



eISSN 2311-2468
Том 11, № 5. 2023
Vol. 11, no. 5. 2023

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн

Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



АНАНЬИН А. В., КУЗНЕЦОВ В. В.

**ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЖЕНИЯ НЕСУЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Аннотация. В статье описана технология численного моделирования нагружения несущих элементов конструкций перерабатывающего оборудования с применением балочных элементов в ANSYS. Дана оценка адекватности полученных результатов.

Ключевые слова: балка, конструкция, моделирование, балочные элементы, ANSYS.

ANANYIN A. V., KUZNETSOV V. V.

**TECHNOLOGY OF SIMULATION OF LOADING IN LOADBEARING STRUCTURES
OF PROCESSING EQUIPMENT WITH BEAM ELEMENTS**

Abstract. The article describes the technology of numerical simulation of loading of the loadbearing structures of the processing equipment with the use of beam elements in ANSYS. The adequacy of the results obtained is assessed.

Keywords: beam, construction, simulation, beam elements, ANSYS.

Несущие конструкции являются одними из наиболее важных элементов оборудования различного назначения, в том числе перерабатывающего, поэтому точная оценка их напряженно-деформированного состояния в процессе эксплуатации определяет его надежность и безопасность.

Аналитические методы решения задач данного класса в настоящее время применяются достаточно редко, так как имеют более высокую трудоемкость и сложность по сравнению с численными методами. Последние получили широкое распространение с развитием технологий высокопроизводительных вычислений и соответствующего программного обеспечения (ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, NX CAE, ПК ЛИРА и др.). С учетом возможностей и популярности современных пакетов расчета, технологию моделирования несущих конструкций перерабатывающего оборудования целесообразно рассмотреть на примере расчета балочной несущей конструкции [1, с. 31] в системе конечно-элементного анализа ANSYS Mechanical APDL (MAPDL).

Расчетная схема нагружения рассматриваемой конструкции представлена на рисунке 1а. В ее рамках рассматривается нагружение двутавра немерной длины горячекатаного профиля 30Б2, выполненного из стали С345 категории 5 по ударной вязкости по ГОСТ 27772-2015 [2]: Двутавр НД – 30Б2 – ГК ГОСТ Р 57837-2017 /С345Б – 5 ГОСТ 27772-2015.

Параметры сечения двутавра приведены в таблице 1, а физико-механические

характеристики материала, из которого он выполнен – в таблице 2.

В процессе нагружения двутавр опирается на две опоры, одна из которых неподвижная, а вторая – шарнирно-подвижная, допускающая перемещение двутавра вдоль его оси. К свободным концам двутавра приложена равномерно распределенная нагрузка $w = 4000 \text{ Н/м}$.

Оценку напряженно-деформированного состояния несущей конструкции целесообразно выполнить на основе оценки максимальных изгибающих напряжений σ в средней части сечения балки и прогиба δ в ее центре.

