Л. Казаков, А. В. Пашкевич. – Горки: БГСХА, 2015. – 185 с.
5. Ленский, А. В. Исследование процесса очистки масла тракторного двигателя полнопоточным центробежным маслоочистителем / А. В. Ленский, И. Б. Каплун // Сб. науч. тр. ГОСНИТИ. – М.: ГОСНИТИ, 1963. – Т. 2. – С. 3–13.

Аннотация. Рассмотрены возможные схемы очистки с указанием на необходимость учета возможных осложнений при очистке жидкостей и принятии соответствующих упрощений.

Ключевые слова: схема очистки, дисперсная система, техническая жидкость, концентрация, очиститель, коэффициент отсева.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СЕРВИСОМ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. А. СИДОРИН, канд. экон. наук, доцент
Т. С. КРАВЧЕНКО, канд. экон. наук, доцент
Н. В. АЛЕНТЬЕВА, канд. экон. наук, доцент
А. Б. ДУДАРЕВА, канд. экон. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет»,
Орел, Российская Федерация

Введение. Эффективность сельскохозяйственного производства в значительной степени определяется надежностью и готовностью машинно-тракторного парка (МТП). В условиях интенсификации агропромышленного комплекса, роста сложности и стоимости сельскохозяйственной техники вопросы организации и управления техническим сервисом приобретают ключевое значение. Несовершенство существующих систем обслуживания приводит к значительным простоям техники в периоды наивысшей напряженности полевых работ, что влечет за собой прямые убытки и недополучение урожая.

Традиционная планово-предупредительная система технического обслуживания (ТО), основанная на регламентных интервалах, зачастую не учитывает реальное техническое состояние узлов и агрегатов. Это приводит либо к необоснованно частым и затратным сервисным вмешательствам, либо, наоборот, к отказам из-за несвоевременного проведения работ [1].

Целью исследования является разработка научно-обоснованных направлений совершенствования системы управления техническим сервисом в сельскохозяйственных предприятиях на основе внедрения современных технологий и процессного подхода.

Основная часть. В настоящее время в большинстве сельскохозяйственных предприятий доминирует планово-предупредительная система ТО. Ее основными недостатками являются:

1. Высокая стоимость проведение регламентных работ независимо от фактического состояния агрегатов.
2. Низкая эффективность, невозможность предсказать внезапные отказы, не связанные с наработкой.

3. Неоптимальное использование ресурсов, равномерное распределение сервисной нагрузки в течение года не соответствует пиковому характеру сельскохозяйственных работ.

Альтернативой выступает система обслуживания по фактическому состоянию, которая базируется на данных непрерывного мониторинга и диагностики. Однако ее широкому внедрению препятствуют недостаточный уровень оснащенности средствами диагностики и дефицит квалифицированных кадров [2].

Совершенствование системы управления техническим сервисом предлагается осуществлять по трем взаимосвязанным направлениям: организационному, технологическому и информационному.

Организационный блок предполагает реструктуризацию сервисной службы предприятия. Целесообразен переход от линейно-функциональной структуры к процессно-ориентированной. Ключевыми процессами являются:

1. Управление парком техники.
2. Планирование и выполнение ТО и ремонтов.
3. Управление запасными частями и материалами.
4. Мониторинг и анализ показателей эффективности (KPI).

Необходимо четкое распределение зон ответственности, внедрение системы KPI для сервисного персонала (например, коэффициент готовности техники, среднее время восстановления, стоимость сервиса на 1 мото-час) [3].

Технологический блок предполагает внедрение современных методов диагностики и анализа является основой для перехода к предиктивному (прогнозному) сервису. Для этого необходимо:

1. Оснащение техники системами телематики для сбора данных в режиме реального времени (наработка, расход топлива, нагрузки, ошибки).

2. Использование портативных средств диагностики (виброакустические анализаторы, тепловизоры, анализаторы масел).

3. Внедрение технологий предиктивной аналитики, которые на основе исторических данных и машинного обучения прогнозируют вероятность отказов [4]. Это позволяет планировать сервисные вмешательства заблаговременно, до наступления критического износа.

Информационный блок – это интеграция всех данных в единое информационное пространство – ключевой элемент современной системы управления. Необходимо внедрение специализированного про-

граммного обеспечения (ERP-система или MES-система для сервиса), которое позволяет:

1. Формировать цифровой паспорт на каждую единицу техники.
2. Автоматически планировать сервисные события на основе данных телематики и прогнозных моделей.
3. Оптимизировать складские запасы запасных частей.
4. В режиме реального времени отслеживать местоположение и состояние всей техники.

На основе проведенного анализа предлагается комплексная модель системы управления техническим сервисом (рис. 1).

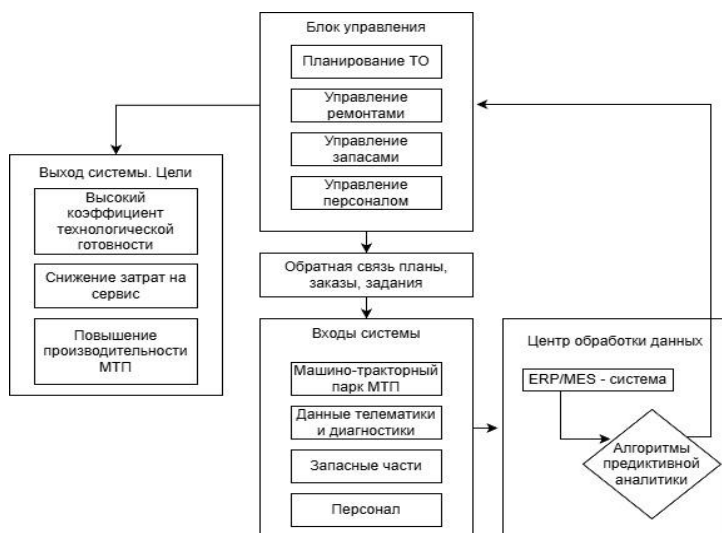


Рис. 1. Модель системы управления техническим сервисом

Входы: это ресурсы и данные, которые поступают в систему. Они отображены в верхней части схемы:

- машинно-тракторный парк (МТП) – физические объекты обслуживания;
- данные телематики и диагностики – поток реальных данных о состоянии МТП (часы работы, расход топлива, ошибки и т. д.);
- запасные части – материальные ресурсы, необходимые для ремонта и ТО;
- персонал – людские ресурсы (механики, сервисные инженеры).

Центр обработки данных (Digital Core): это «мозг» системы. Сюда стекаются все входные данные:

- ERP/MES-система – единая платформа для управления ресурсами и производственными процессами, где данные агрегируются;

- алгоритмы предиктивной аналитики – анализируют накопленные данные, предсказывают отказы и формируют оптимальные управленческие решения.

Блок управления процессами: на основе решений от Digital Core здесь выполняются основные бизнес-процессы:

- планирование ТО – создаются оптимальные графики обслуживания;

- управление ремонтами – назначаются и контролируются ремонтные работы;

- управление запасами – обеспечивается наличие нужных запчастей в нужное время;

- управление персоналом – распределяются задачи и рабочая сила.

Выходы / Цели: конечный результат работы всей системы, который достигается за счет эффективного управления процессами. Это измеримые бизнес-показатели.

Обратная связь: критически важный элемент. Планы, созданные в блоке управления процессами (например, заказ запчастей, назначение задач персоналу), напрямую влияют на входные ресурсы, замыкая цикл управления.

Эта схема наглядно показывает, как данные от оборудования превращаются в конкретные действия и в итоге приводят к достижению стратегических целей предприятия.

Данная модель является замкнутой системой, где результаты мониторинга эффективности (выходы) используются для корректировки управляющих воздействий.

Заключение. Внедрение предложенной комплексной модели, интегрирующей организационные изменения, современные технологии диагностики и мощную информационную платформу, позволит сельскохозяйственным предприятиям перейти на качественно новый уровень управления техническим сервисом.

Ожидаемые экономические эффекты: снижение простоев техники на 15–25 %, сокращение затрат на ТО и ремонты на 10–20 % за счет ликвидации необоснованных сервисных интервенций, увеличение межремонтного ресурса техники, оптимизация складских запасов и снижение объема «замороженных» средств в запчастях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дальский, Н. Машинно-тракторный парк: экономика использования / Н. Дальский // Наше сельское хозяйство. – 2024. – № 15 (335). – С. 50–53.
2. Кухмазов, К. З. Технологии и средства технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / К. З. Кухмазов, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – 106 с.
3. Перспективы системы цифрового сельского хозяйства в плане интеграции в нее системы планово-предупредительного ТО и ремонта машинно-тракторного парка / И. Ю. Тюрин, Г. В. Левченко, М. В. Ерюшев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 1. – С. 90–92.
4. Созонтов, А. В. Развитие системы технического сервиса при ремонте сельскохозяйственной техники / А. В. Созонтов, В. В. Шилин // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. – Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 143–147.
5. Состояние и перспективы развития парка сельскохозяйственных тракторов в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / И. А. Старостин, А. В. Лавров, А. В. Ещин, С. А. Давыдова // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 387–394.

Аннотация. Рассмотрены актуальные проблемы управления техническим сервисом в современных сельскохозяйственных предприятиях. Проанализированы традиционные и современные подходы к организации сервисного обслуживания машинно-тракторного парка. Обоснована необходимость перехода от планово-предупредительной системы к сервису по фактическому состоянию на основе применения технологий предиктивной аналитики. Предложена комплексная модель совершенствования системы управления техническим сервисом, включающая организационный, технологический и информационный блоки. Доказано, что внедрение предложенных мероприятий позволит снизить простои техники, эксплуатационные затраты и повысить общую эффективность использования машинно-тракторного парка.

Ключевые слова: технический сервис, система управления, сельскохозяйственное предприятие, машинно-тракторный парк, предиктивная аналитика, диагностика, эффективность, эксплуатационные затраты.

Секция 5. ТРАКТОРЫ, АВТОМОБИЛИ И МАШИНЫ ДЛЯ ПРИРОДОБУСТРОЙСТВА

УДК 621

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ С РЕЗИСТИВНЫМ ПОДОГРЕВОМ

А. Л. БИРЮКОВ¹, канд. техн. наук, доцент

В. С. КРАПИВИН¹, студент

Д. В. ПЛЕХОВ², аспирант

¹ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н. В. Верещагина», Вологда, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. Для облегчения запуска дизельного двигателя в отрицательные температуры требуется разработка вспомогательных систем подогрева топлива [1, 2].

Основная часть. Классическая система питания, состоящая из топливного бака, фильтров грубой и тонкой очистки, топливопровода низкого и высокого давления, топливоподкачивающего насоса, топливного насоса высокого давления (ТНВД), форсунок, не обладает дополнительными средствами для подогрева топлива [3].

Наиболее близкой по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемой является топливная система дизельного двигателя, состоящая из топливного бака, фильтров, насоса, устройства подачи топлива к блоку цилиндров, соединенных посредством трубопроводов, и подогревателя двигателя, выполненного в виде полый герметичной трубки, установленной по ходу трубопровода, между насосом и устройством подачи топлива к блоку цилиндров, выходящий из подогревателя двигателя трубопровод с фильтром и устройство подачи топлива к блоку цилиндров снабжены с внешней стороны теплоизолирующим покрытием. Недостатками данной системы являются высокие энергозатраты на подогрев топлива и нежелательный нагрев элементов системы топливоподдачи, высокие тепловые потери.

Нами разработана система питания дизеля с резистивным подогревом, главным отличием предложенной системы является то, что на топливопроводе высокого давления перед каждой форсункой устанавливается керамический нагреватель в термобоксе, который подключен

к блоку питания. Нагреватель имеет регулировку температуры от 0° до 300°C .

Использование данной системы питания дает возможность снизить энергозатраты на подогрев топлива, тепловые потери благодаря локальному подогреву топлива непосредственно перед его подачей в цилиндры дизеля, а также избавиться от нежелательного нагрева элементов системы топливоподачи [4, 5].

На рис. 1 показана схема предлагаемой системы питания дизеля с резистивным подогревом, состоящая из топливного бака 1, фильтра грубой отчистки 2, фильтра тонкой отчистки 3, топливopодкачивающего насоса 4, топливопровода низкого давления 5, топливопровода высокого давления 6, топливного насоса высокого давления (ТНВД) 7, форсунок 8, керамических нагревателей 9, головки блока цилиндров 10, блока питания (БП) 11.

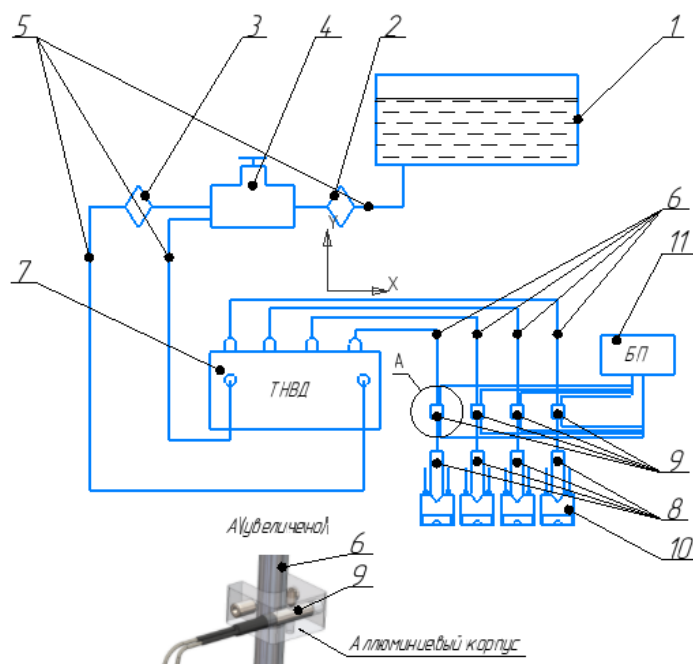


Рис. 1. Система питания дизеля с резистивным подогревом

Система питания дизеля с резистивным подогревом работает следующим образом: топливо из бака 1 при помощи топливopодкачивающего насоса 4 через фильтр грубой 2 и тонкой 3 очистки проходит по топливопроводам 5 к насосу высокого давления (ТНВД) 7, далее по топливопроводам высокого давления 6 к форсункам 8, установленным в головке блока цилиндров 10. От блока питания 11 подается напряжение на керамические нагреватели 9, в результате чего происходит местный нагрев участков топливопроводов высокого давления 6. Далее нагретые участки передают тепло проходящему через их сечения топливу, двигающемуся к форсункам 8, установленным в головке блока цилиндров 10.

Заключение. Таким образом технико-экономическое обоснование предполагаемой системы заключается в снижении энергозатрат и тепловых потерь при использовании подогрева участков топливопроводов высокого давления перед форсунками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеенко, А. В. Улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлива / А. В. Гордеенко, В. А. Белоусов, В. Г. Костенич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 246–252.
2. Плотников, С. А. Разработка дизельных топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 257–260.
3. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей / А. С. Орлин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1972. – 464 с.
4. Бирюков, А. Л. Улучшение эксплуатационных и экологических показателей бензиновых двигателей путем применения топливно-водных смесей: дис. ... канд. техн. наук / А. Л. Бирюков. – Санкт-Петербург, 2011. – 177 с.
5. Топливная система дизельного двигателя. – Патент РФ 59741 F02M 53/02 (2006.01).

Аннотация. Рассмотрена система питания дизеля с резистивным подогревом, предназначенная для облегчения запуска дизельного двигателя в отрицательные температуры, снижения энергозатрат и тепловых потерь при использовании подогрева участков топливопроводов высокого давления перед форсунками.

Ключевые слова: двигатель, подогрев, система, форсунка, топливо.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА БИОМИНЕРАЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЯХ

Г. Э. ЗАБОЛОТСКИХ¹, канд. техн. наук, начальник смены

С. А. ПЛОТНИКОВ², д-р техн. наук, профессор

А. Н. КАРТАШЕВИЧ³, д-р техн. наук, профессор

¹ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк»,
Кирово-Чепецк, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

³Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Современные вызовы, связанные с обеспечением технологического суверенитета и снижением экологической нагрузки от автотранспорта, актуализируют разработку и внедрение альтернативных видов топлива [1]. Одним из перспективных направлений является использование биоминеральных топливных смесей (БМТС) – многокомпонентных дисперсных систем на основе дизельного топлива (ДТ) с добавлением биологических компонентов, таких как этанол и сурепное масло [2]. Целью настоящего исследования являлось комплексное обоснование применения БМТС для улучшения экологических показателей автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5.

Основная часть. В рамках работы была разработана и апробирована методика оценки седиментационной устойчивости БМТС по величине гипсометрической высоты. Для стабилизации композиций использовалось катионоактивное поверхностно-активное вещество – сукцинимидная присадка С-5А. Проведенные расчеты показали, что введение 1,0 % присадки С-5А в состав БМТС-25 позволяет снизить гипсометрическую высоту с $45,214 \times 10^{-19}$ м до $6,579 \times 10^{-19}$ м, что свидетельствует о значительном повышении кинетической устойчивости системы [3].

Для оценки влияния БМТС на процесс сгорания была разработана методика расчета параметров фазы быстрого горения (ФБГ). Экспериментально установлено, что работа дизеля на БМТС-10 и БМТС-25 не вызывает значительного изменения максимального давления цикла P_z , однако приводит к его смещению за верхнюю мертвую точку (ВМТ)

на 2–3 градуса по углу поворота коленчатого вала. При этом жесткость процесса сгорания возрастает незначительно: с 0,77 МПа/град для ДТ до 0,82 и 0,86 МПа/град для БМТС-10 и БМТС-25 соответственно, что находится в допустимых пределах [4].

Важным результатом стало снижение максимальной температуры цикла при работе на БМТС на 50...100 К по сравнению с чистым ДТ. Это позволяет снизить тепловую напряженность деталей цилиндропоршневой группы и, как следствие, повысить ресурс двигателя [5].

Исследования эффективных показателей демонстрируют, что суммарный часовой расход БМТС возрастает, однако расход минерального дизельного топлива сокращается на 14...42 % в зависимости от состава смеси и режима работы. Эффективный КПД при работе на БМТС сохраняется на уровне, близком к работе на чистом ДТ [6].

Наиболее значимым является улучшение экологических характеристик. При работе на БМТС в номинальном режиме зафиксировано снижение выбросов сажи (С) на 41...62 %, оксидов азота (NO_x) на 6...16 %, суммарных углеводородов (C_xH_y) на 20...40 % и монооксида углерода (СО) на 33 % [7].

Для автоматизации расчетов были разработаны и зарегистрированы программы для ЭВМ, позволяющие оперативно определять максимальное давление цикла, жесткость процесса сгорания, характеристики впрыскивания и параметры ФБГ [8].

Заключение. Таким образом, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ улучшения экологических показателей автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 путем применения биоминеральных топливных смесей. Разработанные составы БМТС и методики их оценки позволяют снизить выбросы вредных веществ без существенного ухудшения энергоэффективности и надежности двигателя. Полученные результаты могут быть использованы для адаптации существующих дизелей к работе на альтернативных топливах [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р).
2. Плотников, С. А. Определение оптимального состава биоминеральных топливных смесей / С. А. Плотников, Г. Э. Заболотских // Автотракторостроение и автомобильный транспорт. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 149–155.
3. Исследование эффективных показателей дизельного двигателя на режимах скоростной характеристики при работе на биоминеральных топливных смесях / С. А. Плот-

ников, А. Н. Карташевич, Г. Э. Заболотских, Ю. А. Плотникова // Двигателестроение. – 2024. – № 3 (297). – С. 83–91.

4. Плотников, С. А. Исследование экологических показателей работы дизеля на биоминеральных топливных смесях / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, Г. Э. Заболотских // Тракторы и сельхозмашины. – 2024. – Т. 91, № 3. – С. 261–269.

5. Плотников, С. А. Влияние нагрузки при работе дизеля на биоминеральных топливных смесях / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, Г. Э. Заболотских // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 2 (98). – С. 104–109.

6. Исследование эмиссии вредных веществ дизеля при работе на биоминеральных топливных смесях / Г. Э. Заболотских, С. А. Плотников, М. В. Смольников, А. Н. Карташевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 273–279.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024686935 Российская Федерация. Расчет параметров фазы быстрого горения при работе дизеля на биоминеральных топливных смесях «ФБГ-БМТС» / С. А. Плотников, Г. Э. Заболотских, А. А. Ошмарин [и др.].

8. Патент № 2827416 С1 Российская Федерация. Биоминеральная топливная смесь / С. А. Плотников, Г. Э. Заболотских, Н. Ю. Кутергин [и др.].

Аннотация. Представлены результаты исследований по применению биоминеральных топливных смесей (БМТС) в автотракторном дизеле. Показано, что использование БМТС позволяет существенно улучшить экологические показатели: снизить выбросы сажи, оксидов азота, углеводородов и монооксида углерода. Разработаны методики оценки устойчивости БМТС и расчета параметров рабочего процесса двигателя. Установлено, что оптимальным углом опережения впрыскивания для БМТС является 22° по сравнению с 18° для чистого дизельного топлива. Эффективный КПД при работе на БМТС сохраняется на номинальном уровне.

Ключевые слова: биоминеральные топливные смеси (БМТС), автотракторный дизель, экологические показатели, процесс сгорания, седиментационная устойчивость, выбросы вредных веществ, фаза быстрого горения.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

П. Я. КАНТОР, канд. физ.-мат. наук, доцент
С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор
М. А. СТАРОДУМОВ, аспирант

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. В связи с глобальными изменениями в области топливной энергетики и постоянными ужесточениями стандартов перед современным двигателестроением стоит задача по снижению выбросов токсичных продуктов работы ДВС.

На данный момент наиболее распространенным методом определения экологических параметров при разработке ДВС является их экспериментальное определение, а также существуют различные методики для расчета количественного значения токсичных выбросов [1].

Однако, проведение экспериментов требует наличия дорогостоящих испытательных установок и длинного перечня оборудования. В свою очередь из-за использования альтернативных топлив, биодизеля, новых присадок расчеты экологических параметров могут показывать неточный результат или же вообще противоположный в сравнении с действительностью.

Таким образом, все чаще встает вопрос о разработке безмоторных методов определения выбросов токсичных компонентов, которые опираются на взаимосвязь физико-химических свойств топлив с количеством выбросов дизельного двигателя [2, 3].

Как правило, при исследовании экологических параметров обращают внимание на цетановое число и фракционный состав топливной смеси, но по данным показателям также сложно точно установить количественное значение выбросов.

В современной научной литературе уже ранее рассматривались такие свойства, как удельная рефракция и диэлектрическая проницаемость. С их помощью возможно определить эксплуатационные свойства топливных смесей и некоторые параметры рабочих процессов дизеля.

Справедливо предположить, что данные свойства можно использо-

вать и для определения экологических параметров.

Основной целью данного исследования является оценка влияния нескольких физико-химических свойств альтернативных топлив на показатели эмиссии токсичных компонентов.

Задачей данного исследования является определение физико-химических свойств бинарных топливных смесей на основе этанола и масел, установление их влияния на выбросы оксидов азота, твердых частиц и суммарных углеводородов.

Основная часть. Для проведения исследований было взято дизельное топливо и 15 бинарных смесей на его основе с различным содержанием этанола, рапсового и сурепного масел. Содержание масел и этанола варьировалось от 10 % до 50 % (рис. 1).



Рис. 1. Смеси для проведения исследований

Для всех топливных смесей и дизельного топлива с помощью рефрактометра был определен показатель преломления и по уравнения Лорентца-Лоренца рассчитана удельная рефракция [4].

При помощи конденсатора с воздушным диэлектриком и мультиметра была определена емкость конденсатора в каждом из шестнадцати образцов. После определения электроемкости рассчитывалась диэлектрическая проницаемость [5, 6].

Также на испытательной установке при частоте вращения коленча-

того вала 1 400 об/мин с помощью дымомера и газоанализатора были определены количественные значения эмиссии оксидов азота, углеводородов и сажи [7].

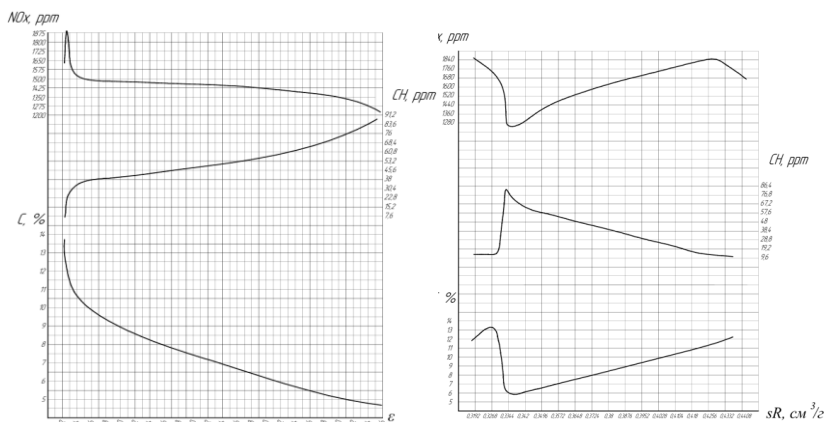
Все полученные данные представлены в таблице.

Экспериментальные значения выбросов токсичных веществ при частоте вращения 1400 мин-1 и свойства топливных смесей

№ п/п	Состав топлива	Значение выбросов			Диэлектрическая проницаемость	Удельная рефракция, см ³ /г
		Сажа, %	NOx, ppm	CH, ppm		
1	ДТ	13,8	1630	8	2,32	0,3250
2	90 %ДТ+10 %Э	11,5	1564	24	3,05	0,3323
3	90%ДТ+10%РМ	13,1	1650	8	2,35	0,3299
4	90%ДТ+10%СМ	13,2	1641	8	2,33	0,4359
5	80%ДТ+20%Э	9,4	1501	41	7,98	0,3321
6	80%ДТ+20%РМ	12,7	1710	9	2,41	0,3270
7	80%ДТ+20%СМ	12,9	1704	9	2,50	0,4315
8	70%ДТ+30%Э	6,7	1458	57	27,50	0,3319
9	70%ДТ+30%РМ	12,4	1774	9	2,54	0,3240
10	70%ДТ+30%СМ	12,3	1762	9	2,65	0,4263
11	60%ДТ+40%Э	5,1	1390	70	39,47	0,3334
12	60%ДТ+40%РМ	12,3	1801	10	2,63	0,3212
13	60%ДТ+40%СМ	12,2	1795	10	2,76	0,4263
14	50%ДТ+50%Э	4,7	1284	85	45,31	0,3329
15	50%ДТ+50%РМ	12,0	1842	10	2,72	0,3188
16	50%ДТ+50%СМ	11,9	1836	11	2,80	0,4227

При детальном рассмотрении данных таблицы прослеживается взаимосвязь между эмиссией токсичных продуктов работы дизеля, значениями диэлектрической проницаемости и удельной рефракции.

Для удобства были построены графики, наглядно отражающие результаты проведённого эксперимента. Графики представлены на рис. 2.



Проведенная работа указывает на наличие взаимосвязей и корреляционных зависимостей между свойствами топлив и экологическими параметрами.

Опираясь на полученные данные возможно сделать предварительную оценку целесообразности использования какой-либо топливной смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет / Б. А. Шаро-глазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
2. Безмоторные методы оценки эксплуатационных свойств топлив для сельскохозяйственной техники. С. А. Плотников, Г. П. Шишкин, П. В. Гневашев, Е. Н. Резник // Вестник РГАТУ. – 2021. – № 2 (13). – С. 110–115.
3. Безмоторная оценка экспресс-методом свойств биотоплив на основе трех компонентов / П. В. Гневашев, С. А. Плотников, М. В. Смольников, Г. П. Шишкин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БШСХА, 2023. – С. 265–268.
3. Плотников, С. А. Применение показателя рефракции в определении свойств жидких моторных топлив / С. А. Плотников, М. В. Смольников, П. В. Гневашев // Авто-тракторостроение и автомобильный транспорт. – Минск, 2023. – С. 145–148.
4. Саблина, З. А., Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив / З. А. Саблина, Г. Б. Широкова, Т. И. Ермакова. – М.: Химия, 1978. – 240 с.
5. Гневашев, П. В. Безмоторный метод оценки альтернативных топлив / П. В. Гневашев, С. А. Плотников, М. В. Смольников // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения. – Гродно, 2022. – С. 124–129.
6. Методы определения состава и модели описания физико-химических и эксплуатационных свойств многокомпонентных смесей / В. Ф. Николаев, Р. Б. Султанова, А. И. Пеньковский, В. И. Гаврилов. – Казань, 2011. – 175 с.

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния физи-ко-химических свойств альтернативных топлив на экологические по-казатели работы автотракторного дизеля.

Ключевые слова: дизельное топливо, альтернативные топлива, эко-логические показатели, выбросы вредных веществ, удельная рефрак-ция, диэлектрическая проницаемость, оксиды азота, сажа, углеводоро-ды, бинарные топливные смеси.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ TiAlN ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

А. С. КЛУОНИС, аспирант
С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. Современные требования к режущему инструменту предполагают не только высокую твердость и износостойкость, но и устойчивость к термическим, химическим и механическим нагрузкам в условиях интенсивной обработки. Одним из наиболее эффективных решений для повышения долговечности и производительности инструмента является нанесение износостойких покрытий. Среди них особое место занимает система TiAlN (нитрид титана-алюминия), сочетающая высокую твердость (~30–35 ГПа), термостойкость (до 800–900 °С), хорошую адгезию к карбидной или быстрорежущей стали и устойчивость к окислению. Однако в условиях все более жестких требований – таких как высокоскоростная обработка, сухое резание, обработка труднообрабатываемых материалов – даже базовое покрытие TiAlN может оказаться недостаточным. В связи с этим активно развиваются направления по модификации его состава за счет введения дополнительных легирующих элементов, что позволяет тонко регулировать структуру и свойства покрытия [1–2]. В данной статье рассматриваются наиболее перспективные легирующие добавки к TiAlN, их влияние на микроструктуру и эксплуатационные характеристики, а также практическая применимость получаемых композиционных покрытий.

Основная часть. Хром (Cr) – повышение коррозионной и термической стойкости. Введение хрома в структуру TiAlN приводит к формированию тройной системы (Ti, Al, Cr)N. Хром обладает высокой родственностью к азоту и кислороду, что способствует образованию плотного оксидного слоя Cr₂O₃ на поверхности покрытия при повышенных температурах. Это значительно улучшает окислительную и коррозионную стойкость, особенно в агрессивных средах или при обработке нержавеющей сталей, склонных к налипанию и адгезионному износу. Кроме того, Cr способствует стабилизации кубической струк-

туры нитрида даже при высоком содержании алюминия, что важно для сохранения высокой твёрдости. Экспериментальные данные показывают, что добавление 5–10 ат. % Cr повышает температуру начала интенсивного окисления с ~ 800 °C до 950–1 000 °C. Также отмечается снижение коэффициента трения на 10–15 %, что уменьшает тепловыделение в зоне резания и снижает риск образования нароста. Покрытия (Ti, Al, Cr)N особенно эффективны при черновой обработке заготовок в условиях, где возможен контакт с охлаждающими жидкостями [3].

Кремний (Si) - формирование нанокомпозитной структуры. Одним из наиболее значимых прорывов в области упрочнения TiAlN стало легирование кремнием. При содержании Si выше ~ 5 –7 ат. % в покрытии начинает формироваться нанокомпозитная структура, состоящая из нанокристаллических зерен (Ti, Al)N, окруженных аморфной матрицей Si_3N_4 [4]. Аморфная фаза эффективно блокирует движение дислокаций и подавляет рост зёрен при отжиге, что приводит к эффекту сверхтвёрдости ($\text{hardness} > 40$ ГПа).

Такие покрытия, обозначаемые как (Ti, Al, Si)N или nc-(Ti, Al)N/a- Si_3N_4 , демонстрируют исключительную термостабильность: они сохраняют свою структуру и твердость вплоть до 1 100–1 200 °C. Это делает их идеальными для высокоскоростного сухого резания, где температура в зоне контакта может превышать 1 000 °C. Кроме того, Si улучшает сопротивление диффузионному износу, замедляя взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом на атомном уровне.

Недостатком является повышенная хрупкость при чрезмерном содержании Si (> 10 ат. %), что может привести к отслаиванию покрытия при ударных нагрузках. Поэтому оптимальный состав подбирается индивидуально под тип операции – для чистовой обработки предпочтительны высокремнистые покрытия, а для прерывистого резания – умеренное легирование.

Молибден (Mo) и ванадий (V) – снижение трения и повышение вязкости. Молибден и ванадий относятся к переходным металлам, которые могут образовывать собственные нитриды (Mo_2N , VN) с высокой твердостью и низким коэффициентом трения. При введении в TiAlN (обычно 2–8 ат. %) они способствуют формированию самосмазывающих фаз при нагреве. В частности, Mo при температурах выше 600 °C может окисляться с образованием MoO_3 , который обладает слоистой структурой и действует как твёрдая смазка [5].

Это особенно важно при прерывистом резании (например, фрезеровании с врезанием/выходом), где возникают циклические ударные

нагрузки и локальные перегревы. Покрытия с Мо демонстрируют повышенную ударную вязкость и сопротивление отслаиванию. Ванадий, в свою очередь, упрочняет решётку за счёт эффекта твердого раствора и может улучшать пластичность покрытия, снижая вероятность хрупкого разрушения. Однако следует учитывать, что избыток Мо или V может привести к образованию мягких вторичных фаз, снижающих общую твердость. Поэтому такие легирующие элементы чаще используются в комбинации с другими добавками (например, Cr+Mo) для сбалансированного улучшения свойств.

Цирконий (Zr) и редкоземельные элементы – структурная стабилизация и адгезия. Цирконий обладает кристаллической структурой, аналогичной Ti и Al, и легко встраивается в решетку TiAlN, образуя твердый раствор (Ti, Al, Zr)N. Добавление Zr (3–7 ат.%) приводит к уменьшению размера зерен, повышению твердости и улучшению термостойкости. Zr способствует формированию многослойных или градиентных структур, например, в системах TiAlN/ZrN, где чередование слоев с разным составом подавляет распространение трещин.

Редкоземельные элементы (РЗЭ), такие как иттрий (Y), церий (Ce) или лантан (La), хотя и вводятся в минимальных количествах (0,5–2 ат.%), играют важную роль в повышении адгезии покрытия к подложке. Они связывают кислород и другие примеси на границе раздела «покрытие – инструмент», предотвращая образование слабых прослоек. Кроме того, РЗЭ стабилизируют оксидную пленку при высоких температурах, замедляя диффузию кислорода вглубь покрытия.

Такие модификации особенно приоритетны при нанесении покрытий на инструменты из твердых сплавов с высоким содержанием кобальта, где адгезия часто является ограничивающим фактором [6].

Современные тенденции направлены не на введение одного легирующего элемента, а на создание многофункциональных композиций, где комбинация добавок даёт синергетический эффект. Например:

- (Ti, Al, Si, Cr)N сочетает высокую твердость от Si и коррозионную стойкость от Cr;

- (Ti, Al, Si, Mo)N обеспечивает как термостабильность, так и самосмазывание;

- градиентные покрытия с плавным переходом от TiN к TiAlN и далее к (Ti, Al, Si)N позволяют совместить высокую адгезию у подложки и максимальную износостойкость на поверхности.

Кроме того, развитие технологий магнетронного распыления с высокой мощностью импульсов (HiPIMS) позволяет получать покрытия с

высокой плотностью, низкой пористостью и контролируемым составом даже при сложных легирующих системах.

Заключение. Легирование покрытий на основе TiAlN представляет собой мощный инструмент для адаптации свойств режущего инструмента под конкретные условия эксплуатации. Каждый легирующий элемент вносит свой вклад: Si и Zr повышают твердость и термостойкость, Cr – коррозионную устойчивость, Mo и V – снижают трение и улучшают вязкость, а PЗЭ – усиливают адгезию. Наиболее перспективными являются нанокompозитные и многослойные структуры, сочетающие преимущества нескольких легирующих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников, С. А. Влияние свойств поверхностных покрытий твердосплавных фрез на характеристики контактных процессов / С. А. Плотников, А. С. Клуонис, Д. Г. Сергеев // *Металлообработка*. – 2025. – № 3 (147). – С. 9–15.
2. Плотников, С. А. Исследование трибологических свойств твердосплавных концевых фрез с покрытием / С. А. Плотников, А. С. Клуонис // *Вестник машиностроения*. – 2025. – Т. 104, № 7. – С. 603–606.
3. Исследование состава поверхностного упрочненного слоя режущего твердосплавного инструмента / С. А. Плотников, П. Н. Черемисинов, А. С. Клуонис, Е. В. Козлов // *Вестник машиностроения*. – 2024. – Т. 103, № 2. – С. 154–156.
4. Holec, D., et al. (2012). Phase stability and mechanical properties of Al-containing nitrides: A first-principles study. *Surface and Coatings Technology*, 206(19–20), 4211–4216.
5. Zhang, K., et al. (2017). Effect of Mo addition on microstructure and tribological properties of TiAlN coatings. *Tribology International*, 110, 132–139.
6. Клуонис, А. С. Трибологические характеристики концевой твердосплавной фрезы с поверхностным покрытием TiAlN / А. С. Клуонис, С. А. Плотников // *Механика и машиностроение. Наука и практика*. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 63–65.

Аннотация. Рассмотрено влияние легирующих элементов – Cr, Si, Mo, V, Zr и редкоземельных металлов – на структуру и свойства покрытий. Показано, что их введение позволяет формировать нанокompозитные и градиентные структуры с улучшенной твердостью, термостойкостью (до 1 200 °С), коррозионной устойчивостью, адгезией и самосмазывающими свойствами.

Ключевые слова: поверхностный слой, химический состав, легирование, нанокompозитные структуры, термостойкость, режущий инструмент.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

А. С. КЛУОНИС, аспирант
С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. Современное машиностроение стремится к повышению производительности, точности и экономической эффективности обработки. В этих условиях твердосплавные фрезы – один из ключевых элементов технологической цепочки. Их высокая твёрдость, теплоустойчивость и прочность позволяют обрабатывать широкий спектр материалов, включая закалённые стали, титановые и никелевые сплавы. Однако даже твёрдые сплавы подвержены износу, особенно в условиях высоких скоростей резания, ударных нагрузок и термических циклов.

Наиболее эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик фрез является нанесение износостойких функциональных покрытий. Современные методы осаждения – физическое и химическое из газовой фазы – позволяют формировать одно- и многослойные, наноструктурированные и градиентные покрытия с заданными механическими, трибологическими и термическими свойствами [1].

Однако качество и эффективность покрытия определяются не только его химическим составом, но и параметрами процесса осаждения: температурой, давлением, составом газовой среды, энергией частиц, скоростью роста и геометрией инструмента. Неправильный выбор или нестабильность этих параметров приводят к дефектам – низкой адгезии, высоким внутренним напряжениям, пористости, неравномерной толщине и преждевременному разрушению покрытия.

Цель данной статьи – систематизировать влияние ключевых параметров осаждения на свойства покрытий для твердосплавных фрез.

Основная часть. Выбор покрытия определяется условиями обработки: материалом заготовки, режимами резания, требуемой точностью и стойкостью инструмента. Наиболее распространённые покрытия:

– TiN – базовое покрытие с твердостью ~2 400 HV, хорошей адгезией и умеренной термостойкостью (до 600 °С). Применяется при обработке сталей и чугуна;

– TiCN – карбонитрид титана с повышенной износостойкостью (~3 000 HV) за счет внедрения углерода в кристаллическую решетку;

– TiAlN / AlTiN – алюминийсодержащие нитриды. При нагреве образуют защитный слой Al_2O_3 , что обеспечивает термостойкость до 900 °С. Широко используются при высокоскоростной обработке;

– AlCrN – обладает высокой коррозионной стойкостью и устойчивостью к адгезионному износу, предпочтителен при обработке нержавеющих сталей и алюминиевых сплавов;

– многослойные и нанокompозитные покрытия (например, TiAlN/Si₃N₄, -CrN/NbN) – сочетают высокую твердость (>40 GPa), низкий коэффициент трения и способность гасить трещины на границах слоёв [2, 3].

Все эти покрытия могут быть нанесены как методом CVD, так и PVD, но выбор технологии зависит от допустимых температур и требований к геометрии инструмента.

Температура – один из наиболее критичных параметров. В CVD-процессах она достигает 800–1 050 °С, что обеспечивает высокую кристалличность и плотность покрытий, но вызывает диффузию кобальта из связки твердого сплава на поверхность; снижение прочности подложки из-за рекристаллизации WC; возможное искажение геометрии тонких фрез.

PVD-процессы (200–500 °С) сохраняют структуру твердого сплава, но требуют дополнительных мер для обеспечения адгезии и плотности. Например, при осаждении TiAlN при 450 °С формируется кубическая фаза с высокой твердостью, тогда как при 300 °С доминирует гексагональная AlN-фаза с пониженными механическими свойствами.

В PVD (магнетронное распыление, дуговое испарение) давление в камере варьируется от 0,1 до 10 Па. Низкое давление увеличивает среднюю длину свободного пробега частиц, способствуя формированию плотных покрытий, но снижает степень ионизации. Высокое давление улучшает реактивность, но может вызвать рассеяние частиц и пористость.

Состав газовой смеси (Ar, N₂, CH₄, O₂) определяет стехиометрию покрытия. Например, при недостатке азота в процессе осаждения TiAlN образуется металлическая фаза с низкой твердостью; избыток приводит к образованию аморфного или пористого слоя. В CVD состав

газов (TiCl_4 , AlCl_3 , H_2 , NH_3) влияет не только на скорость осаждения, но и на чистоту покрытия – остатки хлора могут вызывать коррозию.

Применение отрицательного смещения на подложке позволяет управлять энергией бомбардирующих ионов. Это дает три ключевых эффекта: очистка поверхности перед осаждением (удаление оксидов и загрязнений); уплотнение структуры за счет «ионнойковки» растущего слоя; контроль внутренних напряжений – сжимающие напряжения повышают твердость, но чрезмерные значения ($>3\text{--}4$ ГПа) вызывают отслоение.

Оптимальное смещение для большинства нитридных покрытий – от -50 до -150 В. При использовании импульсного смещения можно дополнительно снизить нагрев подложки и уменьшить дефектность.

Скорость осаждения влияет на морфологию: при высокой скорости формируется столбчатая структура с межзеренными границами – потенциальными путями для распространения трещин и коррозии. Низкая скорость способствует формированию мелкозернистой или аморфной структуры с высокой плотностью [4, 5].

Толщина покрытия для фрез обычно составляет $2\text{--}5$ мкм. Менее 2 мкм – недостаточно для защиты при тяжелых режимах; более 5 мкм – увеличивает риск отслоения из-за накопления напряжений, особенно на острых кромках и в канавках.

Фрезы имеют сложную трехмерную геометрию: режущие кромки, стружечные канавки, торцевые и боковые поверхности. Это создает «тени» при прямолинейном осаждении, особенно в PVD-процессах с направленным потоком частиц.

Для обеспечения равномерности применяются: многоосевые поворотные держатели с программным управлением; плазменные источники с широким углом распыления; ионная обработка под разными углами. Неравномерность толщины даже на $10\text{--}15\%$ может привести к асимметричному износу и снижению точности обработки.

Твердый сплав (WC-Co) – композит с высокой твердостью и умеренной вязкостью. При нанесении покрытий возникают специфические проблемы. Различие коэффициентов термического расширения (КТР): WC-Co – $\sim 5,2 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$, TiAlN – $\sim 9,4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$. При охлаждении после осаждения возникают термические напряжения, способные вызвать отслоение. Диффузия кобальта: при $T > 700$ $^\circ\text{C}$ Co мигрирует к поверхности, образуя слабосвязанный слой, снижающий адгезию. В CVD это решается нанесением барьерного слоя TiCN или предварительным обезкобальтованием (например, химическим травлением).

Хрупкость покрытий: многие нитриды обладают высокой твердостью, но низкой вязкостью. При ударных нагрузках (например, при прерывистом резании) они склонны к микротрещинообразованию. Это компенсируется использованием градиентных или многослойных структур.

Заключение. Повышение стойкости и производительности твердосплавных фрез достигается не только за счёт новых материалов, но и за счёт интеллектуального управления процессом их модификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клуонис, А. С. Обзор современных методов нанесения износостойких покрытий и их сравнительный анализ / А. С. Клуонис, С. А. Плотников // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 284–287.
2. Тополянский, П. А. Сравнительные характеристики электроплазменных процессов нанесения износостойких покрытий и изменения свойств поверхности / П. А. Тополянский // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. – СПб.: СПбПУ, 2007. – Ч. 2. – С. 243–247.
3. Composition of the Hardened Surface of a Carbide Cutting Tool / S. A. Plotnikov, P. N. Cheremisinov, A. S. Kluonis, E. V. Kozlov // Russian Engineering Research. – 2024. – Vol. 44, No. 4. – P. 534–536.
4. Плотников, С. А. Влияние свойств поверхностных покрытий твердосплавных фрез на характеристики контактных процессов / С. А. Плотников, А. С. Клуонис, Д. Г. Сергеев // Металлообработка. – 2025. – № 3 (147). – С. 9–15.
5. Плотников, С. А. Исследование трибологических свойств твердосплавных концевых фрез с покрытием / С. А. Плотников, А. С. Клуонис // Вестник машиностроения. – 2025. – Т. 104, № 7. – С. 603–606.