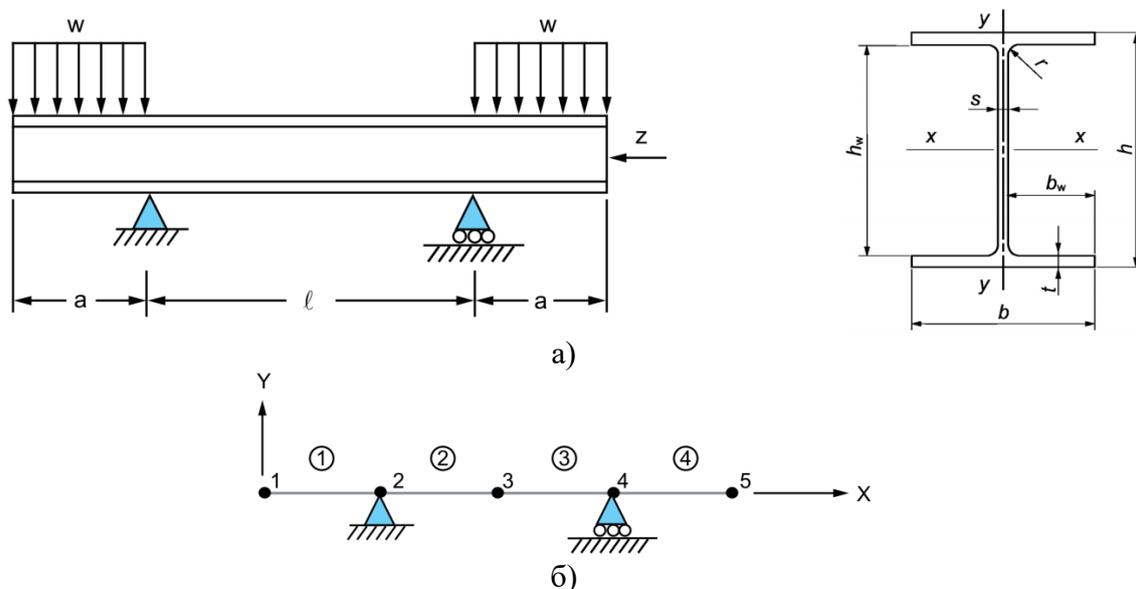


Рис. 1. Расчетная схема (а) и конечно-элементная сетка (б) конструкции.

Таблица 1

Геометрические характеристики двутавра

Номер профиля	Номинальные размеры, мм							Номинальная площадь поперечного сечения F_H , см^2	Номинальная масса 1 м, кг	Справочные величины для осей профиля							
	h	b	s	t	h_w	b_w	r			I_x , см^4	W_x , см^3	S_x , см^3	i_x , мм	I_y , см^4	W_y , см^3	S_y , см^3	i_y , мм
30Б2	300	150	6,5	9,0	282	71,8	13	46,78	36,7	7209,3	480,6	271,1	124,1	507,5	67,7	52,6	32,9

Таблица 2

Основные физико-механические характеристики материала двутавра

Класс прочности	Толщина полки t , мм	Модуль Юнга E , Па	Предел текучести σ_T , МПа	Временное сопротивление σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
С345Б	9,0	$2,1 \cdot 10^{11}$	345	480	21

Моделирование нагружения балочных конструкций осуществляется с использованием графического интерфейса или командном (пакетном) режиме MAPDL в три этапа.

На первом этапе определяются свойства материалов, типы конечных элементов и их настройки, типы сечений балочных элементов и их параметры, задаются граничные (краевые) условия. Настройки параметров и запуск решения задачи осуществляется на втором этапе. На третьем этапе выводятся необходимые результаты решения. В случае, если прямое построение конечно-элементной модели имеет высокую трудоемкость, то как правило, сначала создается твердотельная модель конструкции, на которую затем наносится конечно-элементная сетка.

Для анализа балочных конструкций в MAPDL используются трехмерные линейные, квадратичные или кубические балочные элементы типа BEAM188 и BEAM189 (рисунок2), разработанные с учетом основных положений теории балок Тимошенко [3; 4] и допускающие искривление их поперечных сечений.

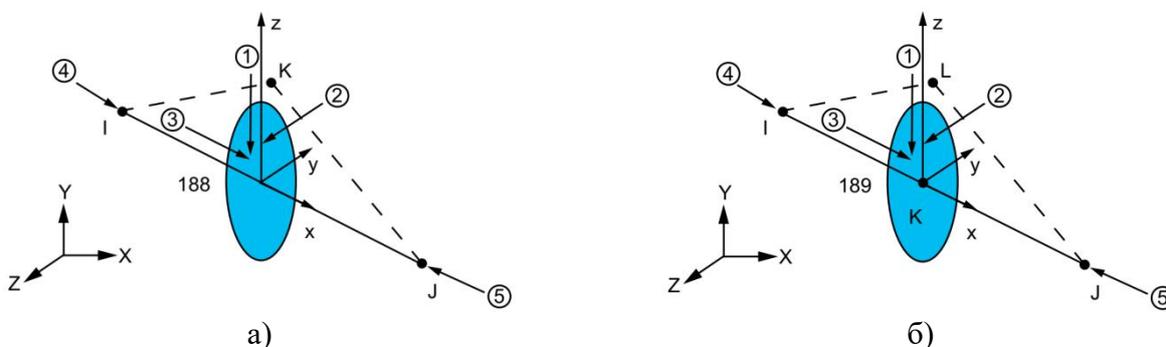


Рис. 2. Геометрия элементов BEAM188 (а) и BEAM189 (б): I, J, K – узлы, X, Y, Z – оси.