Аннотация. Нанесение износостойких покрытий методами PVD и CVD значительно повышает эксплуатационные характеристики твердосплавных фрез. Их твердость, адгезия, плотность и износостойкость напрямую зависят от параметров осаждения: температуры, давления, состава газовой среды, энергии ионов, скорости роста и геометрии инструмента. В статье проанализировано влияние этих параметров на структуру и свойства покрытий, особенности их взаимодействия с твердосплавной основой.

Ключевые слова: твердосплавные фрезы, поверхностные покрытия, PVD, CVD, параметры осаждения, адгезия, твердость, износостойкость, контроль процесса, наноструктурированные покрытия.

ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ОЗОНИРОВАНИЯ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

А. Н. КОРОБЕЙНИКОВ¹, аспирант
С. А. ПЛОТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор
В. Н. СУДАРКИН², канд. техн. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет
имени К. Е. Ворошилова», Луганск

Введение. Современное общество невозможно представить без машин и механизмов, которые значительно облегчают нашу жизнь и делают ее комфортнее. Основной частью таких машин и механизмов являются транспортные средства, которые работают на дизельном топливе [1–4].

Объем потребления дизельного топлива в Российской Федерации ежегодно возрастает. Так среднее потребление дизельного топлива за 2024 года составляет 17,01 млн. тонн это 28,9 % выше, чем за аналогичный период 2023 года. Потребление топлива растет несмотря на то, что оно постоянно дорожает. При этом двигатели внутреннего сгорания (ДВС) не являются экономичными и экологичными. Так, например, коэффициент полезного действия у дизельного ДВС в пределах 30 %–48 %. Вместе с тем, около 32,5 % потребляемого двигателями топлива не сгорает полностью, а выбрасывается в атмосферу в виде оксида азота (NO_x) и серы (SO_x), угарного газа (CO), несгоревших углеводородов, сажи и альдегидов.

С целью улучшения эксплуатационных показателей работы ДВС и улучшения экологических показателей предлагается озонирование топливовоздушной смеси. Озон, как сильный окислитель, способен улучшить процесс сгорания топлива, тем самым повышая экономические и экологические показатели работы ДВС.

Основной целью исследования является оценка возможности улучшения эксплуатационных показателей автотракторного дизеля.

Задачами исследования является проведение анализа энергетических потерь в ДВС и определение путей повышения эффективности

сгорания топлива, проведение экспериментальных исследования работы двигателей, оборудованных системой озонирования топливовоздушной смеси

Основная часть. Человек не представляет свою жизнь без таких благ как транспортные средства. Двигатель внутреннего сгорания остается источником механической работы в большинстве транспортных средств уже долгие годы. Двигатель использует переработанное ископаемое топливо для превращения химической энергии, в полезную механическую работу. Важнейшим вопросом остается – истощаемость недр нашей планеты.

Дизельное топливо производится, в основном, из невозобновляемого ресурса – сырой нефти, которую получают путем перегонки и последующей очистки на нефтеперерабатывающих заводах. Ее запасы ограничены, и они не восстанавливаются в масштабах времени, которые имеют значение для человеческой цивилизации.

По мере того, как экологическая устойчивость становится главным приоритетом, все большее значение приобретает использование альтернативных видов топлива.

В Вятском государственном университете научный коллектив «Технологии энергетического машиностроения» работает над исследованиями различных видов альтернативных топлив. В работах рассмотрено использование альтернативного топлива (рапсовое масло, этанол). Некоторые работы данного коллектива:

П. Н. Черемисинов в своей работе «Увеличение предела применимости альтернативных топлив с добавками рапсового масла в автотракторных дизелях» рассмотрел возможность использования рапсового масла 20 % и 45 % в смеси. В результате исследований и применения добавки рапсового масла в смеси Павел Николаевич улучшил экологические показатели отработавших газов [снижение дымности отработавших газов в пределах 14–33 %: – выбросов СО в пределах 6–23,5 %, а также уменьшилась температура отработавших газов на 10–35 °С].

М. В. Смольников в своей работе «Улучшение показателей применимости альтернативных топлив с добавками этанола в автотракторных дизелях» рассмотрел возможность использования этанола 20 % и 40 % в смеси. и. В результате исследований и применения добавки этанола в смеси Михаил Владимирович так же улучшил показатели

работы двигателя [снижение эмиссии в отработавших газах дизельного двигателя суммарных оксидов азота NO_x в 1,5 раза; – частиц сажи в 3,5 раза; – оксидов углерода CO в 2,5 раза; – диоксидов углерода CO_2 на 21 %].

Изучению способов и методов обработки топливоздушной смеси озоном, а также разработкой различных конструкций генераторов озона посвящены работы многих ученых, тем не менее, несмотря на довольно большое количество научных исследований, повышения эффективности сгорания углеводородного топлива в ДВС применением генератора озона, является актуальной научно-технической задачей.

Разрабатываемый образец генератора озона можно установить во впускной тракт ДВС, без изменения конструкции двигателя, при помощи универсальных переходников. В качестве барьера используется керамический диэлектрик. Производительность разрабатываемого генератора озона составляет 40 г/ч.



Рис. 1. Общий вид экспериментального озонатора для ДВС

Заключение.

1. Применение многокомпонентных топливных композиций поможет человечеству преодолеть топливный кризис, связанный с использованием ископаемых нефтяных моторных топлив.

2. Для снижения расхода топлива и уменьшения вредных веществ в отработавших газах достаточно в камеру сгорания подавать топливовоздушную смесь, которая предварительно будет обработана озоном, при использовании которого возможно улучшить процесс сгорания топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаров, В. В. Роль научных конференций в развитии научной деятельности факультета механизации сельского хозяйства УО БГСХА / В. В. Гусаров, В. Н. Босак, В. А. Левчук // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 3–6.

2. Исследование работы автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12, 5 на смесях дизельного топлива с рапсовым маслом / С. А. Плотников, П. Н. Черемисинов, А. Н. Карташевич, А. Л. Бирюков // Молокохозяйственный вестник. – 2017. – № 1. – С. 110–118.

3. Плотников, С. А. Исследование свойств новых топлив на основе этанола / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, М. В. Смольников // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 114–117.

4. Плотников, С. А. Исследование экологических показателей автотракторного дизеля при работе на предельных составах ЭТЭ / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, А. В. Пляго // Вестник РГАТУ им. П. А. Костычева. – 2019. – № 4. – С. 105–109.

Аннотация. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторного дизеля и снижение токсичных выбросов в отработавших газах является насущной проблемой современности. Применение альтернативных видов топлива, взамен невозобновляемым природным ресурсам, приобретает все большую актуальность. Снижение токсичности отработавших газов и улучшения эксплуатационных показателей ДВС, путем применения технологии озонирования топливовоздушной смеси, позволит повысить экономические и экологические показатели работы ДВС.

Ключевые слова: альтернативное топливо, дизель, генератор озона, сажа, оксиды азота, эффективные показатели.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Н. Ю. КУТЕРГИН¹, аспирант

С. А. ПЛОТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор

Р. С. ДАРГЕЛЬ², ст. преподаватель

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,

Киров, Российская Федерация

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,

Горки, Республика Беларусь

Введение. Дизельный двигатель – это сердце современного трактора, от которого напрямую зависят его производительность, экономичность и рентабельность сельскохозяйственных работ. Под эксплуатационными показателями понимается комплекс характеристик, включающий мощность, крутящий момент, удельный расход топлива, дымность выхлопа, экологический класс, надежность и ресурс. Постоянный рост требований к эффективности и экологичности сельхозтехники делает задачу улучшения этих показателей крайне актуальной. Современные методы их повышения можно разделить на три ключевых направления: качественное техническое обслуживание, использование современных топливно-смазочных материалов и применение инновационных систем двигателя [1–6].

Основная часть.

1. Качественное и регулярное техническое обслуживание (ТО).

Это фундаментальный и наиболее доступный метод поддержания и улучшения характеристик дизеля. Пренебрежение ТО быстро сводит на нет все преимущества даже самого современного двигателя.

Чистота топливной системы: загрязнения в топливе – главный враг прецизионных элементов Common Rail или насоса-форсунок. Необходимо своевременно заменять топливные фильтры (включая фильтры-сепараторы для отделения воды), использовать только качественное топливо и регулярно проводить промывку топливной системы.

Оптимальное состояние системы воздухообеспечения: Забитый воздушный фильтр приводит к неполному сгоранию топлива, падению мощности, увеличению расхода и дымности. Важно менять воздушный фильтр в соответствии с регламентом, а в условиях сильной запыленности – даже чаще.

Исправность системы охлаждения: перегрев двигателя ведет к потере мощности, повышенному износу и риску заклинивания. Недостаточная температура (работа на непрогретом двигателе) увеличивает износ из-за конденсации влаги и ухудшает сгорание. Необходимо контролировать уровень и качество охлаждающей жидкости, чистить радиаторы от грязи и насекомых.

Регулировка и диагностика: своевременная проверка и регулировка угла опережения впрыска (для старых моделей), зазоров в клапанном механизме, давления впрыска позволяют поддерживать параметры двигателя в оптимальном состоянии [1–6].

2. Применение современных топлив и масел.

Качество рабочих жидкостей напрямую влияет на КПД и ресурс двигателя.

Качественное дизельное топливо: использование топлива стандарта Евро-5 и выше с низким содержанием серы не только снижает износ топливной аппаратуры, но и уменьшает нагарообразование, дымность выхлопа и позволяет эффективно работать системам нейтрализации выхлопных газов (сажевый фильтр, катализатор).

Современные моторные масла: для тракторных дизелей необходимо использовать масла класса API CJ-4 или выше, которые специально разработаны для работы в условиях высоких нагрузок и совместимы с системами рециркуляции отработавших газов (EGR). Такие масла обладают улучшенными моющими, диспергирующими и противоизносными свойствами, что снижает трение, отложения и износ.

Присадки (с осторожностью): специализированные присадки (например, цетан-корректоры) могут немного улучшить воспламеняемость топлива, а очистители топливной системы – удалить отложения. Однако их применение должно быть осознанным и одобренным производителем техники, чтобы не нанести вред высокоточной аппаратуре.

3. Технические модернизации и инновационные системы.

Это наиболее прогрессивные методы, которые закладываются на этапе проектирования двигателя, но некоторые решения могут быть применены и в ходе модернизации.

Турбонаддув и интеркулер: турбокомпрессор нагнетает в цилиндры больше воздуха, что позволяет сжечь больше топлива и значительно повысить мощность без увеличения объема двигателя. Интеркулер (промежуточный охладитель) снижает температуру нагнетаемого воздуха, повышая его плотность и эффективность сгорания, что дополнительно увеличивает мощность и снижает эмиссию оксидов азота (NO_x).

Система Common Rail: это современная система топливopодaчи, где насос создает высокое давление в общем аккумуляторе (рампе), а форсунки, управляемые электронным блоком (ЭБУ), впрыскивают топливо многократно и с высочайшей точностью. Это позволяет оптимизировать процесс сгорания, добиваясь максимальной мощности при минимальном расходе топлива и низкой токсичности выхлопа.

Система рециркуляции отработавших газов (EGR). Хотя эта система нацелена в первую очередь на экологию (снижение NO_x), возврат части выхлопных газов во впускной коллектор также оптимизирует температурный режим сгорания.

Системы нейтрализации выхлопных газов:

Сажевый фильтр (DPF/Diesel Particulate Filter) улавливает твердые частицы, снижая дымность.

Каталитический нейтрализатор (SCR – Selective Catalytic Reduction) использует раствор мочевины (AdBlue) для преобразования вредных оксидов азота в безвредный азот и воду. Совместная работа этих систем позволяет современным тракторным дизелям соответствовать строгим экологическим нормам без потери мощности [1–6].

Эксплуатационные методы.

Кроме технических аспектов, на показатели влияет и манера работы:

Правильный подбор передачи и оборотов: Работа в оптимальном диапазоне оборотов крутящего момента (обычно 1 400–1 800 об/мин) обеспечивает максимальную топливную экономичность и снижает нагрузку на двигатель.

Своевременное переключение передач: Избегание работы на максимальных оборотах и чрезмерной нагрузки неподходящей передаче.

Прогрев двигателя перед работой: Плавный выход на рабочий режим обеспечивает нормальную смазку всех деталей и уменьшает износ.

Заключение. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля – это комплексная задача, требующая системного подхода. Она начинается с банального, но жизненно важного регулярного технического обслуживания и использования качественных ГСМ. На этом фундаменте строятся более сложные решения: от установки современных систем турбонаддува до внедрения высокоточной электронной системы управления впрыском Common Rail. Грамотное сочетание этих методов позволяет значительно повысить мощность, экономичность и экологичность тракторного двигателя, обеспечивая тем самым высокую производительность и низкую себестоимость сельскохозяйственных работ на протяжении всего его жизненного цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карташевич, А. Н. Перспективы применения систем турбонаддува и интеркулеров в тракторостроении / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников // Двигателестроение. – 2022. – № 3. – С. 22–27.
2. Карташевич, А. Н. Современные системы топливоподачи Common Rail для агротехники: теория и практика / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2021. – № 5. – С. 45–50.
3. Картошкин, А. П. Влияние качества топлив и масел на ресурс и эксплуатационные показатели дизельных двигателей / А. П. Картошкин // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 4 (79). – С. 78–83.
4. Плотников, С. А. Методы технического обслуживания и диагностики дизельных двигателей в агропромышленном комплексе / С. А. Плотников, А. П. Картошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 189 с.
5. Плотников, С. А. Повышение эффективности и экологичности дизелей сельскохозяйственных тракторов / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич. – Москва: КолосС, 2020. – 215 с.
6. Плотников, С. А. Разработка дизельных топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 257–260.

Аннотация. Рассмотрены методы повышения эксплуатационных показателей тракторного дизельного двигателя, такие как мощность, экономичность и экологичность. Основное внимание уделяется трем ключевым направлениям: регулярное техническое обслуживание (чистка систем, регулировка), использование качественных топливно-смазочных материалов и применение современных технических решений (турбонаддув, Common Rail, системы нейтрализации выхлопных газов). Подчеркивается важность комплексного подхода и правильной эксплуатации для достижения максимальной эффективности и долговечности двигателя.

Ключевые слова: тракторный дизель, эксплуатационные показатели, техническое обслуживание, Common Rail, турбонаддув, интеркулер, система EGR, сажевый фильтр.

ДВИГАТЕЛИ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ТЕКУЩЕГО ВРЕМЕНИ

П. Ю. МАЛЫШКИН, канд. техн. наук

А. А. ТАБОЛИН, студент

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Введение. Двигатель внешнего сгорания был изобретен шотландским священником Робертом Стерлингом в 1816 г. и первоначально задумывался как безопасная альтернатива паровому двигателю, который был склонен к взрывам из-за высокого давления пара. Его создание было ответом на требования промышленной революции, но технология долгое время оставалась в тени двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и паровых турбин. В современное время двигатель Стирлинга достоин возрождения в глобальном поиске решений в области устойчивой энергетики, демонстрируя уникальные возможности в области уменьшения количества выбросов вредных веществ в атмосферу и использования возобновляемых источников энергии [1, 2].

Принцип работы двигателя Стирлинга основан на циклах, состоящих из двух изотермических процессов и двух изохорных процессов. В отличие от двигателей внутреннего сгорания, в которых энергия выделяется непосредственно в цилиндрах двигателя, в Стирлинге тепло подается извне, что делает их универсальными в плане сжигаемого топлива, начиная от солнечной энергии заканчивая всем, что способно выделять тепло при сгорании. Основными компонентами двигателя Стирлинга являются рабочий поршень, вытеснитель и регенератор. Регенератор же играет важную роль в удержании тепла во время перехода газа между горячей и холодной зонами, что повышает эффективность. Существует несколько типов двигателей Стирлинга такие как α , β и γ (рис. 1). Главное различие между ними, это расположение поршней и вытеснителей друг относительно друга.

α -Стирлинга характеризуется наличием двух силовых поршней. Каждый из них работает в своем цилиндре – один в нагреваемом, другой в охлаждаемом. Цилиндры соединены трубкой, внутри которой расположен регенератор. Движение газа происходит между двумя полостями и сопровождается постоянным изменением температуры, заставляя поршни двигаться с постоянным сдвигом по фазе. Такая схема

обеспечивает высокую мощность, но создает сложности с герметизацией.

В Стирлинге-типа и силовой поршень, и вытеснитель расположены в одном общем цилиндре. Вытеснитель, не участвует в создании мощностей, а перемещает газовый поток между горячей и холодной зонами через регенератор, в то время как силовой поршень совершает полезную работу. Фазы их движения синхронизированы механически. Эта компоновка считается более сбалансированной и компактной.

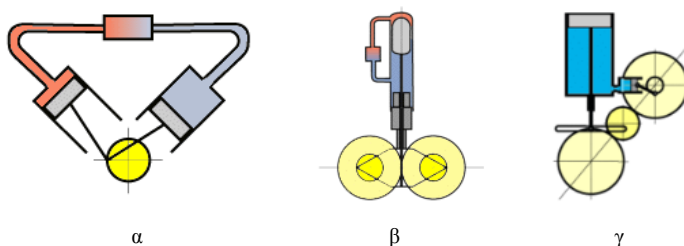


Рис. 1. Типы двигателей Стирлинга

Конструктивной особенностью двигателя Стирлинга является модернизация схемы «Бета». Ее основное отличие состоит в том, что вытеснитель и рабочий поршень размещены в двух отдельных сообщающихся цилиндрах. Вытеснитель находится в малом цилиндре, а силовой поршень – в большом. Подобное решение упрощает процесс изготовления и последующей настройки двигателя, однако делает его более габаритным.

Теоретически КПД цикла Стирлинга приближается к пределу идеального цикла, но на самом деле наиболее современные модели достигают 30–40 %, что можно сопоставить с дизельным двигателем. Ограничения связаны с несколькими техническими трудностями: регенератор не может на 100 % эффективно отдавать тепло и аккумулировать, а также требует затрат энергии на сопротивление движению газа через теплообменники; со временем тепло теряется через стенки двигателя и уходит в окружающую среду [3].

Основная часть. Несмотря на недостатки двигателя, преимущества двигателей Стирлинга делают их привлекательными для стационарного применения. Одним из наиболее удачных примеров является подводная лодка класса «Готланд» ВМС Швеции, на которой двигатель Стирлинга работает на дизельном топливе и жидком кислороде,

что позволяет подлодке долгое время находиться под водой и снижает шумность, что значительно повышает скрытность.

В космической отрасли, NASA разработала проект ASRG (*Advanced Stirling Radioisotope Generator*), данный генератор, работающий по принципу двигателя Стирлинга способен годами обеспечивать спутники, электроэнергией преобразуя тепло от распада плутония-238 в электричество, что является альтернативой менее эффективным термоэлектрическим элементам.

В солнечной энергетике также используют двигатели Стирлинга: такие проекты, как солнечная электростанция «Maricopa Solar Plant» в Аризоне (рис. 2), которая демонстрирует способность фокусировать солнечные лучи на теплообменнике двигателя, что позволяет генерировать до 1,5 МВт электроэнергии, а при наличии тепловых накопителей такие установки способны генерировать энергию круглосуточно [4–6].



Рис. 2. Солнечная тарелка *Suncatcher*

На сегодняшний день было совершено много технологических прорывов позволяющих нивелировать недостатки двигателя Стирлинга. Например, использование высокотемпературных смесей на основе оксида алюминия (Al_2O_3) и карбида кремния (SiC) может увеличить срок службы горячих узлов агрегата.

Цифровые системы управления, оснащенные алгоритмами машинного обучения, могут адаптироваться к изменяющимся нагрузкам для оптимизации рабочих параметров в режиме реального времени [7].

Экологический аспект является еще одним аргументом в пользу данной технологии. Двигатели Стирлинга не выделяют оксиды азота (NO_x) или окись углерода (CO), а при использовании с биомассой или солнечной энергией выбросы углекислого газа стремятся к нулю. Это соответствует целям Организации Объединенных Наций (ООН) в области устойчивого развития и защиты окружающей среды, особенно в районах с ограниченным доступом к электроэнергии [1, 2].

Потенциал этой технологии заключается в ее интеграции с гибридными системами. Компания «Cool Energy» проводит эксперименты, объединяя солнечные батареи и двигатели Стирлинга для выработки электроэнергии круглый год. В цепочке накопления энергии двигатель Стирлинга действует как преобразователь тепловой энергии в электрическую и конкурирует с паровым циклом. Однако основным препятствием является медленное динамическое реагирование на изменения температуры, что ограничивает его использование в местах с сильными ветрами, не постоянным и прерывистым поступлением солнечных лучей и быстро изменяющимися климатическими условиями [8].

Заключение. Исходя из изученной информации двигатель Стирлинга, который перешел от промышленных насосов XIX в. к высокотехнологичным решениям для космических полетов и использования возобновляемых источников энергии, демонстрирует свою уникальную адаптивность. В мире, где энергетическая безопасность и декарбонизация стали приоритетами, технологии могут занять важную нишу, предлагая бесшумные, надежные и экологически чистые решения для целого ряда отраслей, от бытовой энергетики до космоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ридер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер. – М.: Мир, 1986 – 460 с.
2. Уокер, Д. Машины, работающие по циклу Стирлинга. – М.: Энергия, 1978. – 145 с.
3. Стирлинг-технологии – прорыв в автономной энергетике XXI века. – Электронный ресурс: <https://www.eprussia.ru/epr/45/3045.htm>.
4. Characterization of the Advanced Stirling Radioisotope Generator. – Электронный ресурс: <https://ntrs.nasa.gov/>.
5. Неатомные подводные лодки с аноэробными энергетическими установками. – Электронный ресурс: <https://topwar.ru/>.
6. Maricopa Solar Project CSP Project. – Электронный ресурс: <https://solarpaces.nrel>.
7. Керамика: карбид кремния, оксид алюминия или карбид бора? – Электронный ресурс: <https://krosslab.pro/blog/keramika-karbid-kremniya-oksid-alyuminiya-ili-karbid-bora/>.
8. Powering a clean tomorrow. – Электронный ресурс: <https://coolenergy.com/>.

Аннотация. Рассмотрены варианты и возможности применения двигателя внешнего сгорания, а также предложены мероприятия по устранению недостатков двигателя Стирлинга и перспективы его применения на современном этапе развития научно-технического прогресса.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, альтернативная энергия, чистая энергия, двигатель внешнего сгорания.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ В ДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ

А. В. МАСАЛИМОВ¹, канд. техн. наук
С. А. ПЛОТНИКОВ², д-р техн. наук, профессор
А. Н. КАРТАШЕВИЧ³, д-р техн. наук, профессор

¹Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСИС»,

Новотроицк, Российская Федерация
²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

³Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Смесевые топлива позволяют снизить зависимость от ископаемых ресурсов, уменьшить затраты за счет использования более доступных компонентов, таких как растительные масла. Кроме того, правильная дозировка компонентов смесевых топлив позволяет адаптировать их под конкретные условия эксплуатации, а также снижает экологическую нагрузку на окружающую среду.

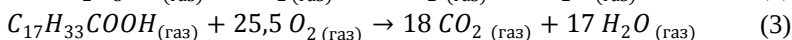
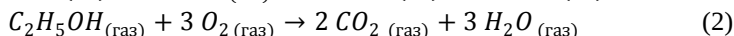
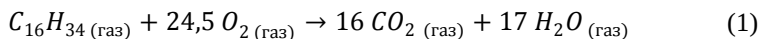
Это делает вопрос исследование характеристик смесевых топлив важной и актуальной задачей для обеспечения оптимизации составов, а также регулировки режимов работы двигателя при их использовании.

Целью исследования является моделирование химических и физико-химических процессов протекающих при горении смесевых топлив в условиях двигателя внутреннего сгорания

Основными методами исследований следует считать теоретические изыскания, методы математического и мультифизического моделирования.

Основная часть. Горение является сложным физико-химическим процессом. В условиях дизельного двигателя этот процесс осложнен процессами впрыска, смесеобразования, тепломассообмена, связанного с испарением топлива. Кроме того условия в камере сгорания дизельного двигателя характеризуются высокими значениями температуры и давления, а также их быстрым изменением ввиду того, что протекающий в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) процессы характеризуются как политропные.

Для проведения анализа были выбраны традиционное дизельное топливо, которое в моделировании представлено н-гексадеканом ($\text{н-C}_{16}\text{H}_{34}$), смесевое топливо классического дизельного топлива в паре с этанолом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) и в паре с сурепным маслом (представлено в моделировании основным компонентом – олеиновой кислотой $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$). Реакции горения приведены в уравнениях (1) (3):



В табл. 1 приведены стандартные энергетические характеристики для этих реакций. Однако при условиях в камере сгорания данные термодинамические параметры меняются. Пересчитаем стандартные термодинамические функции в соответствии с уравнениями (4) и (5). Энергия активации является независимой от температуры и давления величиной.

$$\Delta_r H_T^P = \Delta_r H_{298}^0 + \int_{298}^{T_s} \Delta_r C_V(T) dT \quad (4)$$

$$\Delta_r S_T^P = \Delta_r S_{298}^0 + \int_{298}^{T_s} \frac{\Delta_r C_V(T)}{T} dT \quad (5)$$

где $\int_{298}^{T_s} \Delta_r C_V$ – изменение мольной теплоемкости при постоянном объеме в ходе химической реакции,

$T_s = 1100\text{K}$ – температура в камере сгорания.

Таблица 1. Термодинамические характеристики реакций при стандартных условиях по данным [1–8]

Номер реакции	Изменение энтальпии в реакции ($\Delta_r H_{298}^0$), кДж/моль	Изменение энтропии в реакции ($\Delta_r S_{298}^0$), Дж/(моль·К)	Энергия активации (E_a), кДж/моль
(1)	–9 951	+1 003	126
(2)	–1 235	+217	85
(3)	–10 412	+1 251	145

Кинетика процесса может быть вычислена исходя из закона действующих масс (выражение (6)) и уравнения Аррениуса (выражение (7)). Кинетические параметры необходимые для моделирования представлены в табл. 2.

$$V = k[G]^a[O_2]^b, \quad (6)$$

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (7)$$

где V – скорость реакции;

k – коэффициент пропорциональности;

A – предэкспоненциальный множитель, определяемый природой веществ;

$[G], [O_2]$ – концентрации горючего и кислорода соответственно;

a, b – по горючему и кислороду соответственно.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что в чистом виде наибольшей скоростью горения и самой ранней инициацией дизельное топливо, что объясняется наличием в его составе относительно коротких (C_{11} – C_{12}) углеводородов. Этанол иницируется и горит почти втрое быстрее по сравнению с олеиновой кислотой. Следующим шагом стало моделирование горения смесей топлив, путем использования аддитивности при их смешении.

Таблица 2. Кинетические параметры горения чистых компонентов смесевых топлив [1-8]

Параметр	Этанол	Олеиновая кислота	Дизельное топливо
Предэкспоненциальный множитель (A), моль/см ³	$1,25 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{11}$
Порядки реакции ($a; b$)	0,15; 0,5	0,25; 1,5	0,25; 1,5

Аддитивность обеспечивается в первую очередь благодаря тому, что этанол и олеиновая кислота нерастворимы в дизельном топливе и образуют отдельную фазу. Это обеспечивает независимость процессов их воспламенения и горения, сказываясь лишь на общем тепловом эффекте. Тем не менее, в отношении потребления кислорода, данные реакции являются конкурирующими, в связи с чем необходимо выразить скорости расходования топлива и кислорода в смеси.

При подаче смеси целесообразно уйти от отдельных концентраций компонентов, выразив их через количество поданной смеси, для чего можно использовать мольную долю. Для двухкомпонентной системы это примет вид уравнений (8) и (9):

$$[G_1] = x[G_{\text{смеси}}], \quad (8)$$

$$[G_2] = (1 - x)[G_{\text{смеси}}], \quad (9)$$

где x – мольная доли одного из компонентов в смеси.

Материальный баланс и расчет концентраций смеси, а именно количество воздуха на горение, рассчитывалось из условия, что после горения в дымовых газах содержится 4 % кислорода. Полнота сгорания была принята 99 % от начального количества топливной смеси.

На рис. 1 показано время горения смесевых топлив в зависимости от их состава. Исходя из рисунка можно заключить, что смесевое топливо с этанолом сгорает быстрее, по сравнению с чистым дизельным топливом за счет более высоких скоростей горения самих веществ и за счет того, что в процессе горения эти процессы идут параллельно, конкурируя за кислород. В то время как олеиновая кислота по мере роста ее количества в топливной смеси дает снижение скорости горения.

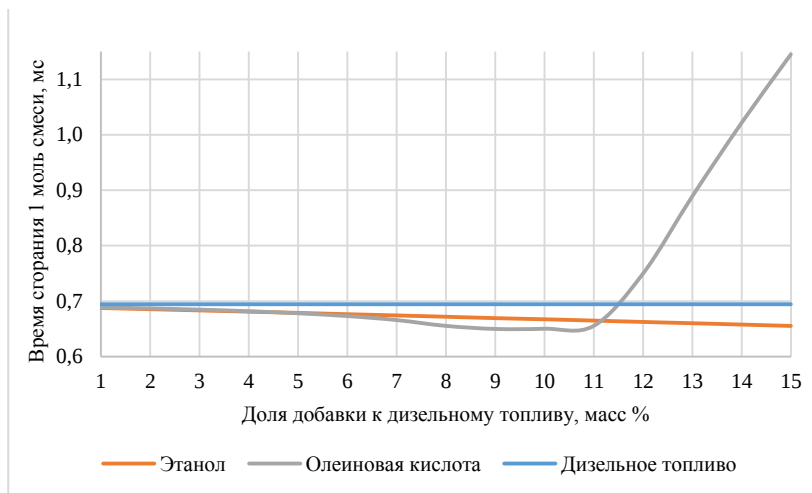


Рис. 1. Время сгорания одного моль смесевых топлив в сравнении с дизельным топливом

Закключение. В работе было проведено кинетическое моделирование процессов горения смесевых топлив в камере сгорания дизельного двигателя. Показано, что при введении в дизельное топливо дополнительных, не смешивающихся с ним компонентов может быть получен прирост скорости горения при использовании этанола. Использование растительных масел приводит к нелинейной зависимости, которая может значительно скорость процесса как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Полученный результат моделирования может

быть использован при корректировки режимов работы дизельных двигателей при работе на смешанных топливах.

ЛИТЕРАТУРА

1. The oxidation of n-Hexadecane: experimental and detailed kinetic modeling / A. Ristori, P. Dagaut, G. Pengloan, M. Cathonnet // Combustion and Flame. – 2001. – Vol. 125, iss. 3. – P. 1128–1137. – DOI: 10.1016/S0010-2180(01)00232-2.
2. Seshadri, K. On the Estimation and Validation of Global Single-Step Kinetics Parameters of Ethanol-Air Oxidation Using Diffusion Flame Extinction Data / K. Seshadri, T. Lu, D. M. Liebe // Combustion Science and Technology. – 2010. – Vol. 182, iss. 1. – P. 1–15. – DOI: 10.1080/00102200903337242.
3. Westbrook, C. K. Simplified Reaction Mechanisms for the Oxidation of Hydrocarbon Fuels in Flames / C. K. Westbrook, F. L. Dryer // Combustion Science and Technology. – 1981. – Vol. 27, iss. 1–2. – P. 31–43. – DOI: 10.1080/00102208108946970.
4. Reaction Mechanism of Pyrolysis and Combustion of Methyl Oleate: A ReaxFF-MD Analysis / X. Zhang, Y. Li, J. Wang [и др.] // Energies. – 2024. – Vol. 17, iss. 14. – P. 3536. – DOI: 10.3390/en17143536.
5. Hexadecane [Электронный ресурс] // NIST Chemistry WebBook, SRD 69. – Режим доступа: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C544763&Mask=2> (дата обращения: 05.10.2025).
6. Oleic Acid [Электронный ресурс] // PubChem, CID 445639. – Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Oleic-Acid> (дата обращения: 05.10.2025).
7. Standard enthalpy of formation, Gibbs energy of formation, entropy and molar heat capacity of organic substances [Электронный ресурс] // Engineering ToolBox. – Режим доступа: https://www.engineeringtoolbox.com/standard-enthalpy-formation-value-Gibbs-free-energy-entropy-heat-capacity-organic-d_1979.html (дата обращения: 05.10.2025).
8. Standard Thermodynamic Properties of Chemical Substances [Электронный ресурс] // Sciencemadness.org. – Режим доступа: <https://www.sciencemadness.org/whisper/files.php?pid=302004&aid=26533> (дата обращения: 05.10.2025).

Аннотация. Рассмотрен вопрос численного математического моделирования процесса горения смешанных топлив. На основе термодинамических и кинетических функций был проведен анализ горения различных смешанных топлив в условиях конкурирующих по кислороду химических процессов. Приведены результаты расчетов позволяющие оптимизировать состав смешанных топлив с точки зрения реакции горения и регулировать работу дизельного двигателя для смешанных топлив.

Ключевые слова: смешанные топлива, дизельное топливо, горение, термодинамическое и кинетическое моделирование.

ПЛАВАЮЩИЙ ШАРНИР В НАВЕСНОМ УСТРОЙСТВЕ ТРАКТОРА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА НАВЕСКИ

А. Г. МУРАШКИН, канд. техн. наук, доцент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Для создания машинно-тракторных агрегатов различного назначения трактор снабжается передним и задним навесными устройствами. Классический вариант подъемно-навесного устройства (ПНУ) показан на рис. 1 [1].

Навесное устройство трактора состоит из собственно механизма навески (четыре звена $FKMN$) и механизма подъема навешенной машины (пятизвенник $ABCDEFN$).

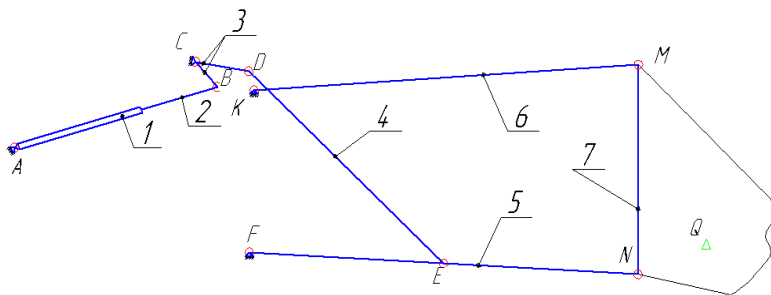


Рис. 1. Схема переднего навесного устройства:

1 – гидроцилиндр; 2 – шток гидроцилиндра; 3 – подъемные рычаги; 4 – раскос;
5 – нижняя тяга; 6 – верхняя тяга; 7 – присоединительный треугольник (стойка);
A, B, C, D, E, F, M, N – шарниры навески; Q – центр масс с.-х. машины

Усилие, развиваемое силовым цилиндром AB , трансформируется и передается выходному звену MN навески. Коэффициент трансформации k или передаточное отношение механизма подъема навески зависит от длин рычагов навески и углов передачи подъемного усилия в шарнирах навески в процессе работы.

Целью работы является анализ влияния «плавающего» шарнира верхней тяги навески на процесс подъема навешенной машины и

определение коэффициента трансформации механизма подъема переднего навесного устройства трактора.

Основная часть. Подъемное усилие P на оси подвеса с. х. машины в простейшем варианте расчета (без учета сил трения и сил инерции) может быть определено как

$$P = k \cdot P_{\text{шт}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{шт}}$ – усилие, развиваемое гидроцилиндром механизма подъема на штоке гидроцилиндра,

k – коэффициент трансформации.

Обозначая длины рычагов: $AB - l_1$, $BC - l_2$, $CD - l_3$, $EF - l_4$, $FN - l_5$, а углы между рычагами AB и $BC - \alpha$, между CD и $DE - \beta$, между DE и $EF - \gamma$, можно переписать формулу (1):

$$P = P_{\text{шт}} (l_2 \cdot \sin \alpha / l_3 \cdot \sin \beta) \cdot l_4 \cdot \sin \gamma / l_5. \quad (2)$$

Соотношение $(l_2 \cdot l_4) / (l_3 \cdot l_5)$ при неизменных длинах рычагов можно заменить величиной $a = \text{const}$. Тогда коэффициент трансформации

$$k = (a \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma) / \sin \beta. \quad (3)$$

Углы α , β , γ в процессе подъема изменяют свои величины в зависимости от хода штока $S_{\text{шт}}$ гидроцилиндра. Величины этих углов могут меняться и при изменении координат присоединительных шарниров, т. е. точек A , C , F .

Следовательно, подъемное усилие P навески в шарнире N (на оси подвеса) будет являться функцией всех этих величин:

$$P_N = f(S_{\text{шт}}, X_A, Y_A, X_C, Y_C, X_F, Y_F).$$

В этой статье мы будем рассматривать изменение коэффициента трансформации k по мере увеличения хода штока гидроцилиндра при неизменных координатах опорных шарниров и заранее установленных длинах рычагов навески, которые перечислены в табл. 1.

Координаты шарниров и длины рычагов навески подбирались из условия обеспечения работоспособности МТА при выполнении технологических операций. Для этого нижняя и верхняя тяги навески должны размещаться так, чтобы мгновенный центр вращения (МЦВ) рабочей машины располагался за точкой опоры управляемых колес трактора, т. е. внутри его колесной базы.

Это обеспечивается, если опорный шарнир верхней тяги располагается ниже шарнира этой же тяги, соединяющейся со стойкой (тре-

угольником автосцепки). Кроме того, необходимо обеспечить должные значения подъемного усилия на оси подвеса машины при переводе ее в транспортное положение [2].

Таблица 1. Геометрические параметры механизма навески

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Величина, м
1	Координаты нижнего шарнира гидроцилиндра	X_A Y_A	0,46 0,50
2	Координаты подъемного вала	X_C Y_C	0,61 1,10
3	Координаты присоединительного шарнира нижней тяги	X_A Y_A	0,64 0,55
4	Координаты присоединительного шарнира верхней тяги	X_K Y_K	0,80 0,85
5	Длина подъемного рычага	l_1	0,14
6	Длина поворотного рычага	l_2	0,26
7	Длина раскоса	l_3	0,5...0,53
8	Плечо нижней тяги	l_4	0,43
9	Длина нижней тяги	l_5	1,0
10	Стойка навески	l_{61}	0,46
13	Длина верхней тяги	l_7	0,85...0,9
14	Высота оси подвеса машины	h_N	0,5; 0,75

Настройка навески проводилась для двух значений оси подвеса рабочей машины: 0,5 м и 0,75 м.

В соответствии с приведенными размерами представим схему ПНУ на рис. 2. Такой вариант навески разработан для агрегатирования с рабочими сельскохозяйственными машинами, располагающимися впереди трактора [3].

В процессе подъема навешенной машины углы передачи подъемного усилия в шарнирах навески изменяются. При заданных параметрах навески (табл. 1) угол α будет менять свою величину от 127° в начале до 34° в конце подъема, угол β от 131° до 40° , а угол γ от 63° до 112° .

Следовательно, коэффициент трансформации механизма подъема навески, определяемый для точки оси подвеса рабочей машины, также будет изменяться в определенных пределах. Подсчитанные по формуле 3 значения этого коэффициента в функции хода штока гидроцилиндра сведем в табл. 2.

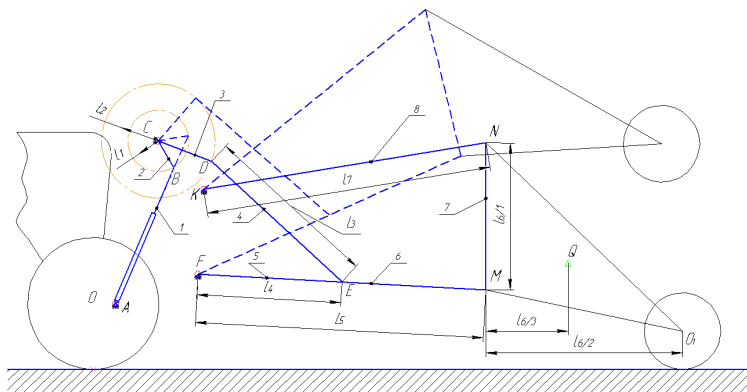


Рис. 2. Схема фронтального переднего навесного устройства:
 1 – силовой гидроцилиндр и шток; 2 – подъемный рычаг; 3 – поворотный рычаг;
 4 – раскос; 5 – плечо тяги; 6 – нижняя тяга; 7 – присоединительный треугольник
 (стойка); 8 – верхняя тяга; 9 – колесо трактора; 10 – опорное колесо машины;
 O_1 – центр колеса; A, B, C, D, E, F, M, N – шарниры навески;
 Q – центр масс с.-х. машины; $l_1, \dots, l_7$ – размеры рычагов и тяг навески

Таблица 2. Коэффициент трансформации ПНУ

№ п/п	Ход штока $S_{шт}$, м	Коэффициент трансформации k	
		для оси подвеса 0,5 м	для оси подвеса 0,75 м
1	0,00	4,39	4,87
2	0,01	4,35	4,77
3	0,02	4,33	3,97
4	0,03	4,295	4,06
5	0,04	4,29	4,13
6	0,05	4,28	4,22
7	0,06	4,25	4,29
8	0,07	4,29	4,36
9	0,08	4,31	4,44
10	0,09	4,34	4,55
11	0,10	4,37	4,58
12	0,11	4,41	4,66
13	0,12	4,46	4,73
14	0,13	4,51	4,80
15	0,14	4,58	4,88
16	0,15	4,66	4,96
17	0,16	4,74	5,03
18	0,17	4,85	5,11
19	0,18	4,98	5,19
20	0,19	5,14	5,30
21	0,20	6,29	5,33

Подъем рабочей машины при настройке оси подвеса на 0,75 м, с выходом штока гидроцилиндра более 0,16 м, становится невозможным по конструктивным особенностям навески.

График изменения коэффициента k трансформации механизма подъема (при двух разных высотах оси подвеса) машины представлен на рис. 3.

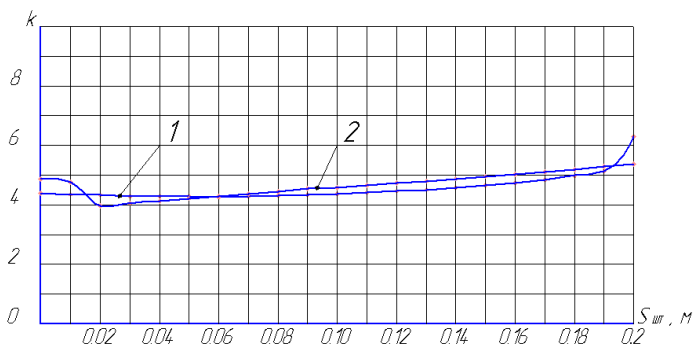


Рис. 3. Коэффициент трансформации (передаточное отношение) механизма подъема навески: 1 – $h_M = 0,5$ м; 2 – $h_M = 0,75$ м

Этот график указывает на приблизительно одинаковый характер изменения коэффициента трансформации в процессе подъема при разной исходной высоте оси подвеса рабочей машины. Для первой ветви графика следует отметить неблагоприятное возрастание этого коэффициента (больше шести единиц). При расчетном значении коэффициента трансформации для центра масс машины этот коэффициент будет больше в 1,5...2 раза.

Это означает что усилия, развиваемого силовым цилиндром навески, может оказаться недостаточным для подъема тяжелой машины. Для второй ветви графика конечное значение k также неблагоприятно (около 5,5), отмечается также неравномерность передаточного числа в начале процесса подъема машины, что дает дополнительную динамическую нагрузку.

Эти факторы заставляют изменять конструкцию навески: либо чрезмерно увеличить длину верхней тяги навески, либо обеспечить перемещение опорного шарнира тяги вперед и вверх, чтобы он оказался выше присоединительного треугольника автосцепки. Тогда можно ожидать снижения коэффициента трансформации навески.

В пазу KK_1 может перемещаться опорный шарнир тяги верхней тяги навески в процессе подъема навешенной машины. Это и означает формулировку – «плавающий» шарнир. Сравнивая схемы на рис. 2 и на рис. 4 видим более удачное транспортное положение рабочей с.-х. машины. Она имеет более близкое расположение к точке опоры передних колес трактора, а значит меньше нагружает управляемые колеса. Поднятая машина (рис. 4) не перекрывает обзор механизатору.