Важно отметить, что ограничения теории деформации сдвига первого порядка позволяют адекватно описывать нагружение только тонких и умеренно толстых балок. Для оценки ее применимости используется коэффициент гибкости балочной конструкции:

$$k = GAL^2 / (EI_z), \quad (1)$$

где G – модуль сдвига, Н/м^2 ; A – площадь поперечного сечения, м^2 ; L – длина сегмента балки, м ; (EI) – изгибная жесткость, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$; E – модуль упругости материала, Н/м^2 ; I_z – главный момент инерции поперечного сечения балки относительно оси Z , м^4 .

Сравнение деформаций δ (таблица 3), полученных при нагружении консольнозакрепленной балки по схеме на рисунке 3, показывает, что с увеличением коэффициента гибкости адекватность результатов моделирования, полученных с использованием балочных элементов MAPDL,

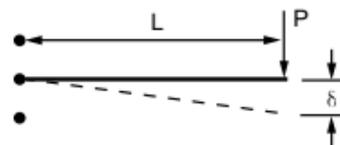


Рис. 3. Расчетная схема нагружения балки при оценке адекватности моделирования.

нелинейно возрастает [5, с. 803]. С учетом этого ANSYS Inc. рекомендует [5, с. 803] использовать балочные элементы, когда значение коэффициента гибкости не менее 30.

Влияние гибкости балки на адекватность результатов моделирования

№	Коэффициент гибкостик	Соотношение деформаций, полученных с применением теорий Тимошенко $\delta_{Т}$ Эйлера-Бернулли $\delta_{ЭБ}$ $k_{\delta} = \delta_{Т} / \delta_{ЭБ}$
1	25	1,120
2	50	1,060
3	100	1,030
4	1000	1,003

Кроме шести степеней свободы (перемещений и поворотов относительно X, Y и Z-осей) каждый узел балочных элементов может иметь седьмую степень свободы – деформацию.

Элементы BEAM188 и BEAM189 поддерживают модели упругости, пластичности, ползучести и другие нелинейные модели материалов, технологии рождения и смерти элементов, начальное состояние, большие отклонения и деформации, эффекты Кориолиса, нелинейную стабилизацию, самоупрочнение и другие.

В рамках рассматриваемой задачи создана конечно-элементная сетка, состоящая из 4 элементов типа BEAM188 и 5 узлов, как показано на рисунке 1б. Она построена таким образом, что в местах закрепления балки созданы узлы 2 и 4, к которым применены соответствующие ограничения степеней свободы. Равномерно распределенная нагрузка $w = 4000$ кН/м приложена к балочным элементам 1 и 4.

Тип сечения балок задается MAPDL-командой [6, с. 1453–1458]

SECTYPE, SECID, Type, Subtype, Name, REFINEKEY

где *SECID* – идентификатор сечения; *Type* – тип сечения (для балок *Type = BEAM*); *Subtype* – тип формы сечения (рисунок 4); *Name* – имя сечения (не более 8 символов); *REFINEKEY* – уровень детализации сетки (0 – минимальная, 5 – максимальная).