103

пазу KK_1 . Навеска при этом работает по двухточечной схеме. Когда шарнир К верхней тяги достигает верхнего края паза (точка K_1), тяга включается в работу, опорные колеса машины начинают отрываться от земли. На этой фазе подъема машины навеска работает уже по трехточечной схеме. Обеспечивается достаточная высота подъема машины.

Значения коэффициента трансформации для этой схемы навески как для оси подвеса машины (при исходной высоте $h_M = 0,5$ м), так и для выбранного центра масс, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициент трансформации ПНУ с пазом

№ п/п	Ход штока $S_{шт}$, м	Коэффициент трансформации, k	
		на оси подвеса	в центре масс
1	0,00	5,15	6,81
2	0,01	4,92	6,67
3	0,02	4,82	6,55
4	0,03	4,77	6,45
5	0,04	4,70	6,39
6	0,05	4,53	5,89
7	0,06	4,315	5,77
8	0,07	4,31	5,73
9	0,08	4,31	5,71
10	0,09	4,32	5,67
11	0,10	4,34	5,66
12	0,11	4,36	5,66
13	0,12	4,39	5,655
14	0,13	4,41	5,667
15	0,14	4,49	5,69
16	0,15	4,56	5,70
17	0,16	4,60	5,76
18	0,17	4,72	5,83
19	0,18	4,82	5,98
20	0,19	4,96	6,03
21	0,20	5,12	6,35

Далее представлен график (рис. 5) изменения коэффициента трансформации механизма подъема передней навески при выходе штока силового цилиндра от 0 до 0,2 м. График иллюстрирует изменение коэффициента трансформации k как для оси подвеса машины, так и для ее центра масс Q . Центр масс Q соответствует геометрическому центру треугольника MON , однако для разных рабочих машин он может располагаться ближе или дальше этой выбранной точки. Иное положение центра масс будет сказываться на величине коэффициента трансформации механизма подъема.

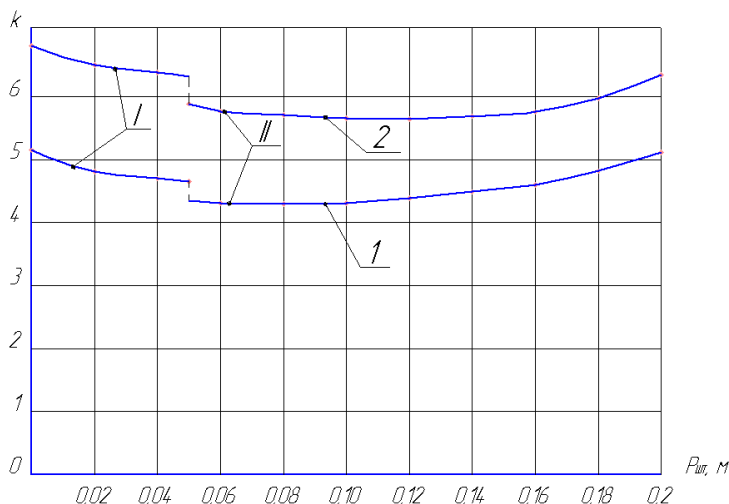


Рис. 5. Коэффициент трансформации механизма подъема переднего ПНУ при изменении длины хода штока силового гидроцилиндра:
 1 – k для точки оси подвеса машины; 2 – k для точки центра масс машины;
 I – двухточечная фаза подъема; II – трехточечная фаза подъема

Сравнивая графики рис. 3 и рис. 5 можно отметить, что изменение передаточного числа (коэффициента трансформации) навески с пазом носит более плавный характер, а само значение коэффициента меньше и в начале, и в конце подъема машины. Это обстоятельство особенно важно как для начала подъема (при выглублении рабочих органов машины), так и конце подъема тяжелых с.-х. машин.

Анализируя график изменения коэффициента трансформации навески, можно отметить, что наличие паза разбивает процесс подъема машины на две фазы: двухточечную и трехточечную. Для двухточечной фазы коэффициент k на оси подвеса изменяется от 5,15 до 4,7; для трехточечной фазы – от 4,53 до 5,12. Аналогичный характер изменения коэффициента трансформации навески имеет график и для центра масс навешенной машины. Наибольшее начальное значение коэффициента k составляет 6,81 (начало подъема), максимальное конечное значение k равно 6,35 (конец подъема). Изменение передаточного числа механизма подъема навески на первой фазе от минимального до максимального значения составляет 4,2 %, а на второй фазе – 8,1 %. Неравномер-

ность значений коэффициента k не превышает 10 %, а это означает сравнительно небольшое увеличение динамической нагрузки.

Силовой гидроцилиндр навески развивает подъемное усилие на штоке гидроцилиндра свыше 120 кН [3]. Этой величины, даже с учетом 30 % потерь подъемного усилия, достаточно для подъема навешенной машины массой до 12,5 кН, при вышеуказанных (в табл. 1) параметрах навески и получающихся значениях коэффициента трансформации механизма подъема.

Заключение. «Плавающий» шарнир верхней тяги навески разбивает процесс подъема навешенной машины на две фазы: двухточечную и трехточечную. Разбивка процесса подъема машины на две фазы снижает коэффициент трансформации механизма подъема навесного устройства и обеспечивает плавное изменение этого коэффициента при подъеме машины (т. е. снижается динамическая нагрузка). Эти обстоятельства позволяют увеличить подъемное усилие в точке оси подвеса рабочей машины – навеска может поднимать более тяжелый груз.

Перемещение опорного шарнира верхней тяги уменьшает высоту подъема машины, однако это уменьшение не критично, так как обеспечивается достаточный транспортный просвет и не перекрывается обзорность для механизатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тракторы. Конструирование и расчет / под ред. В. В. Гуськова. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – Ч. 3. – 383 с.
2. Мурашкин, А. Г. Взаимозависимость подъемного усилия механизма подъема передней навески трактора класса 20 кН и координат ее опорных шарниров / А. Г. Мурашкин // Повышение надежности сельскохозяйственной техники. – Горки: БГСХА, 1989. – С. 97.
3. Ксенович, И. П. Тракторы МТЗ-100 и МТЗ-102 / И. П. Ксенович. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 256 с.

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу влияния «плавающего» шарнира верхней тяги навески на процесс подъема навешенной машины. Подсчитаны значения коэффициента трансформации механизма подъема и обоснована целесообразность применения паза в конструкции переднего навесного устройства трактора.

Ключевые слова: трактор, переднее навесное устройство, плавающий шарнир, механизм подъема, коэффициент трансформации.

ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ДВС НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

А. А. ОШМАРИН¹, аспирант

С. А. ПЛОТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор

А. А. РУДАШКО², канд. техн. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,

Киров, Российская Федерация

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,

Горки, Республика Беларусь

Введение. Актуальность перевода дизельных двигателей на альтернативные виды топлива, такие как смеси дизельного топлива с растительными маслами (рапсовое, сурепное) и спиртами (этанол, метанол), обусловлена задачами снижения зависимости от нефтяного сырья и уменьшения выбросов парниковых газов. Однако физико-химические свойства таких многокомпонентных смесей существенно отличаются от свойств стандартного дизельного топлива, что вносит значительные изменения в рабочий процесс двигателя. Математическое моделирование является ключевым инструментом для анализа и прогнозирования влияния этих топлив на характеристики двигателя. Точность и адекватность модели определяются корректностью выбора исходных расчетных параметров, которые должны отражать синергетический эффект от смешения разнородных компонентов.

Основная часть. Построение адекватной математической модели требует учета трех основных групп параметров. Первую группу составляют параметры, характеризующие свойства топливной смеси. К ним относятся фракционный состав и летучесть, где необходимо учитывать разницу в температурах кипения компонентов, приводящую к двухфазному испарению. Критически важными являются вязкость и поверхностное натяжение смеси, которые нелинейно зависят от концентрации спиртов и растительных масел и напрямую влияют на качество распыления. Низшая теплота сгорания рассчитывается по правилу аддитивности с учетом массовых долей. Наиболее сложным параметром является цетановое число смеси. Хотя цетановое число смеси в целом подчиняется правилу аддитивности, для достижения максимальной точности, особенно в случае сложных многокомпонентных

смесей, его значения часто уточняют экспериментально. Также необходимо задавать параметры стабильности смеси (растворимость, склонность к расслоению) и температуру помутнения, влияющие на эксплуатационные свойства.

Вторую группу образуют параметры, характеризующие процессы смесеобразования и сгорания. Для многокомпонентной топливной капли стандартная модель испарения требует модификации для учета дифференциального испарения легких и тяжелых фракций. Ключевым параметром является период задержки воспламенения, который определяется эффективным цетановым числом смеси и может существенно увеличиваться при высоком содержании спиртов. Скорость выгорания и параметры закона подвода теплоты (доля предварительного сгорания, продолжительность) должны быть скорректированы на основе экспериментальных данных для конкретной композиции, так как наличие кислорода в молекулах топлива влияет на кинетику окисления. При моделировании образования выбросов необходимо учитывать конкурирующие эффекты: кислород подавляет образование сажи, в то время как длинноцепочечные молекулы растительных масел могут его усиливать. Кроме того, высокая теплота парообразования спиртов способствует снижению выбросов NO_x , но при этом существует риск образования нерегулируемых выбросов, таких как альдегиды.

Третья группа включает конструктивные и регулировочные параметры двигателя. Высокая вязкость смеси может потребовать увеличения давления впрыска, а низкая смазывающая способность спиртов – учета износа элементов топливной аппаратуры. Увеличение периода задержки воспламенения требует коррекции угла опережения впрыска для сохранения оптимального протекания процесса сгорания. В отдельных случаях может рассматриваться вопрос адаптации степени сжатия для компенсации ухудшения воспламеняемости [1–8].

Заключение. Таким образом, построение математической модели дизельного двигателя на многокомпонентной смеси требует учета ряда специфических параметров, отсутствующих в моделях для стандартного топлива. К числу ключевых задач относятся: расчет свойств смеси (например, цетановое число может быть с достаточной точностью определено аддитивным способом), модификация моделей распыления и испарения для многокомпонентных эмульсий, а также корректное определение параметров кинетики горения с учетом синергетических эффектов. Наиболее перспективным подходом представляется сочетание феноменологических моделей, параметры которых, включая цета-

новое число, могут быть оценены расчетными методами, с последующей валидацией по экологическим и экономическим показателям. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку предиктивных химико-кинетических механизмов окисления сложных топливных смесей для интеграции в CFD-модели, что позволит проводить виртуальный скрининг перспективных топливных композиций и оптимизировать рабочий процесс двигателя под них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников, С. А. Безмоторные методы оценки процесса сгорания в ДВС / С. А. Плотников, М. В. Смольников, П. В. Гневашев // Автотракторостроение и автомобильный транспорт 1. – Минск: БНТУ, 2024. – Т. 1. – С. 204–208.
2. Плотников, С. А. Совершенствование экспресс-методов определения показателей работы ДВС / С. А. Плотников, М. В. Смольников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2025. – № 1 (88). – С. 56–62.
3. Определение показателей воспламеняемости многокомпонентных биотоплив в дизельном двигателе / С. А. Плотников, П. Я. Кантор, А. И. Шипин [и др.] // Грузовик. – 2024. – № 3. – С. 9–13.
4. Бузиков, Ш. В. Определение эффективности рабочего процесса тракторного дизеля при работе на альтернативных топливах / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 171–175.
5. Agarwal A. K., Gupta J. G., Dhar A. Potential and challenges for large-scale application of biodiesel in automotive sector // Progress in Energy and Combustion Science. – 2017. – Vol. 61. – P. 113–149.
6. Yusaf T., Hamawand I., Baker P., Najafi G. The effect of ethanol-diesel blend on combustion and emissions of a direct injection diesel engine // Energy Reports. – 2021. – Vol. 7. – P. 2051–2060.
7. Xue J., Grift T. E., Hansen A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15, № 2. – P. 1098–1116.
8. Vallinayagam R., Vedharaj S., Yang W. M., Lee P. S., Chua K. J. E., Chou S. K. Combustion performance and emission characteristics study of pine oil in a diesel engine // Energy. – 2013. – Vol. 57. – P. 850–855.

Аннотация. Рассмотрен комплекс ключевых расчетных параметров, необходимых для построения математической модели рабочего процесса дизельного двигателя на многокомпонентном альтернативном топливе.

Ключевые слова: дизельный двигатель, альтернативное топливо, растительные масла, спирты, математическое моделирование, распыление, самовоспламенение, выбросы, цетановое число, аддитивность.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЛЕГЧЕНИЯ ЗАПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Д. В. ПЛЕХОВ¹, аспирант

С. А. ПЛОТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор

Г. П. ШИШКИН², канд. пед. наук, доцент

А. В. ГОРДЕЕНКО³, канд. техн. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,

Киров, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет»,

Киров, Российская Федерация

³Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,

Горки, Республика Беларусь

Введение. Эксплуатация автотракторной и специальной техники в условиях низких температур представляет собой серьезную технико-экономическую проблему. До 30–35 % всех трудовых затрат в сельском хозяйстве и на транспорте в зимний период приходится на операции, связанные с подготовкой и запуском двигателей. С понижением температуры окружающего воздуха увеличивается вязкость моторного масла и дизельного топлива, снижается эффективность работы аккумуляторных батарей, возрастают механические потери и теплоотдача в стенки цилиндров, что в совокупности приводит к резкому ухудшению пусковых характеристик двигателей. Надежный пуск стандартного дизельного двигателя без вспомогательных средств возможен лишь до температур порядка $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. В более суровых условиях необходимо применение специальных методов и устройств [1–2].

Цель данной работы – провести обзор современных научных и практических разработок в области облегчения запуска дизельных двигателей при низких температурах, систематизировать основные подходы и оценить их эффективность на основе анализа последних исследований.

Основная часть. Пуск холодного дизельного двигателя осложняется комплексом взаимосвязанных факторов:

Увеличение вязкости моторного масла. Это приводит к резкому росту момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала (на 60–80 % при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), перегрузке стартера и повышенному износу деталей ЦПГ в момент пуска из-за недостаточной подачи масла.

Ухудшение свойств дизельного топлива. Повышение вязкости и помутнение топлива из-за выпадения парафинов ухудшают его прокачиваемость, фильтрацию и распыливание в цилиндрах.

Снижение температуры и давления в конце такта сжатия. Интенсивный теплообмен с холодными стенками цилиндра и утечки заряда через поршневые кольца (до 24 % массы) не позволяют достичь температуры, необходимой для самовоспламенения топлива (450–500 °С).

Ухудшение работы аккумуляторных батарей. Ёмкость и пусковой ток АКБ снижаются на 40–50 % при температурах ниже –20 °С, что не позволяет обеспечить требуемую частоту вращения коленчатого вала.

Теоретические исследования (рис. 1) термодинамики процесса сжатия [1, 6] показывают, что при отрицательных температурах теплота, сообщаемая заряду, недостаточна для воспламенения. Значительная часть энергии тратится на компенсацию теплотерь в стенки камеры сгорания и утечки через уплотнения.

Все методы облегчения пуска можно разделить на несколько направлений в зависимости от объекта воздействия и принципа действия.

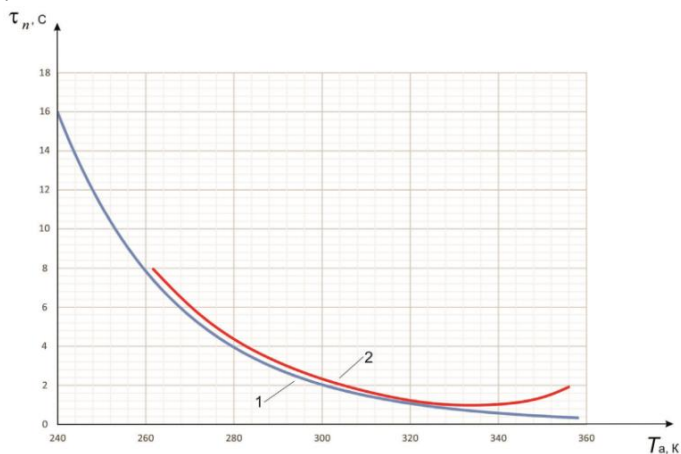


Рис. 1. Зависимость продолжительности пуска дизеля от температуры свежего заряда (1— теоретические расчеты без учета химической кинетики горения топлива; 2 — экспериментальные данные)

Наиболее распространенный и эффективный метод — предварительный разогрев двигателя перед пуском. Различают следующие виды подогрева:

1. Подогрев охлаждающей жидкости. Осуществляется с помощью электрических подогревателей (ТЭНов), работающих от сети 220 В или бортовой сети. Просты и безопасны, но неавтономны (рис. 2).

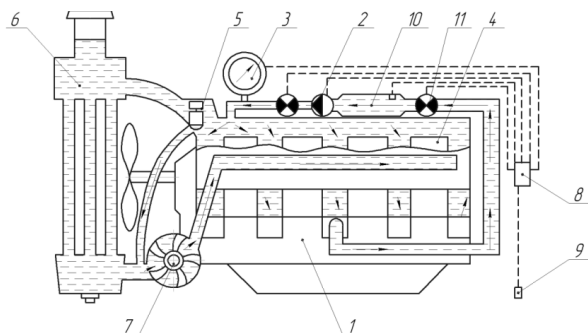


Рис. 2. Принципиальная схема системы тепловой подготовки дизельного двигателя:

1 – блок цилиндров; 2 – электрический насос системы охлаждения; 3 – датчик температуры; 4 – головка блока; 5 – термостат; 6 – радиатор системы охлаждения двигателя; 7 – штатный циркуляционный насос; 8 – электронный блок управления системой; 9 – датчик температуры наружного воздуха; 10 – тепловой аккумулятор; 11 – гидрораспределительный клапан

2. Автономных жидкостных подогревателей (Webasto, Eberspacher, «Теплостар», ПЖД), работающих на основном топливе. Обеспечивают полную автономность, но имеют высокую стоимость, сложны в монтаже и пожароопасны.

3. Стационарных или передвижных установок с использованием горячей воды, пара или газа для группового подогрева техники [8].

Подогрев моторного масла – позволяет напрямую снизить момент сопротивления прокручиванию. Часто совмещается с подогревом ОЖ.

Использование тепловых аккумуляторов. Перспективное энергосберегающее решение. Аккумулятор накапливает тепло от работающего двигателя и сохраняет его в течение 48–72 часов за счет эффективной теплоизоляции и свойств теплоаккумулирующего материала (например, парафина). Перед следующим пуском накопленное тепло используется для разогрева ОЖ. Разработанные системы (например, ЭСПТП) позволяют сократить время прогрева и расход топлива на 120–150 г за пуск.

Повышение температуры свежего заряда является ключевым фактором для обеспечения воспламенения. Используются:

Электрические свечи подогрева, устанавливаемые во впускном коллекторе. Эффективны для двигателей малого объема (до 5 л).

Электрофакельные подогреватели. Впрыскивают и поджигают топливо во впускном тракте, создавая факел для нагрева воздуха. Мощны и эффективны даже при очень низких температурах, но требуют подключения к топливной системе и имеют ограниченный ресурс.

Вихревые индукционные подогреватели. Инновационное решение, предложенное А.А. Козловым [2]. Нагрев происходит бесконтактно за счёт вихревых токов, что исключает выжигание кислорода и повышает пожаробезопасность. Устройство автоматически поддерживает оптимальную температуру заряда (около 336 К при -25°C), что значительно сокращает время пуска.

Подогрев дизельного топлива, особенно смесового с содержанием растительных масел (рапсового), критически важен для сохранения его реологических свойств.

Исследования А. С. Аверьянова и А. П. Уханова показали, что с ростом концентрации рапсового масла (РМ) в ДСТ при $+30^{\circ}\text{C}$ его вязкость резко возрастает, что приводит к падению цикловой подачи ТНВД на 20–30 % и росту давления в надплунжерном пространстве на 15–20 %.

Подогрев ДСТ до $+80^{\circ}\text{C}$ позволяет нивелировать разницу в вязкости между чистым ДТ и ДСТ с содержанием до 67 % РМ. Это делает возможным применение альтернативных топлив без существенной модернизации топливной аппаратуры.

Свечи накаливания. Устанавливаются в камере сгорания для предварительного подогрева воздуха в ней и облегчения воспламенения в первые моменты пуска.

Впрыск легковоспламеняющихся жидкостей (эфиров) во впускной коллектор. Эффективный, но вредный для ЦПГ метод, применяемый в крайних случаях при температурах ниже -25°C .

Система масловпрыска (рис. 3). Уникальная технология, исследованная для дизелей типа ЧН15/18 [10]. Впрыск небольшого количества масла (10–12 г/цилиндр) в цилиндры перед пуском позволяет:

1. Уплотнить зазоры между поршнем и гильзой, сократив утечки воздуха на 20–25 %.
2. Смазать трущиеся поверхности, снизив момент сопротивления.
3. Повысить температуру конца сжатия на $18\text{--}22^{\circ}\text{C}$ и снизить минимальную температуру надёжного пуска на 7°C .
4. Математическое моделирование процессов пуска.

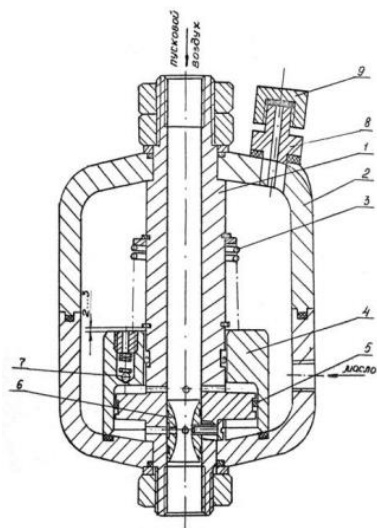


Рис. 3. Устройство масловпрыска: 1 – стержень; 2 – резервуар для масла; 3 – пружина; 4 – поршень; 5 – уплотнительные кольца; 6 – диффузор; 7 – клапан; 8 – штуцер; 9 – заглушка

Для углубленного изучения процессов, происходящих при пуске, и оптимизации систем подготовки широко применяется математическое моделирование.

В. Н. Бондарь предложил дифференциальную математическую модель рабочего процесса дизеля на режимах пуска, основанную на системе уравнений энергетического и массового баланса. Модель учитывает:

- Теплообмен со стенками цилиндра (по модифицированной формуле Вошни).
- Утечки заряда через поршневые кольца (с использованием понятия «эквивалентного зазора»).
- Подачу воздуха от системы воздушного пуска.
- Зависимость теплоёмкости и внутренней энергии от текущего состояния рабочего тела.

Данная модель была верифицирована экспериментально на дизеле ЧН15/18 и показала высокую эффективность. Она позволяет моделировать различные средства облегчения пуска (впрыск масла, подогрев воздуха) и оптимизировать их параметры.

5. Анализ эффективности и экономической целесообразности.

Применение систем предпускового подогрева является не только технической, но и экономической необходимостью:

- Сокращение времени на запуск: на подготовку техники к работе тратится 15–30 % рабочего времени зимой.

- Снижение износа: один холодный пуск эквивалентен по износу 25 км пробега или 1 часу нормальной работы.

- Экономия топлива: только за счет сокращения времени прогрева экономится 120–150 г топлива на один пуск.

- Снижение вредных выбросов: предпусковой подогрев позволяет снизить выбросы CO на 50 %, а CH на 30 % в момент запуска.

- Повышение готовности парка: исключается необходимость оставлять технику с работающим двигателем на длительных стоянках.

Выбор конкретного метода зависит от условий эксплуатации, экономических возможностей и типа техники. Для крупных парков целесообразно использование стационарных групповых установок или тепловых аккумуляторов. Для отдельных машин, работающих в удаленных районах, оптимальны автономные подогреватели или системы подогрева воздуха.

Заключение. Применение различных методов и устройств для облегчения запуска дизельных двигателей обеспечивает их устойчивую работу в неблагоприятных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеенко, А. В. Улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлива / А. В. Гордеенко, В. А. Белоусов, В. Г. Костенич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 246–252.

2. Плотников, С. А. Разработка дизельных топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 257–260.

Аннотация. Рассмотрены различные методы и устройства для облегчения запуска дизельных двигателей.

Ключевые слова: дизельный двигатель, устойчивая работа, неблагоприятные погодные условия.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

С. А. ПЛОТНИКОВ¹, д-р техн. наук, профессор
А. Н. КАРТАШЕВИЧ², д-р техн. наук, профессор
П. Ю. МАЛЫШКИН³, канд. техн. наук

¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Введение. В настоящее время можно наблюдать повышенное внимание к применению возобновляемых источников энергии в автотракторном машиностроении. Особое внимание отводится источникам энергии растительного происхождения и газообразному топливу [1]. Однако, применение, как жидких, так и газообразных источников энергии в автотракторной технике требует разработки новых систем питания и отдельных их агрегатов для надежной работы. При этом конструкции новых систем питания должны не только сохранять традиционные функции, но и приобретать новые. В частности, системы питания должны быть адаптированы под широкий спектр физико-химических свойств топлив, таких, как кинематическая вязкость, низкотемпературные свойства, физическая стабильность и т.п. Немаловажным свойством систем становится способность качественного смешивания традиционного дизельного топлива со спиртами, маслами различного происхождения, присадками и добавками, улучшающими рабочий процесс дизеля при одновременном четком регулировании состава и количества подаваемой в цилиндры смеси в зависимости от режима работы двигателя. Также весьма перспективны новейшие топливные системы, способные работать в условиях высокотемпературной активации топлива. Разработка таких систем питания, особенно, с применением электронного регулирования и ориентацией на возможности искусственного интеллекта является актуальной задачей.

Целью исследований явилось расширение многотопливности автотракторных ДВС.

Задачей исследования явилась разработка и создание новых систем питания и их элементов для работы дизеля на альтернативных топливах.

Методами исследований явились эмпирический обзор, теоретический анализ, стендовые и эксплуатационные испытания автотракторного дизеля.

Теоретические расчеты, разработка конструкций и их проверка в стендовых и эксплуатационных условиях осуществлялись на основе договора о научно-техническом сотрудничестве между ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (г. Киров, Россия) и Белорусской государственной сельскохозяйственной академией (г. Горки, Беларусь).

Основная часть. Применение альтернативных топлив (АТ) и топлив с нетрадиционными свойствами требует наличия в топливной системе надежных смесителей, дозаторов и элементов регулирования. Новые агрегаты должны легко вписываться в существующую конфигурацию, обладать технологичностью в изготовлении, удобством и простотой в эксплуатации и ремонте.

На основе многочисленных совместных исследований, творческим коллективом ученых Белорусской ГСХА и Вятского ГУ был разработан широкий спектр новых систем питания и их агрегатов для работы автотракторного дизеля на альтернативных топливах. Конструкции новых систем допускают работу дизеля, как на традиционном дизельном топливе (ДТ) со стандартными свойствами, так и на его высоко термоактивированном составе. Также обеспечивается работа дизеля на смесевых составах. Кроме того, разработанные конструкции обладают необходимыми дополнительными возможностями (табл. 1).

Для обеспечения возможности работы дизеля на смесевом топливе предложена система подачи дополнительного топлива в дизель [2] (табл. 1, п. 1). Существенным отличием предлагаемой системы является то, что система содержит в испарителе дополнительного топлива сопло для подачи сжатого воздуха, отбойник для подачи дополнительного топлива и дефлектор. Применение такой системы позволяет упростить ее конструкцию, снизить её стоимость, исключить подогрев впускного воздуха, увеличить плотность свежего заряда и коэффициента наполнения цилиндров дизеля за счет подачи вместе с дополнительным топливом сжатого воздуха и, что немаловажно, повысить мощностные и экономические показатели работы дизеля, а также по-

высить оперативность регулирования подачи дополнительного топлива.

Качественное смешивание жидких топлив в системе питания дизеля может быть достигнуто применением смесителя оригинальной конструкции [3] (табл. 1, п. 2).

Таблица 1. Новые системы питания и их элементы

№ п/п	Название	Охранный документ	Характеристики
1	Система подачи дополнительного топлива в дизель	Патент РФ № 2687856	Возможность работы дизеля на смеси топлив
2	Смеситель топлив	Патент РФ № 2637904	Качественное смешивание топлив
3	Система регулирования смесового топлива дизеля	Патент РФ № 2763633	Качественное регулирование состава топлив
4	Насос-дозатор смесового топлива	Патент РФ № 2639634	Смешивание топлив и регулирование состава
5	Система питания дизельного двигателя с индукционным подогревом	Патент РФ № 2688129	Возможность работы дизеля на высокоактивированном топливе
6	Электронная система подачи газового топлива в дизель с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха	Патент РФ № 2633337	Возможность работы дизеля на газодизельном топливе

Смеситель топлив представляет собой тело вращения, содержит корпус в виде усеченного конуса, окна входа основного и дополнительного топлив, окно выхода смесового топлива. Внутри корпуса расположен полый вращающийся шнек с лопастями, а в полости шнека установлена перфорированная труба для перелива излишков топлива. Придание корпусу смесителя вида усеченного конуса создает при движении топлив эффект их «сжимания» и взаимного проникновения, а также увеличивает скорость вращения смеси. Одновременно увеличивается кратность прохождения смеси внутри корпуса смесителя, чем также обеспечивается повышение ее однородности.

Известно, что для нормальной работы дизеля желательно различное соотношение основного и дополнительного топлива в смесовом топливе при больших подачах (в режиме перегрузки) и малых подачах (в режиме холостого хода), а также в зависимости от состава различ-

ное его количество, подаваемое в цилиндры дизеля с целью компенсации снижения количества вносимой с этим топливом теплоты. Указанное обстоятельство объясняется различными значениями удельной низшей расчётной теплоты сгорания основного и дополнительного топлив. В случае пониженных значений удельной расчётной теплоты сгорания дополнительного топлива, что наиболее вероятно, работа дизеля при больших подачах (в режиме перегрузки) во всём скоростном диапазоне (по внешней скоростной характеристике) на том же самом соотношении основного и дополнительного топлив, что и при других нагрузочных и скоростных режимах работы будет сопровождаться снижением мощности, экономичности и долговечности дизеля.

Для обеспечения возможности одновременного регулирования, как количества, так и состава смесового топлива, подаваемого в цилиндры дизеля в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы предложена новая конструкция системы регулирования смесового топлива [4] (табл. 1, п. 3).

Следующим шагом в развитии систем топливоподачи явилась разработка насоса-дозатора [5] (рис. 1 и 2). При работе дизеля желательно обеспечивать не только высокую однородность смесового топлива, но также высокую точность его состава и высокую оперативность его изменения.

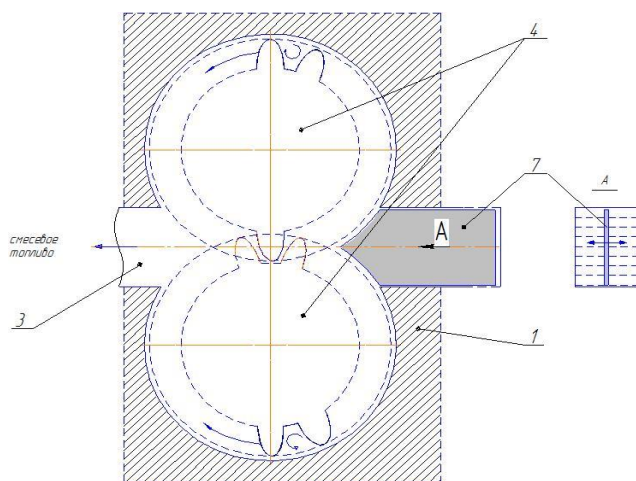


Рис. 1. Насос-дозатор (вид спереди)

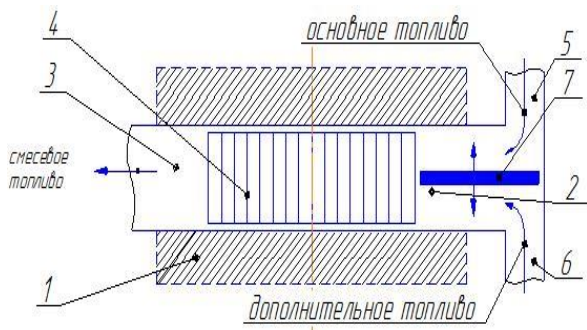


Рис. 2. Насос-дозатор (вид сверху)

Предложенная конструкция насоса-дозатора (табл. 1, п. 4) содержит корпус 1, окно входа 2 основного и дополнительного топлив, окно 3 выхода смесового топлива, вращающуюся шестеренную пару 4, каналы подвода основного 5 и дополнительного 6 топлив, подвижную заслонку 7, установленную в окне входа 2 с возможностью перемещения вдоль горизонтальной стороны окна. При этом длина горизонтальной стороны окна входа 2 равна ширине зуба вращающейся шестеренной пары 4 (рис. 1 и 2).

Перемещение подвижной заслонки 7 в окне входа 2 изменяет (дозирует) соотношение основного и дополнительного топлив в общем объеме. Вращающаяся шестеренная пара 4 насоса-дозатора принимает (захватывает) через окно входа 2 заданные доли (объемы) поступающего по каналу 5 основного и по каналу 6 дополнительного топлив и перемещает их по окружности внутри корпуса смесителя-дозатора 1, выталкивая через окно выхода 3 смесевое топливо. В итоге повышается точность и оперативность регулирования состава смесового топлива, а также однородность смеси.

Исследования показали, что повышение эксплуатационных показателей дизеля возможно путем использования традиционного ДТ, но с применением термоактивирования, для чего предложена система питания с индукционным подогревом [6] (табл. 1, п. 5). Применение предложенной системы питания позволяет снизить энергозатраты на подогрев топлива за счёт использования индукционного нагрева участков топливопроводов высокого давления при помощи катушек индуктивности, и тепловые потери за счёт локального подогрева топлива непосредственно перед его подачей в цилиндры дизельного двигателя. Дополнительно устраняются нежелательные нагревы элемен-

тов системы топливоподачи за счёт установок катушек индуктивности на участки топливопроводов высокого давления непосредственно перед форсунками. Установлено, что при работе дизеля с такой системой питания на 5...6 % снижается жесткость процесса сгорания, на 2...3 % снижается удельный эффективный расход топлива и на 2...5 % снижаются выбросы сажи в отработавших газах (ОГ).

К настоящему времени разработано и опробовано множество систем питания дизеля газообразным топливом. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Однако, общим недостатком таких систем является понижение коэффициента наполнения цилиндров дизеля газообразным топливом.

Данного недостатка лишена электронная система подачи газового топлива в дизель [7] (табл. 1, п. 6). Система осуществляет подачу газового топлива оптимальной температуры, изменяя температуру газа, подаваемого во впускной коллектор. Подача двух видов топлива: основного – дизельного и дополнительного – газового топлива осуществляется на режимах от 50 % номинального до номинального режима работы дизеля. Температура газового топлива поддерживается близкой к температуре наддувочного воздуха, поступающего в дизель, контролируется датчиком температуры газового топлива и регулируется шаговым регулятором расхода охлаждающей жидкости через канал связи радиатора охлаждения наддувочного воздуха с дифференциальным двухступенчатым газовым редуктором.

Разработка новых и модернизация существующих систем питания дизеля продолжается.

Заключение.

1. Расширение многотопливности автотракторных дизелей путем их адаптации для работы на новых видах и составах альтернативных топлив является перспективным направлением энергетического машиностроения.

2. Разработана и созданы новые системы питания и их элементы для надежной работы дизеля на альтернативных топливах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расширение многотопливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, М. В. Смольников, П. Н. Черемисинов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2019. – № 3 (41). – С. 66–72.

2. Система подачи дополнительного топлива в дизель / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников, П. Ю. Малышкин, А. Н. Карташевич // Патент РФ № 2687856, МПК F02M 43/00. – 4 с.

3. Смеситель топлив / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, М. В. Смольников, П. Н. Черемисинов, К. П. Мельников // Патент РФ № 2637904, МПК B01F 7/24. – 3 с.
4. Система регулирования смесового топлива дизеля / С. А. Плотников, Ш. В. Бузи-ков, А. Н. Карташевич, И. С. Козлов // Патент РФ № 2763633, МПК F02D 1/04. – 6 с.
5. Насос-дозатор смесового топлива / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, А. В. Пля-го, И. С. Козлов, С. В. Мочалов // Патент РФ № 2639634, МПК F02M 43/02/ – 4 с.
6. Система питания дизельного двигателя с индукционным подогревом / С. А. Плот-ников, Ш. В. Бузилов, М. В. Мотовилова, П. Ю. Малышкин, А. Н. Карташевич // Патент РФ № 2688129, МПК F02M 31/00. – 4 с.
7. Плотников, С. А. Электронная система подачи газового топлива в дизель с надду-вом и охлаждением наддувочного воздуха / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин // Патент РФ № 2633337, МПК F02M 43/00. – 5 с.

Аннотация. В настоящее время можно наблюдать повышенное внимание к применению возобновляемых источников энергии в авто-тракторном машиностроении. Однако, применение, как жидких, так и газообразных источников энергии в автотракторной технике требует разработки новых систем питания и отдельных их агрегатов для надежной работы. При этом конструкции новых систем питания долж-ны не только сохранять традиционные функции, но и приобретать но-вые. Также весьма перспективны новейшие топливные системы, спо-собные работать в условиях высокотемпературной активации топлива. Разработка таких систем питания, особенно, с применением электрон-ного регулирования и ориентацией на возможности искусственного интеллекта является весьма актуальной. Задачей исследования явилась разработка и создание новых систем питания и их элементов для рабо-ты дизеля на альтернативных топливах. На основе многочисленных совместных исследований, творческим коллективом ученых Белорус-ской ГСХА и Вятского ГУ разработан широкий спектр новых систем питания и их агрегатов для работы автотракторного дизеля на альтер-нативных топливах.

Ключевые слова: дизель, дизельное топливо, газ, альтернативное топливо, физико-химические свойства, система питания, система регу-лирования, смеситель, дозатор.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАНОЛО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ И ВАРИАНТЫ ЕЕ СТАБИЛИЗАЦИИ

А. В. ПЛЯГО¹, канд. техн. наук, научный сотрудник
А. В. МАСАЛИМОВ¹, канд. техн. наук, научный сотрудник
М. Н. ВТЮРИНА², канд. хим. наук, доцент

¹ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»,
Анапа, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. Экологические требования на содержание токсичных веществ в отработавших газах, каждый год ужесточаются и приводят к необходимости применения более «чистых видов топлива», к коим относятся альтернативные топлива (АТ) из возобновляемых источников. Один из вариантов смесового топлива – это этано-топливная эмульсия (ЭТЭ), с различной степенью концентрации этанола в смеси. Важным вопросом применения ЭТЭ является достаточная стабилизация эмульсии для долгосрочного применения и возможности хранения в межсменном интервале работы автотракторного дизельного двигателя.

Основная часть. Дизельный двигатель (ДД) является энергетической установкой экономичной и, в полной мере, не раскрывшей свой потенциал. Возможным вариантом эксплуатации ДД является замещение дизельного топлива (ДТ) [1, 2] различными компонентами, полученными из возобновляемых источников. Возобновляемость источников для производства спиртов, отработанные технологии производства делают спирты экономически интересными и экологически привлекательными компонентами смесового топлива для народного хозяйства. Спирты – это перспективная топливная добавка с высоким содержанием кислорода, при применении которой улучшаются экологические показатели и не требуется сложная модификация системы топливоподачи. Концентрация кислорода в молекулах спирта выше, чем у ДТ, поэтому сгорание смесового топлива проходит более полно. Применение спиртов в смесовом топливе способствует снижению дымности и эмиссии в отработавших газах оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO), углерода (C).

При использовании спиртов в качестве добавки к базовому дизельному топливу мы получаем ряд проблемных факторов, которые необходимо решить. Проблемные факторы: стабильность, снижение цетанового числа смеси, ухудшение смазывающих свойств, повышенная коррозионная активность и другие.

Стабильность эмульсий в системе дизельное топливо-этанол определяется сложным балансом межмолекулярных взаимодействий, которые влияют на термодинамику смешения, поверхностное натяжение и кинетику коалесценции капель. Дизельное топливо, как смесь неполярных углеводородов характеризуется неполярным строением, слабыми Ван-дер-Ваальсовыми взаимодействиями. Этанол же является полярной молекулой с выраженными водородными связями. Это приводит к возникновению двухфазной системы типа «вода в масле».

Что делает смешение таких веществ термодинамически неустойчивым с энергетическим критерием в виде положительной свободной энергии Гиббса смешения ($\Delta G_{\text{смеш}}$). Это означает, что таким фазам энергетически выгодно минимизировать границу раздела фаз и приводит к быстрому разделению. Введение в эту систему поверхностно-активных веществ (ПАВ) позволяет изменить поверхностное натяжение и изменить значение свободной энергии Гиббса смешения.

Межмолекулярные взаимодействия в эмульсиях можно классифицировать на аттрактивные (приводящие к агрегации) и репульсивные (обеспечивающие стабильность). К аттрактивным относятся Ван-дер-Ваальсовы силы, доминирующие в гидрофобной фазе. Гидрофобный эффект, связанный с энтропийным вкладом, усиливает эту аттракцию, особенно при наличии следов воды в этаноле, что приводит к образованию микрокластеров и ускоренному разделению фаз.

Репульсивные взаимодействия возникают за счет электростатических и стерических эффектов. Для системы ДТ-этанол, где отсутствуют ионные взаимодействия и типичные полярные группы репульсивные взаимодействия крайне слабы.

Введение ионных ПАВ с сильными полярными группами, такими как карбоксильная ($-COOH$), сульфогруппа ($-SO_3H$), аминогруппа ($-NH_2$) может приводить к возникновению заряда на поверхности капель и стабилизировать эмульсию за счет репульсивных сил. К таким ПАВ могут относиться лаурилсульфат натрия

Введение ПАВ с амфифильной структурой (гидрофобный «хвост» и гидрофильная «голова») радикально меняет картину. Функциональ-

ные группы в «голове» (например, эфирные -О-, аминовые -NH₂, сульфонатные -SO₃-) определяют гидрофильность и тип стабилизации.

Для неионных ПАВ олеиновая цепь обеспечивает сильную адсорбцию в дизельной фазе за счет гидрофобных взаимодействий, в то время как голова формирует водородные связи с этанолом. Это снижает поверхностное натяжение, стабилизируя эмульсию.

Для количественной оценки этих факторов было проведено моделирование влияния добавки ПАВ к системе дизельное топливо-этанол в количестве 1,5 % от массы топлива. Концентрация этанола в смеси принималась равной от 0 % до 40 % масс. В качестве критерия оценки использовалось изменение свободной энергии Гиббса смешения. В качестве вариантов ПАВ были выбраны: сукцинимид, кубовый остаток бутиловых спиртов (КУБС), ацетон, диметиловый эфир (ДМЭ) и лаурилсульфат натрия (ЛСН). Зависимость свободной энергии Гиббса от состава фаз представлена выражением (1):

$$\Delta G_{\text{смеш}} = RT(x_{\text{ДТ}} \ln x_{\text{ДТ}} + x_{\text{ЭТ}} \ln x_{\text{ЭТ}} + x_{\text{ПАВ}} \ln x_{\text{ПАВ}}) + \Delta G^{\text{ex}}, \quad (1)$$

где $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$,

T – температура, К;

$x_{\text{ДТ}}$, $x_{\text{ЭТ}}$, $x_{\text{ПАВ}}$ – молярные доли ДТ, этанола и ПАВ соответственно.

Учет избыточного вклада в изменение энергии смешения Гиббса (ΔG^{ex}) может быть выполнен по уравнению (2) с учетом парных взаимодействий:

$$\Delta G^{\text{ex}} = \omega_{\text{Д-Э}}(1 - k \frac{\Delta \gamma}{\gamma_0})x_{\text{ДТ}}x_{\text{ЭТ}} + \omega_{\text{Д-П}}x_{\text{ДТ}}x_{\text{ПАВ}} + \omega_{\text{Э-П}}x_{\text{ПАВ}}x_{\text{ЭТ}}, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{Д-Э}} = 14 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$, $\omega_{\text{Д-П}} = -5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$, $\omega_{\text{Э-П}} = -7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ – энергетические параметры взаимодействия в парах ДТ-этанол, ДТ-ПАВ, этанол-ПАВ, $k = 0,8$ – константа пропорциональности для ДТ, $\gamma_0 = 28 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ – поверхностное натяжение в паре ДТ-этанол, $\Delta \gamma$ – изменение поверхностного натяжения при добавлении ПАВ, равное $15 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ для сукцинимида, $10 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ для КУБС, $5 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ для ацетона, $3 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ для ДМЭ и $20 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$ для ЛСН [3–5].

На рис. 1 представлены результаты моделирования. Как видно заведомости имеют параболический характер. Положительные значения соответствуют термодинамически нестабильным эмульсиям.

Наилучшим эмульгатором для стабилизации эмульсии ДТ-этанол является лаурилсульфат натрия, а также сукцинимид. Кубовые остатки

бутиловых спиртов эффективны лишь при определенных концентрациях этанола. Ацетон и диметиловый эфир снижают значение энергии, однако оно остается положительным во всем диапазоне концентраций.