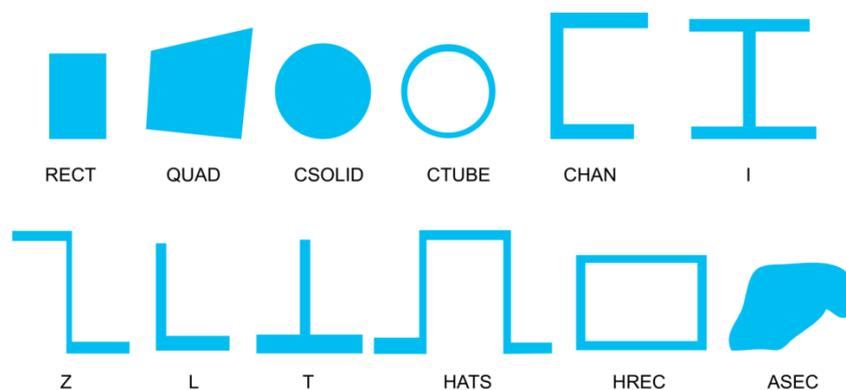


Рис. 4. Типы форм сечений балочных элементов MAPDL.

Применительно к рассматриваемой задаче в параметрах команды *SECTYPE* необходимо указать тип формы сечения (двутавр), задав *Subtype = 1*.

В общем виде параметры формы сечения балки задаются командой

SECDATA,VAL1, ... VAL12,

где *VAL1 ... VAL12* – значения параметров формы сечения [6, с. 1417-1439].

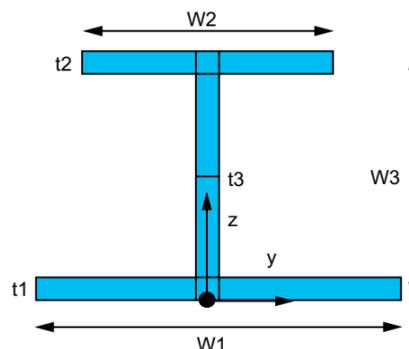


Рис. 5. Параметры двутавра.

Применительно к сечению двутавра команда *SECDATA* должна быть записана в виде:

SECDATA,W1, W2, W3, t1, t2, t3,

где $W1, W2, W3, t1, t2$ и $t3$ – параметры двутавра (рисунок 5).

Ориентация Z и Y -осей сечения балочных элементов (рисунок 5) в MAPDL определяется положением узла K для элементов типа BEAM188 и узла L для BEAM189 (рисунок 2).

Ниже приведена последовательность команд для решения рассматриваемой задачи.

```

/PREP7                ! Вход в препроцессор PREP7
ANTYPE,STATIC        ! Тип анализа: статический
! Задание свойств материала № 1
MP,PRXY,,0.3         ! Коэффициент Пуассона
MP,EX,1,2.1e11       ! Модуль Юнга Ex = 2.1e11 Па
! Выбор типа конечного элемента и его настройка
ET,1,BEAM188         ! Тип элемента – BEAM188
KEYOPT,1,9,3         ! Вывод данных: в 9 промежуточных точках
KEYOPT,1,3,3         ! Форма функции элемента вдоль оси: кубическая
! Выбор типа сечения и настройка его параметров
Ih = 0.300           ! h = 0.3 м
Ib = 0.150           ! b = 0.15 м
It = 0.009           ! t = 0.009 м
Is = 0.0065          ! s = 0.0065 м
SECT,1,BEAM,I        ! Форма сечения №1: двутавр
SECDATA,Ib,Ib,Ih,It,Is ! Задание размеров сечения швеллера
! Построение конечно-элементной сетки
N,1                  ! Создание узла № 1 с координатами (0;0;0)
N,5,4                ! Создание узла № 5 с координатами (4;0;0)
N,6,0.5,0.1         ! Создание узла ориентации № 6 с координатами (0.5;0.1;0)
N,10,3.5,0.1        ! Создание узла ориентации № 10 с координатами (3.5;0.1;0)
FILL,1,5             ! Генерирование узлов №№ 2-4 между узлами № 1 и № 5
FILL,6,10            ! Генерирование узлов ориентации между узлами № 6 и № 10
E,1,2,6              ! Создание элемента № 1 с узлами №№ 1, 2 и 6
EGEN,4,1,1           ! Генерирование элементов №№ 2-4 по элементу-шаблону № 1
! Задание граничных условий
D,2,UX,,,,UY        ! Запрет X, Y-перемещений в узле № 2
D,4,UY               ! Запрет Y-перемещений в узле № 4
NSEL,S,LOC,Y,0       ! Выбор узлов с Y = 0
D,ALL,UZ             ! Запрет Z-перемещений в выбранных узлах
D,ALL,ROTX           ! Запрет поворотов относительно оси X в выбранных узлах
D,ALL,ROTY           ! Запрет поворотов относительно оси Y в выбранных узлах
NALL                 ! Выбор всех узлов