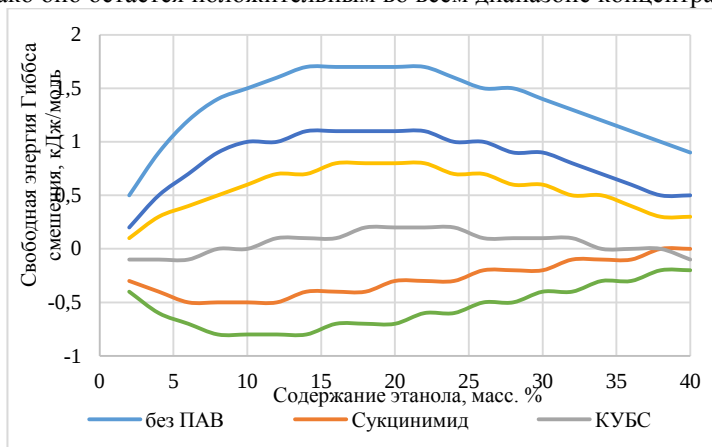


Рис. 1. Изменение свободной энергии Гиббса смешения

Заключение. Применение этанола-топливной эмульсии является перспективным направлением использования смесевых топлив в различных отраслях экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия». – Москва: Стандартинформ, 2013. – 10 с.
2. ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное Евро. Технические условия». – Москва: Стандартинформ, 2005. – 7 с.
3. Leng D. E., Horacek J., Svoboda K. Stability of biodiesel used as a fuel for diesel engines and heating systems // Fuel. 2015. Vol. 145. P. 143–149.
4. McClements D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. 690 p.
5. Nourafkan E., Hu Z., Wen D. Nanoparticle-stabilized emulsions for enhanced oil recovery: A review // Fuel. 2020. Vol. 280. P. 118571.

Аннотация. Проведено математическое моделирование термодинамической стабильности эмульсий дизельное топливо-этанол при использовании различных ПАВ.

Ключевые слова: дизельное топливо, стабилизация новых топлив, альтернативные топлива, этанол, поверхностно-активные вещества.

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОДНОКОВШОВОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

С. Г. РУБЕЦ, канд. техн. наук, доцент
К. В. КОРШУНОВ, студент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Машины для земляных работ являются одними из основных видов машин, с помощью которых осуществляется комплексная механизация в строительстве, на открытых разработках полезных ископаемых, при разработке строительных материалов, в черной и цветной металлургии, угольной промышленности, мелиорации сельского хозяйства и других отраслях агропромышленного комплекса [1].

Ежегодно в Беларуси увеличиваются объемы строительных работ – сооружаются новые линии железных и автомобильных дорог, возводятся новые заводы и фабрики, растут темпы жилищного строительства, развивается добыча полезных ископаемых строительных материалов, строятся новые нефте- и газопроводы. Интенсивное развитие мелиоративного, сельского и дорожного строительства требует проведения большого объема земляных работ, при выполнении которых используются соответствующие машины, в том числе и экскаваторы-погрузчики, так как они являются одной из основных машин при выполнении данного вида работ.

Наибольшее распространение при производстве земляных, погрузочно-разгрузочных, мелиоративных и других видов работ получили одноковшовые гидравлические экскаваторы. Эти машины, составляющие до 90 % от общего объема производства экскаваторов, выпускают с различными ходовыми устройствами и снабжаются разнообразными сменными рабочими органами [2, с. 78].

По сравнению с канатными экскаваторами эти машины имеют в 1,5...2 раза более высокую производительность, их удельная материалоемкость снизилась на 40...50 %, а удельная энергоёмкость – на 15...25 %. Увеличилось число сменных видов рабочего оборудования, устанавливаемых на экскаваторах, что значительно расширяет область их применения [3].

Однако опыт показывает, что большое разнообразие и специфические условия производства работ требуют непрерывного улучшения эксплуатационных качеств применяемых машин, создания новых более универсальных [4].

В настоящее время, несмотря на разнообразие одноковшовых гидравлических экскаваторов, проблемы, связанные с энергосбережением в процессе копания, остаются актуальными. Наряду с непрерывным ростом парка этих машин постоянно осуществляются качественные изменения их рабочего оборудования, направленные на увеличение производительности и снижение энергоемкости процесса копания грунта, посредством создания и внедрения новых технических решений.

Анализ технической информации о новых научных исследованиях, технических предложениях, конструкциях и патентных решениях в области создания и проектирования рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов показывает, что в настоящее время ведется активная работа по совершенствованию конструкции рабочего органа экскаватора, целью которой является удовлетворение потребностей мелиоративного строительства. Поэтому модернизация существующего и проектирование нового экскавационного рабочего оборудования является достаточно актуальной задачей.

Основная часть. Проанализировав существующие конструкции рабочих органов одноковшовых экскаваторов и учтя их основные недостатки, для дальнейшего совершенствования их рабочего оборудования нами предлагается применение конструкции [5], представленной на рис. 1.

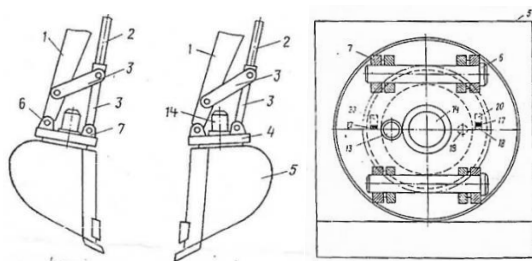


Рис. 1. Предлагаемая конструкция рабочего оборудования одноковшового экскаватора

Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора включает в себя рукоять 1, гидроцилиндр 2 управления ковшом, тяги 3, опорно-поворотный круг 4 и ковш 5. Рукоять соединена с ковшом посредством пальцев 6 и проушин 7, приваренных к неподвижной части опорно-поворотного круга 4 являющегося механизмом поворота ковша.

Опорно-поворотный круг 4 содержит неподвижную часть (рис. 2), состоящую из верхнего 8 и нижнего 9 фланцев, соединенных между собой болтами 10, подвижную часть 11, роликовый сепаратор 12, стопорный механизм 13 и гидродвигатель 14. Вал 15 гидродвигателя соединен с подвижной частью 11 посредством пазового соединения 16. На верхнем фланце 8 неподвижной части опорно-поворотного круга 4 расположены предохранительные упоры 17, а на подвижной части 11 предохранительный упор 18 и два отверстия 19 для фиксации ковша.

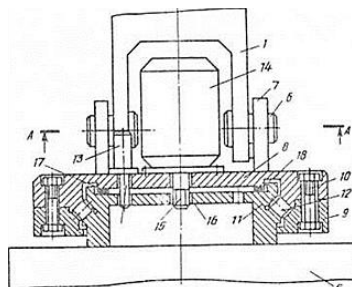


Рис. 2. Механизм поворота ковша (в разрезе)

При замене рабочего оборудования с обратной лопаты на прямую и наоборот оператор экскаватора воздействует на трехпозиционный золотниковый распределитель 24 (рис. 3), при этом происходит подача рабочей жидкости в одну из гидромагистралей 25 и рабочую полость гидродвигателя 14.

В начальный момент времени движения поворота роликового опорно-поворотного устройства 4 не происходит ввиду того, что шток 30 гидроцилиндра стопорного механизма 13 находится в одном из отверстий 19 для фиксации ковша. Рабочее давление, требуемое для поднятия стопорного механизма, меньше, чем для осуществления поворота ковша. Поэтому в начальный момент происходит открывание стопорного механизма, а затем поворот ковша.

При повороте ковша на 180° толкатели трехпозиционных распределителей 20 упираются в упоры 18, при этом происходит плавное перемещение, и в момент соединения золотниковым каналом гидромагистрали 21 с гидромагистралью 22 под действием силы сжатия пружины 31 стопорного механизма 13 рабочая жидкость вытесняется из штоковой полости происходит фиксация ковша 5 посредством штока 30, который заходит в отверстие 19 для фиксации ковша.

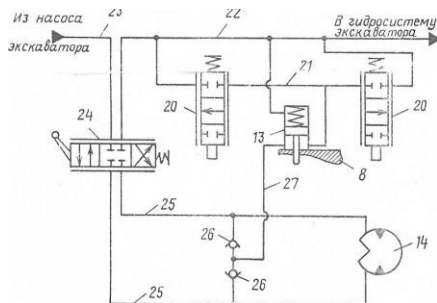


Рис. 3. Гидравлическая схема управления

В этот момент трехпозиционные распределители находятся в своем нормальном (разомкнутом) состоянии. Гидросистема вновь готова к работе. При реверсе ковша происходит аналогичный процесс.

Заключение. Использование предлагаемой конструкции позволит повысить производительность экскаватора за счет повышения надежности работы при переоборудовании рабочего оборудования с прямой лопаты на обратную и наоборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко, А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. – 400 с.
2. Вавилов, А. В. Проектирование строительных и дорожных машин / А. В. Вавилов, А. А. Котлобай, А. Я. Котлобай. – Минск: БНТУ, 2013. – 392 с.
3. Шестопапов, К. К. Машины для земляных работ / К.К. Шестопапов. – Москва: МАДИ, 2011. – 145 с.
4. Рубец, С. Г. Машины для земляных работ / С. Г. Рубец, Е. И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2021. – 101 с.
5. Рабочее оборудование гидравлического экскаватора: а. с. 1286683 СССР, МКИ5 E 02 F 3/28 / В. И. Баловнев, А. Орынбасаров, А. Н. Абрамов, Э. Н. Кузин, Л. А. Хмара. – № 3916838; заявл. 18.04.85; опубл. 30.01.87 // Открытия. Изобрет. – 1987. – № 4. – С. 25.

Аннотация. Приведена конструкция, которая позволит расширить технологические возможности одноковшового гидравлического экскаватора за счет переоборудования рабочего оборудования с прямой лопаты на обратную и наоборот.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор, рабочее оборудование, ковш, прямая лопата, обратная лопата.

ЭЛЕКТРОННО-ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАДНИМ НАВЕСНЫМ УСТРОЙСТВОМ ТРАКТОРА С ДАТЧИКАМИ УСИЛИЯ В ВЕРХНЕЙ И НИЖНИХ ТЯГАХ

А. А. РУДАШКО, канд. техн. наук, доцент
Н. В. СОЛОДКИН, студент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь

Введение. При выполнении пахотных работ используются системы автоматического регулирования глубины пахоты, позволяющие улучшить тягово-сцепные и топливно-экономические свойства пахотного агрегата. В зависимости от способа агрегатирования трактора с плугом и условий работы агрегата применяются различные виды регулирования: высотный, силовой, позиционный и комбинированный. Для реализации силового способа регулирования в системах с гидромеханическим управлением (раздельно-агрегатной и моноблочной) устанавливаются силоизмерительные пружины, связанные с серьгой верхней тяги. В электронно-гидравлической системе управления задним навесным устройством датчики усилия встраиваются в пальцы нижних тяг.

Целью работы является силовой и функциональный анализ навесного устройства с электронно-гидравлическим управлением, в котором датчики усилия установлены в верхней и нижних тягах, при работе трактора с полунавесным оборотным плугом.

Основная часть. Кинематические и силовые параметры заднего навесного устройства трактора с навесным плугом достаточно подробно рассмотрены в работе [1]. Определение сил, действующих в тягах навесного устройства на основе сил, действующих на навесной плуг, выполнено в работе [2]. Математическую модель навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным оборотным плугом для проведения его кинематического и силового анализа и определения сил, воздействующих на датчики усилий, приведена в работе [3]. Однако в этих работах не исследовано влияние усилий, действующих одновременно в верхней и нижних тягах навесного устройства, на передачу информации о величине тягового усилия полунавесного плуга на датчики усилия системы управления навесным устройством.

Рассмотрим схему заднего навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным плугом (рис. 1). В точке *E* действует гори-

горизонтальная F_{Ex} и вертикальная F_{Ey} составляющие силы сопротивления плуга, которые могут быть определены по зависимостям работы [4]. Координаты всех точек измеряются относительно точки O , расположенной под осью задних колес трактора (точкой K).

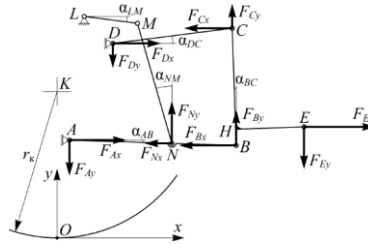


Рис. 1. Схема сил, действующих в звеньях заднего навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным плугом

Зная координаты шарниров и размеры звеньев навесного устройства, можно рассчитать углы наклона этих звеньев. Так, угол наклона присоединительного треугольника (звена BC) можно определить из зависимостей

$$\cos \alpha_{BC} = \frac{y_C - y_B}{l_{BC}} \text{ или } \operatorname{tg} \alpha_{BC} = \frac{y_C - y_B}{x_B - x_C}. \quad (1)$$

По аналогичным зависимостям определяются углы наклона остальных звеньев навесного устройства: верхней DC и нижних AB тяг, раскосов NM и подъемных рычагов LM .

Горизонтальные составляющие усилий в шарнирах B и C определим, используя принцип освобождения от связей. Для этого разобьем навесное устройство на элементы и рассмотрим уравнения равновесия моментов относительно точек C и B :

$$F_{Ex}(l_{CH} - l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}) \cos \alpha_{BC} = F_{Bx} l_{BC} \cos \alpha_{BC}, \quad (2)$$

$$F_{Ex}(l_{BH} + l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}) \cos \alpha_{BC} = F_{Cx} l_{BC} \cos \alpha_{BC}. \quad (3)$$

Решая уравнения (2) и (3), получим:

$$F_{Bx} = F_{Ex} \frac{l_{CH} - l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}}, \quad (4)$$

$$F_{Cx} = F_{Ex} \frac{l_{BH} + l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}}. \quad (5)$$

Датчики усилия устанавливаются в шарнирах A двух нижних тяг. Поскольку датчики измеряют только горизонтальную составляющую усилия в тягах навесного устройства [5], определим горизонтальные составляющие усилий в этих шарнирах из соотношения

$$F_{Ax} l_{AB} = F_{Bx} l_{AB} - F_{Nx} l_{AN}, \quad (6)$$

Выразив F_{Ax} из уравнения (6) и подставляя значение F_{Bx} из уравнения (4), получим:

$$F_{Ax} = F_{Bx} - F_{Nx} \frac{l_{AN}}{l_{AB}} = F_{Ex} \frac{l_{CH} - l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}} - F_{Nx} \frac{l_{AN}}{l_{AB}}, \quad (7)$$

Значение F_{Nx} может быть определено по зависимостям работы [3]. Значение F_{Dx} получим, используя уравнение (5):

$$F_{Dx} = F_{Cx} = F_{Ex} \frac{l_{BH} + l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}}. \quad (8)$$

Если датчики устанавливаются в шарнирах A и D , то суммарная горизонтальная составляющая усилий в этих шарнирах составит

$$\begin{aligned} F_{Ax} + F_{Dx} &= F_{Ex} \frac{l_{CH} - l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}} - F_{Nx} \frac{l_{AN}}{l_{AB}} + \\ &+ F_{Ex} \frac{l_{BH} + l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}} = F_{Ex} - F_{Nx} \frac{l_{AN}}{l_{AB}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для оценки эффективности установки третьего датчика усилий в навесное устройство определим погрешность преобразования горизонтальной составляющей тягового сопротивления плуга в горизонтальные усилия в шарнирах тяг навесного устройства. Соответственно, эта погрешность скажется на точности передачи информации по изменению силы сопротивления плуга dF_{Ex} датчиками усилий на электронный блок управления (ЭБУ) навесным устройством.

Погрешность преобразования силы сопротивления плуга при условии установки датчиков усилия только в двух нижних тягах составит

$$\delta_2 = \frac{dF_{Ex} - dF_{Ax}}{dF_{Ex}} = \left(1 - \frac{l_{CH} - l_{EH} \operatorname{tg} \alpha_{BC}}{l_{BC}} + \frac{dF_{Nx} l_{An}}{dF_{Ex} l_{AB}} \right). \quad (10)$$

Если датчики усилия установить во всех трех тягах (верхней и двух нижних), то погрешность преобразования составит

$$\delta_3 = \frac{dF_{Ex} - (dF_{Ax} + dF_{Dx})}{dF_{Ex}} = \frac{dF_{Nx} l_{AN}}{dF_{Ex} l_{AB}}. \quad (11)$$

Как видно из сравнения уравнений (10) и (11), установка дополнительного датчика усилия в верхней тяге приведет к снижению погрешности преобразования и, как следствие, к повышению точности силового регулирования глубины пахоты.

Так как ЭБУ имеет два входа для обработки сигналов датчиков усилия, то для подключения третьего датчика в электрическую схему электронной системы управления гидравлической навесной системой необходимо установить коммутатор сигналов датчиков, имеющий три входа и два выхода. При разработке коммутатора следует обеспечить корректное функционирование схемы.

В коммутаторе предусматривается блок электронных ключей с индикатором режима смешивания сигналов, позволяющий при необходимости подключать верхний датчик усилия в электрическую схему и автоматически отключать его при включении режима демпфирования навесного устройства. В схеме используется разветвитель, распределяющий половину сигнала верхнего датчика к сигналу правого нижнего датчика и половину – к сигналу левого. Двухканальный сумматор обеспечивает суммирование этих сигналов.

Поскольку при нулевом усилии на датчике его выходное напряжение составляет $U_0 = 4,7$ В [5], то непосредственное суммирование сигналов верхнего U_A и нижнего U_D датчиков приведет к повышенному уровню выходного сигнала коммутатора U_{AD} и, как следствие, некорректному срабатыванию ЭБУ. В связи с этим в линию верхнего датчика необходимо включить дифференциальный интегратор, обеспечивающий сдвиг напряжения датчика на величину U_0 . Таким образом, выходное напряжение каждого из двух каналов коммутатора составит:

$$U_{AD} = U_A + 0,5(U_D - U_0), \quad (12)$$

Интегратор в схеме выполняет функцию фильтра высоких частот для сглаживания переходных процессов системы автоматического регулирования [6] и предотвращает ложные срабатывания датчика [7].

Заключение. Погрешность преобразования силы сопротивления плуга в напряжение датчиков усилий снижается при одновременной установке датчиков в верхнюю и нижние тяги навесного устройства. Представленные аналитические зависимости позволяют определить усилия в шарнирах навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным плугом и повысить точность силового регулирования навесного устройства электронно-гидравлическим регулятором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тракторы. Конструирование и расчет / И. П. Ксенович [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – Ч. 3. – 383 с.
2. Попов, В. Б. Определения нагруженности верхней и нижней тяг механизма навески трактора со стороны агрегируемого навесного плуга / В. Б. Попов // Автотракторостроение и автомобильный транспорт. – Минск: БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 231–235.
3. Жданович, Ч. И. Математическая модель навесного устройства трактора в составе пахотного агрегата / Ч. И. Жданович // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. – Минск: БНТУ, 2022. – Т. 4. – С. 74–82.
4. Жданович, Ч. И. Математическое моделирование тягового сопротивления полунавесного оборотного плуга / Ч. И. Жданович // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – Т. 8. – С. 108–111.
5. Датчик усилия ДУ-03-60 / ОАО «Измеритель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izmeritel.by/products/sistema-upravleniya-navesnymi-ustroystvami-mobilnykh-mashin/datchik-usiliya-du-03-60/>. – Дата доступа: 21.10.2025.
6. Лурье, З. Я. Моделирование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата навесного оборудования трактора с обратной связью по усилию / З. Я. Лурье, Е. Н. Цента, А. И. Панченко // Промислова гідроліка і пневматика. – 2016. – № 2. – С. 53–69.
7. Теория тракторов и автомобилей Г. С. Горин [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2009. – Ч. 1. – 124 с.

Аннотация. Приведены результаты силового анализа навесного устройства с датчиками усилия в верхней и нижних тягах при работе трактора с полунавесным плугом, функциональный анализ электронно-гидравлического управления навесным устройством с тремя датчиками усилия.

Ключевые слова: колесный трактор, пахотный агрегат, навесное устройство трактора, электронно-гидравлический регулятор, силовое регулирование, датчик усилия.

БАРОМЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А. Д. РЯБЧИКОВА, мл. научный сотрудник
В. В. ШЕРСТЮКОВ, оператор научной роты

ФГАУ «ВИТ «ЭРА»,
Анапа, Российская Федерация

Введение. В современном мире с его высокоразвитыми технологиями все больше значение приобретает качество используемой и сбрасываемой в водные объекты воды. От качества сброшенной воды в реки зависит наше здоровье, ведь загрязнение окружающей среды является мутагенным фактором для человека [1–7].

Сокращение объема сброса загрязненных сточных вод, отводимых в поверхностные природные водоемы, за период с 2018 по 2023 гг. в целом по Российской Федерации составило около 20 %. Наблюдается существенное уменьшение сброса содержащихся в этих стоках загрязняющих веществ по многим компонентам.

Основная часть. На сегодняшний день мембранные системы являются одним из самых эффективных и качественных методов очистки сточных вод. Жидкая часть загрязненной субстанции проходит сквозь перегородку, а механические частицы задерживаются мембранным фильтром. В мембранах, в отличие от обычных фильтрующих сред, удаляемые примеси задерживаются не в объеме, а только на поверхности мембран [8]. Сырьевой поток разделяется в мембранных процессах на два потока: проникший через мембрану (пермеат) и оставшийся после этого (ретентат) [9, 10].

Наиболее востребованными мембранными методами являются баромембранные процессы, в которых перенос веществ происходит под действием разности давлений.

Микрофильтрация – это процесс, в наибольшей степени близкий к обычной фильтрации. Мембраны применяются пористые. Мембраны для микрофильтрации изготавливаются из полимеров или неорганических материалов (керамики на основе Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , стекла, металлы). Применяются гидрофобные полимеры – тефлон, поливинилиденфторид, полипропилен, или гидрофильные – эфиры целлюлозы, поликарбонаты, полисульфоны. Основные промышленные применения микрофильтрации: стерилизация и осветление всех видов напит-

ков и лекарственных препаратов. Процессы могут проводиться при любой температуре, даже при очень низкой. Процесс применяется для концентрирования клеток, а также микрофильтрационные мембраны применяются как составная часть биореакторов. Успешно получены новые микропористые мембраны из целлюлозы в водном растворе NaOH-тиомочевина путем коагуляции водным раствором сульфата аммония $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ различной концентрации в течение 1–20 мин [11]. Применение микрофильтрации эффективно для подготовки жидкостей перед проведением процесса обратного осмоса, нано-ультрафильтрации.

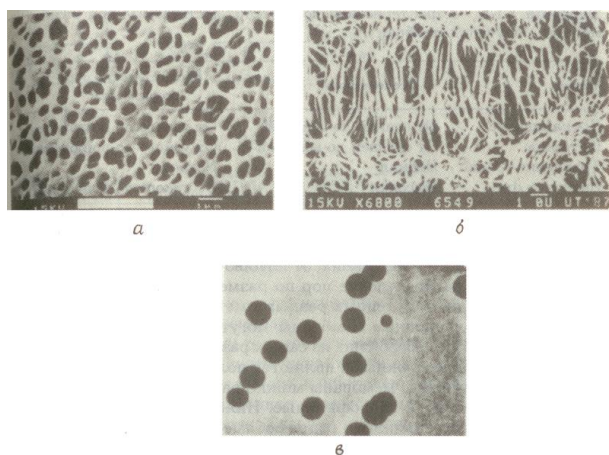


Рис. 1. Микрофотографии различных типов микрофильтрационных мембран, полученных методами инверсии фаз (а), вытяжки (б), травления трещин (в)

При микро- и ультрафильтрации имеют место одинаковые мембранные явления и используется один принцип разделения – по размеру частиц. Существенное различие от микрофильтрации в ультрафильтрации применяются асимметричные мембраны с толщиной рабочего слоя не более 1 мкм. Очень важны для расширения применения процесса следующие характеристики мембран: устойчивость к высоким температурам (более 100 °C), изменению pH, к органическим растворителям, дезинфицирующим реагентам (свободный хлор).

Обратный осмос применяется тогда, когда нужно отделить от растворителя низкомолекулярные вещества. Из-за небольших размеров

частиц отделяемых веществ необходимы мелкопористые мембраны, по структуре промежуточные между микро- и ультрафильтрационными с открытыми порами и плотными непористыми мембранами. Так как они обладают большим гидродинамическим сопротивлением, необходимы давления, гораздо выше осмотического [12]. В процессе обратного осмоса целевым продуктом может быть как пермеат, так и ретентат.

Наибольшее распространение получили мембраны из ацетилцеллюлозы (табл. 1), устойчивые при давлениях до 10 МПа, температурах 0–30 °С, pH 3–8 применяются в виде плоских листов. Мембраны на основе полиамидов применяются в виде тонких полых волокон, они прочнее и химически устойчивее при высоких давлениях и pH, в отличие, от ацетилцеллюлозных мембран. Но мембраны на основе ацетата целлюлозы обладает более высокой проницаемостью и селективностью [13].

Таблица 1. Характеристика зависимости мембранных процессов от размера пор и рабочего давления мембранных элементов

Мембранный процесс	Размер пор, мкм	Рабочее давление, бар	Мембранные элементы	
			Материал	Конфигурация
Микрофильтрация	0,02–4,0	<2	Полипропилен, ПВДФ, лавсан, фторопласт, керамика	Рулонные, полые волокна, трубчатые
Ультрафильтрация	0,02–0,2	1–10	Полипропилен, акрилонитрил, ПВДФ, полисульфон, керамика	Рулонные, полые волокна, трубчатые
Нанофильтрация	0,001–0,01	5–35	Ацетат целлюлозы, ароматические полиамиды (полисульфон), керамика	Рулонные, полые волокна, трубчатые
Гиперфильтрация	0,0001–0,001	10–70	Ацетат целлюлозы, ароматические полиамиды	Рулонные, полые волокна, плоскостные

Для очистки сточных вод гальванических производств используют установки типа УГОС-1 и УГОС-2. Они двухступенчатые, на пер-

вой ступени происходит концентрирование сточных вод и возврат их в производство. На второй ступени происходит дополнительная очистка фильтрата первой ступени.

Метод электродиализа применяется в многих промышленных областях для разделения аминокислот в биотехнологии, в производстве хлора и каустической соды, соляной (серной) кислоты, в процессе непрерывной деминерализации воды (электродеионизация) (табл. 2). К преимуществам электродиализа относят: возможность очистки стоков от растворенных примесей до уровня ПДК; возврат очищенной воды и регенерированных веществ в производство. При этом метод электродиализа пока не получил широкого распространения в отечественной гальванотехнике.

Таблица 2. Сравнительная характеристика мембранных методов

Метод обратного осмоса и ультрафильтрации	
Возможность очистки до требований ПДК; Возврат очищенной воды до 60 % в оборотный цикл; Возможность утилизации тяжелых металлов; Возможность очистки в присутствии лигандов, образующих прочные комплексные соединения	Необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей; Дефицитность и дороговизна мембран; Сложность эксплуатации, высокие требования к герметичности установок Большие площади, высокие капитальные затраты; Отсутствие селективности; Чувствительность мембран к изменению параметров очищаемых стоков.
Метод электродиализа	
Возможность очистки до требований ПДК; Возврат очищенной воды до 60% в оборотный цикл; Возможность утилизации ценных компонентов	Необходимость предварительной очистки стоков от масел, ПАВ, растворителей, органики, солей жесткости. Дефицитность и дороговизна мембран. Сложность эксплуатации. Отсутствие селективности. Чувствительность мембран к изменению параметров очищаемых вод

Заключение. Мембранные технологии являются реальной альтернативой традиционным технологиям подготовки питьевой и промышленной воды, так как высокая надежность сооружений очистки за счет использования мембран позволяет произвести глубокую очистку поверхностных, подземных и промышленных вод от загрязняющих веществ до показателей, удовлетворяющих требованиям по сбросу очищенных стоков в природные водоемы всех категорий, а также обеспечить высокую микробиологическую безопасность очищенных стоков, что особенно актуально в результате чрезвычайных ситуаций.

Несмотря на свои преимущества мембранные методы не распространены из-за дороговизны и дефицитности мембран, сложности эксплуатации, высоких требований к герметичности установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, А. С. Алексеев, Н. А. Невестенко [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 312 с.
2. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 404 с.
3. Босак, В. Н. Охрана труда, охрана окружающей среды и энергосбережение / В. Н. Босак, А. Е. Кондраль. – Горки: БГСХА, 2023. – 107 с.
4. Босак, В. Н. Экологическое образование в аграрных вузах Республики Беларусь / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – С. 639–641.
5. Курбанова, О. В. Методы очистки сточных вод от азотсодержащих веществ / О. В. Курбанова, Ш. В. Бузиков // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 142–143.
6. Челноков, А. А. Безопасность жизнедеятельности / А. А. Челноков, В. Н. Босак, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 407 с.
7. Экологические основы охраны водных ресурсов / А. Ф. Никифоров [и др.]. – Екатеринбург, 2019. – 192 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019 – 844 с.
9. Хранилов, Ю. П. Экология и гальванотехника: проблемы и решения / Ю. П. Хранилов. – Киров: ВятГТУ, ХФ, ТЭП., 2000. – 97 с.
10. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов. – Москва: Глобус, 2002. – 352 с.
11. Технологические особенности электробаромембранных процессов очистки промышленных растворов и стоков производств электрохимического синтеза и гальванопокрытий / С. В. Ковалев, С. И. Лазарев, М. А. Кузнецов, Р. В. Попов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21. – № 2. – С. 322–329.
12. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю. И. Дытнерский. – Москва: Химия, 1995. – 368 с.
13. Бойко, Н. И. Применение мембранных технологий в очистке воды / Н. И. Бойко, В. А. Одарюк, А. В. Сафонов // Технологии гражданской безопасности. – 2014.

Аннотация. Описаны мембранные технологии, которые являются развивающейся областью технологий и, благодаря своему междисциплинарному характеру, могут быть использованы в большом количестве процессов, имеющих своей целью или включающих разделение различных смесей.

Ключевые слова: сточные воды; нанотехнологии; очистка; мембраны; ультрафильтрация; гиперфильтрация; электродиализ.

РАЗВИТИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА В НАУКЕ КАК РЕШАЮЩЕЕ ЗВЕНО НА ПУТИ К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОТОПЛИВ

М. В. СМОЛЬНИКОВ¹, канд. техн. наук
С. А. ПЛОТНИКОВ², д-р техн. наук, профессор
А. Н. КАРТАШЕВИЧ³, д-р техн. наук, профессор
П. Ю. МАЛЫШКИН⁴, канд. техн. наук

¹ФКУ ДПО «Кировский ИПКР ФСИН России»,
Киров, Российская Федерация
²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация
³Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
Горки, Республика Беларусь
⁴Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Развитие экспресс-методов в современной науке и технике сложно переоценить. Они стали не просто удобным инструментом, а ключевым фактором ускорения прогресса и повышения эффективности практически во всех областях [1–8].

Разберем роль экспресс-методов подробно, рассмотрев причины их появления, ключевые преимущества, конкретные примеры и возможные ограничения.

Экспресс-методы – это подходы, методики и технологии, позволяющие получить результат (анализ, измерение, изготовление) в значительно более короткие сроки по сравнению с традиционными, «классическими» методами, часто с минимальными затратами ресурсов.

Причины их развития:

1. Ускорение темпов жизни и исследований: наука и бизнес требуют быстрых решений.

2. Конкурентное давление: кто первый выведет продукт на рынок, тот получает преимущество.

3. Рост сложности задач: для решения глобальных проблем (изменение климата, пандемии) нужны быстрые данные.

4. Развитие технологий: появление новых инструментов (например, чипов, сенсоров, мощных компьютеров) само по себе порождает быстрые методы.

Ключевая роль и преимущества экспресс-методов в научных исследованиях.

1. Ускорение научного цикла «гипотеза-эксперимент-результат»: ученый может проверить десятки гипотез за время, которое раньше уходило на одну. Это радикально ускоряет получение нового знания. Пример: в молекулярной биологии ПЦР в реальном времени (qPCR) позволяет за пару часов отследить активность тысяч генов, в то время как старые методы занимали дни или недели.

2. Высокопроизводительный скрининг: возможность быстро протестировать тысячи или миллионы образцов (например, соединений-кандидатов в новые лекарства, катализаторов, материалов). Пример: в фармакологии роботизированные платформы автоматически тестируют сотни тысяч химических соединений на биологическую активность, что невозможно без экспресс-методов.

3. Оперативный мониторинг и диагностика: получение данных в реальном времени или near-real-time для принятия решений. Пример: биосенсоры для определения патогенов в воде или пищевых продуктах, которые выдают результат за минуты, а не дни. Экспресс-тесты на COVID-19 – ярчайший пример, изменивший подход к борьбе с пандемией.

Далее рассмотрим преимущества экспресс-методов в технике и промышленности:

1. Контроль качества в реальном времени: позволяет обнаруживать брак на ранних стадиях производственного процесса, экономя сырье и время. Пример: в машиностроении экспресс-спектральный анализ сплава прямо на конвейере позволяет мгновенно определить его химический состав без отправки образца в лабораторию.

2. Снижение себестоимости и ускорение вывода продукта на рынок: быстрые методы анализа и тестирования сокращают цикл разработки и производства. Пример: быстрое прототипирование (3D-печать) позволяет за часы или дни создать физический прототип детали, который раньше делался неделями.

3. Повышение безопасности: быстрое обнаружение опасных веществ, дефектов в критических конструкциях (мосты, самолеты) или утечек. Пример: портальные газоанализаторы на химических производствах, мгновенно сигнализирующие о превышении ПДК вредных веществ.

4. Экология и охрана окружающей среды: оперативный выборочный контроль загрязнений воздуха, воды и почвы непосредственно на месте. Пример: портативные электронные носы для оценки качества воздуха или тест-полоски для определения нитратов в воде.

Рассмотрим примеры экспресс-методов в различных областях. Химия и материаловедение – спектроскопия комбинационного рассеяния (Рамановская): быстрая идентификация веществ. Термогравиметрический анализ (TGA): Быстрая оценка термической стабильности материала. Биология и медицина: иммунохроматографические тесты (тест-полоски) – диагностика беременностей, инфекций, наркотических веществ. Секвенирование нового поколения (NGS): хотя сам процесс не быстрый, он позволяет «прочитать» миллионы фрагментов ДНК параллельно, что ускорило геномику на порядки. Инженерия: вихреоточный контроль / ультразвуковой контроль: Быстрый неразрушающий контроль сварных швов и конструкций. Испытания на ударную вязкость по Шарпи – быстрая оценка хрупкости материала.

Развитие экспресс-метода имеет на пути к совершенству некоторые ограничения и проблемы. Несмотря на все преимущества, у экспресс-методов есть и обратная сторона.

1. Снижение точности и чувствительности. Часто скорость достигается за счет некоторого компромисса в точности по сравнению с более длительными эталонными методами.

2. Упрощение модели. Быстрый метод может не учитывать всех нюансов сложной системы.

3. Риск ложных результатов. Особенно в диагностике, что требует подтверждения более точными методами.

4. Стоимость оборудования. Высокотехнологичные экспресс-анализаторы могут быть очень дорогими.

5. Проблема стандартизации и валидации: не все быстрые методы имеют общепризнанные стандарты, что может вызывать вопросы к достоверности данных.

В Национальной стратегии РФ развития искусственного интеллекта поставлена цель – совокупный вклад этой важнейшей технологии в ВВП страны к 2030 г. должен превысить 11 триллионов рублей. В развитие этой цели Правительство и главы регионов формируют национальный план внедрения генеративного искусственного интеллекта на уровне всей страны, а также в разрезе отраслей и субъектов.

Анализируя продукты и планы на развитие в данной отрасли, можно сказать следующее, что переход от механических действий к цифровым возможен только посредством изначальной проработки вопроса на основе экспресс-методов. Данное направление неоднократно описано [9–16].

Роль экспресс-методов является фундаментальной и трансформационной. Они перевели научные исследования и промышленное производство на качественно новый уровень скорости и эффективности. Из «удобного дополнения» они превратились в стратегический актив, определяющий конкурентоспособность и способность реагировать на вызовы современного мира. Идеальная стратегия – это не отказ от классических, точных методов, а их грамотное сочетание с экспресс-методами: последние служат для оперативного скрининга, мониторинга и принятия предварительных решений, а первые – для окончательного, точного подтверждения и углубленного изучения.

В направлении улучшения свойств альтернативных топлив для их беспрепятственного применения в ДВС и при этом использования для их оценки безмоторный метод или «экспресс-метод» есть тоже первые результаты:

1. Усовершенствована методика определения удельной рефракции жидких альтернативных топлив (патент РФ № 2835685).

2. Разработаны программы расчета на ЭВМ (на основе безмоторного метода) максимального давления цикла (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2024613086) и жесткости процесса сгорания (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2024613184) в цилиндре автотракторного дизеля при работе на жидких топливах.

Заключение. Развитие экспресс-методов в различных отраслях науки и практики позволяет оперативно изучать различные процессы и технологии, в том числе на пути к искусственному интеллекту при использовании биотоплив.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, А. С. Алексеев, Н. А. Невестенко [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 312 с.
2. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак, З. С. Ковалевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 404 с.
3. Босак, В. Оптимизация питания растений / В. Босак. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. – 203 с.
4. Козлова, Т. В. Альгология и микология / Т. В. Козлова, А. И. Козлов, В. Н. Босак. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – 123 с.
5. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.
6. Морфология растений / В. Н. Кравцова, В. Н. Босак, А. А. Вологович, С. Л. Афанасьева. – Пинск: ПолесГУ, 2008. – 24 с.
7. Расчет доз удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур / В. В. Лапа, А. Р. Цыганов, В. Н. Босак, И. Р. Вильдфлуш – Горки, 2003. – 36 с.

8. Экспресс-методы определения нитратного и аммонийного азота, фосфора, калия, кальция, магния и натрия в растениях на основе многокомпонентного экстрагирования / Н. Н. Семененко, С. Е. Головатый, Г. В. Слободническая [и др.]. – Минск, 1999. – 28 с.
9. Безмоторные методы оценки эксплуатационных свойств альтернативных топлив с добавкой этанола / С. А. Плотников, Г. П. Шишкин, М. В. Смольников [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 6 (90).
10. Бузиков, Ш. В. Исследование применимости жидких альтернативных топлив / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 184–189.
11. Верификация расчетных данных определения показателей процесса сгорания в дизеле / С. А. Плотников, М. В. Смольников, П. В. Гневашев, Р. С. Даргель // Транспорт на альтернативном топливе, 2024. – № 5. – С. 52–58.
12. Идентификация максимального давления цикла безмоторным методом на основе удельной рефракции / С. А. Плотников, П. В. Гневашев, М. В. Смольников, Г. П. Шишкин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 331–337.
13. Поиск связей между физико-химическими свойствами топлив и показателями отработавших газов при работе дизеля на смесевом топливе / С. А. Плотников, М. В. Смольников, М. А. Стародумов, П. Ю. Малышкин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2025. – № 5 (107). – С. 72–77.
14. Предпосылки российских ученых в оценке экспресс-методом моторных свойств топлив для ДВС / М. В. Смольников, С. А. Плотников, Д. Г. Сергеев, П. В. Гневашев // Инновации (НПК-2022). – Киров: ВятГУ, 2022. – Т. 2. – С. 440–444.
15. Смольников, М. В. Детальное изучение опыта применения безмоторного метода в исследованиях учеными Российской Федерации / М. В. Смольников, С. А. Плотников, Г. П. Шишкин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 309–312.
16. Уточнение характеристик дизельных топлив для безмоторной оценки эксплуатационных показателей автотракторного дизеля / С. А. Плотников, М. В. Смольников, П. В. Гневашев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 164–170.

Аннотация. Рассмотрены предпосылки развития искусственного интеллекта в части развития скорейшего внедрения альтернативного топлива посредством экспресс-методов. Развитие экспресс-методов в современной науке и технике сложно переоценить. Они стали не просто удобным инструментом, а ключевым фактором ускорения прогресса и повышения эффективности практически во всех областях. Подробно представлена роль экспресс-методов в различных областях науки, рассмотрев причины их появления, ключевые преимущества, конкретные примеры и возможные ограничения.

Ключевые слова: альтернативное топливо, экспресс-метод, удельная рефракция, безмоторный метод, максимального давления цикла, жесткость процесса сгорания.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3. МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Козлов С. И. Системы автоматического управления с замкнутым контуром регулирования	3
Кузин А. В., Шмигель В. В. Математическая модель прогнозирования концентрации озона для систем дезинвазии в сельском хозяйстве	9
Мелехов А. В. Повышение эффективности измельчения подстилочного материала при модернизации ножей ротора ИРК-145	15
Острейко А. А. Качественная оценка сырья, используемого для получения биогаза	18
Понталев О. В. Автоматизированные системы управления процессами на базе контроллера Simatic S7-1200	22
Симченков А. С. Краткий анализ систем охлаждения молока	26

Секция 4. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Алентьева Н. В., Кравченко Т. С., Дударева А. Б., Сидорин А. А. Экономическое обоснование создания региональных сервисных кластеров	31
Борисов А. Л., Левчук В. А. Анализ видов загрязнений МТП и пути их устранения	36
Борисов А. Л., Левчук В. А., Сентюров Н. С. Определение вязкости масла, применяющегося в режущих аппаратах многороторных косилок	39
Дударева А. Б., Кравченко Т. С., Алентьева Н. В., Сидорин А. А. Разработка моделей аутсорсинга в техническом сервисе АПК: оценка эффективности и управление рисками	43
Левчук В. А. Анализ видов наплавки для восстановления деталей машин и механизмов, их преимущества и недостатки	47
Мажугин Е. И., Казаков А. Л. Систематизация схем очистки технических жидкостей	53
Сидорин А. А., Кравченко Т. С., Алентьева Н. В., Дударева А. Б. Совершенствование системы управления техническим сервисом в сельскохозяйственных предприятиях	57

Секция 5. ТРАКТОРЫ, АВТОМОБИЛИ И МАШИНЫ ДЛЯ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Бирюков А. Л., Крапивин В. С., Плехов Д. В. Система питания дизеля с резистивным подогревом	62
Заболотских Г. Э., Плотников С. А., Карташевич А. Н. Улучшение экологических показателей автотракторного дизеля при работе на биоминеральных топливных смесях	65
Кантор П. Я., Плотников С. А., Стародумов М. А. Влияние физико-химических свойств топлив на экологические показатели работы автотракторного дизеля	68
Клуонис А. С., Плотников С. А. Многофункциональные легированные покрытия на основе TiAlN для современного режущего инструмента: структура, свойства и перспективы применения	73

Клуонис А. С., Плотников С. А. Влияние параметров осаждения поверхностных покрытий на твердосплавные металлорежущие инструменты	77
Коробейников А. Н., Плотников С. А., Сударкин В. Н. Перспективы улучшения эксплуатационных показателей автотракторного дизеля путем озонирования топливовоздушной смеси	81
Кутергин Н. Ю., Плотников С. А., Даргель Р. С. Методы улучшения эксплуатационных показателей тракторного дизеля	85
Малышкин П. Ю., Таболин А. А. Двигатели внешнего сгорания в контексте текущего времени	89
Масалимов А. В., Плотников С. А., Карташевич А. Н. Физико-химический анализ и моделирование процессов горения смесевых топлив в дизельном двигателе	93
Мурашкин А. Г. Плавающий шарнир в навесном устройстве трактора и его влияние на коэффициент трансформации механизмов подъема навески	98
Ошмарин А. А., Плотников С. А., Рудашко А. А. Параметры расчета, необходимые для построения математической модели работы ДВС на альтернативном топливе	107
Плехов Д. В., Плотников С. А., Шишкин Г. П., Гордеенко А. В. Современные методы и средства облегчения запуска дизельных двигателей	110
Плотников С. А., Карташевич А. Н., Малышкин П. Ю. Разработка систем питания дизеля для работы на альтернативных топливах	116
Пляго А. В., Масалимов А. В., Втюрина М. Н. Применение этаноло-топливной эмульсии в настоящее время и варианты ее стабилизации	123
Рубец С. Г., Коршунов К. В. Расширение технологических возможностей одноковшового гидравлического экскаватора	127
Рудашко А. А., Солодкин Н. В. Электронно-гидравлическое управление задним навесным устройством трактора с датчиками усилия в верхней и нижних тягах	131
Рябчикова А. Д., Шерстюков В. В. Баромембранные процессы в системе очистки сточных вод	136
Смольников М. В., Плотников С. А., Карташевич А. Н., Малышкин П. Ю. Развитие экспресс-метода в науке как решающее звено на пути к искусственному интеллекту при использовании биотоплив	141

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЯХ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных трудов

Выпуск 11

В двух частях

Часть 2

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 12.06.2026. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,60. Уч.-изд. л. 8,09.
Тираж 30 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.