```

```

Pw = 4000          ! Нагрузка w = 4000 Н/м
SFBEAM,1,1,PRES,Pw  ! Приложение нагрузки w к элементу 1
SFBEAM,4,1,PRES,Pw  ! Приложение нагрузки w к элементу 4
FINISH            ! Выход из препроцессора PREP7
! Настройка и запуск решения
/SOLU              ! Вход в процессор настройки решения Solution
OUTPR,BASIC,1     ! Вывод результатов: основные величины, для каждого подшага
/OUT,SCRATCH
SOLVE              ! Запуск решения
FINISH            ! Выход из процессора SOLUTION
! Вывод результатов решения
/POST1             ! Вход в постпроцессор POST1
SET,1,1           ! Выбор результатов 1 подшага 1 шага решения
*GET,DISP,NODE,3,U,Y  ! Вывод Y-перемещений в узле № 3
ETABLE,STRS,LS,1    ! Формирование таблицы напряжений в элементах
*GET,STRSS,ELEM,2,ETAB,STRS  ! Вывод напряжения в элементе № 2
FINISH            ! Выход из постпроцессора POST1

```

Расчетная схема рассматриваемой задачи приведена на рисунке 6.

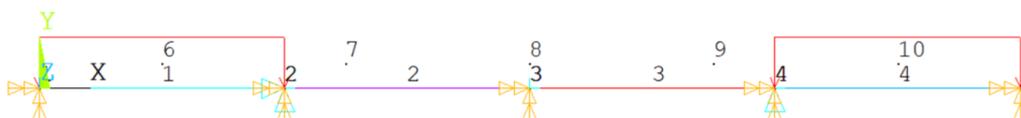


Рис. 6. Расчетная схема конструкции в MAPDL.

На рисунке 7 представлены исходное и деформированное состояния рассматриваемой балочной конструкции. Анализ полученных результатов решения показывает, что при заданной нагрузке максимальный прогиб в центральной части балки $\delta = 0,684$ мм, а максимальное вертикальное перемещение ($U_Y = 0,185$ мм) наблюдалось на ее свободных концах. Максимальное напряжение в средней части сечения балки составило $\sigma = 3,894$ МПа, что значительно ниже соответствующих предельно допустимых значений.

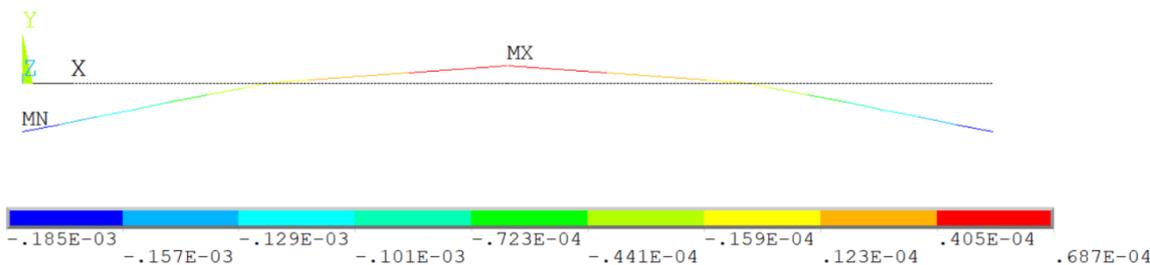


Рис. 7. Y-перемещения элементов конструкции.

Сравнение результатов аналитического расчета [7] и моделирования в MAPDL [1, с. 31], показывает, что погрешность не превышает 0,3%, поэтому балочные элементы типа BEAM188 могут эффективно использоваться для решения задач данного класса.

Настоящая работа является продолжением цикла работ [8–16], посвященных повышению эффективности применения современных технологий численного моделирования при разработке надежных и безопасных конструкций машин и оборудования АПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ANSYS Mechanical APDL Verification Manual. – ANSYS, Inc., 2020. – 3258 p.
2. ГОСТР 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок.
3. Timoshenko S. P. On the correction factor for shear of the differential equation for transverse vibrations of bars of uniform cross-section // *Philosophical Magazine*. – 1921. – P. 744.
4. Timoshenko S. P. On the transverse vibrations of bars of uniform cross-section // *Philosophical Magazine*. – 1922. – P. 125.
5. ANSYS Element Reference. – ANSYS, Inc., 2020. – 1354 p.
6. ANSYS Command Reference. – ANSYS, Inc., 2020. – 1354 p.
7. Timoshenko S. P. *Strength of Material. Part I. Elementary Theory and Problems*. – 3rd Edition. – NY: D. Van Nostrand Co., Inc., 1955. – P. 98.
8. Кузнецов В. В. Гиперупругие модели полимерных материалов // *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф.* – Саранск: 2016. – С. 275–281.
9. Кузнецов В. В., Водяков В. Н., Кузнецова О. М., Волгапова О. А. Технология «рождения» и «смерти» конечных элементов ANSYS Inc. (США) // *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сб. науч. тр.* – Саранск, 2013. – С. 392–401.
10. Кузнецов В. В., Стеблов А. А., Стеблов В. А. Вывод и обработка результатов теплового анализа в современных системах конечно-элементного анализа // *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф.* – Саранск, 2019. – С. 431–439.
11. Кузнецов В. В., Тимошенко В. А. Механизм решения тепловых задач в современных системах конечно-элементного анализа // *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф.* – Саранск, 2019. – С. 500–512.
12. Мурина Т. А., Кузнецов В. В., Водяков В. Н. Определение параметров гиперупругих моделей материалов в пакете ANSYS // *Энергоэффективные и*

- ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Саранск, 2016. – С. 450–457.
13. Кузнецов В. В. Механизмы моделирования контактного взаимодействия элементов трибосопряжений // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Межвуз. сб. науч. тр. / МГУ им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2018. – С. 262–270.
 14. Ананьин А. В., Кузнецов В. В. Тепловой анализ соединения теплообменника // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Саранск, 2022. – С. 382–390.
 15. Кузнецов В. В. Использование функций независимых переменных при приложении граничных условий в моделях ANSYS // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Саранск, 2019. – С. 521–532.
 16. Кузнецов В. В. Модели трения и изнашивания в ANSYS // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Саранск, 2018. – С. 271–281.

**ОВЧИННИКОВ В. А., ОВЧИННИКОВА А. В.,
КУПРЯШКИН В. В., АНТИПОВ Ю. А., АЛЬМУКОВ А. Р.
ЗНАЧЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И СПОСОБЫ ИХ ВНЕСЕНИЯ**

Аннотация. В статье описано значение использования удобрений в сельском хозяйстве. Проанализированы способы внесения удобрений, основные требования и пути совершенствования технологического оборудования.

Ключевые слова: удобрения, урожай, способ внесения, равномерность распределения.

**OVCHINNIKOV V. A., OVCHINNIKOVA A. V.,
KUPRYASHKIN V. V., ANTIPOV YU. A., ALMUKOV A. R.**

THE ROLE OF FERTILIZERS AND METHODS OF THEIR APPLICATION

Abstract. The article describes the importance of using fertilizers in agriculture. Methods of fertilization, basic requirements and ways of improving technological equipment are analyzed.

Keywords: fertilizers, yield, method of application, uniformity of distribution.

Необходимым требованием для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур является, использование хорошо удобренных, плодородных земель [1].

Возделывая культурные растения и собирая ежегодно урожай, мы уносим с ним и некоторое количество питательных веществ, изъятых растениями из почвы. Чтобы не истощать почву и сохранить её плодородие, мы должны постоянно возмещать эти потери. Эта задача отчасти решается внесением в почву удобрений.

Однако, максимальный эффект от использования удобрений возможен только в том случае, если их правильно использовать, т. е. вносить в определённое время, в установленном порядке и количестве. Иными словами, необходимо, чтобы была разработана и применялась правильная система внесения удобрений, учитывающая почвенные и климатические особенности района их внесения.

В настоящее время применяют следующие основные типы удобрений – органические, минеральные и органоминеральные. Они отличаются происхождением и составом. Органические удобрения по своему происхождению связаны с животным или растительным миром (природного происхождения), минеральные имеют неорганическое происхождение (продукт промышленного производства), а органоминеральные удобрения обладают свойствами первого и второго типа [2].

Органические удобрения являются полными удобрениями. Это значит, что они содержат все вещества, необходимые для питания растений. К этой группе удобрений

относятся навоз, навозная жижа, птичий помёт, торф, а также и так называемое зелёное удобрение (сидераты).

Минеральные удобрения (туки), в отличие от органических, не являются полными удобрениями, так как содержат в подавляющем большинстве случаев один химический элемент – азот, фосфор, калий (простые удобрения). Например, в суперфосфате – это фосфор, в аммиачной селитре или карбамиде – азот. Сложные удобрения содержат в себе более двух элементов, то есть, например, азот и фосфор, азот и калий или азот, фосфор и калий.

Действие минеральных удобрений на рост и развитие растений неодинаково. Так, азотистые удобрения обуславливают усиленное развитие зелёной массы, фосфорнокислые ускоряют созревание растений, а калийные обеспечивают образование и накопление в растениях сахара и крахмала. Известь улучшает физические свойства дерново-подзолистых почв (почв с кислой реакцией), усиливая деятельность почвенных микроорганизмов и повышая действие других удобрений.

Существует несколько вариантов внесения удобрений в почву [3].

1. Основное внесение удобрений. При основном способе внесения удобрений их рассеивают или разбрасывают по полю до посева или посадки растений, заделывая в почву при последующей ее обработке. Этот способ имеет важное значение, так как вносимые при этом и правильно заделанные удобрения используются растениями, как питательные вещества, в течение нескольких лет, в период их роста и развития. При этом способе в почву вносятся почти все органические удобрения, а также около двух третей всех минеральных удобрений, предназначенных для той или иной культуры.

2. Припосевное (стартовое) внесение удобрений. Как следует из самого названия, производится одновременно с посевом. В этом случае удобрения вносятся в ограниченных количествах, на незначительную глубину, чтобы обеспечить всходы молодых растений питательными веществами в первый период их роста, когда они имеют ещё слабо развитую корневую систему. Удобрения обычно заделывают под высеваемые семена, в тот же рядок, или сбоку от него, с некоторой прослойкой почвы между семенами и удобрениями.

3. Подкормка растений. Следующим способом внесения удобрений является подкормка. Её проводят в период роста и развития растений. Преимущество этого способа заключается в том, что он позволяет давать растениям именно те питательные вещества, которые необходимы им в тот или иной период их развития.

Перед внесением удобрений, особенно органических, приходится выполнять много трудоёмких операций. Грузить удобрения в транспортные средства, перевозить и разгружать их в местах временного хранения. Не меньшее значение имеет организация работ и по

самому процессу внесению удобрений.

Существует три схемы внесения удобрений – прямоточная, перегрузочная и перевалочная [4].

Прямоточная схема предполагает загрузку удобрений непосредственно в рабочие машины, транспортировку и внесение их в поле. Данная технология актуальна при работе на полях расположенных на удалении до 5 км и характеризуется минимальным набором технических средств, для её реализации.

Отличительной особенностью перегрузочной схемы внесения удобрений является разделение транспортных и технологических работ. Доставка удобрений до поля производится специализированным транспортом, далее перегружаются в разбрасыватели и вносятся на поле. Перегрузочная схема актуальна на полях значительно удаленных от места хранения удобрений.

При перевалочной схеме, удобрения заранее вывозят в поле (при наличии свободного транспорта) и складывают. Далее, в установленные агротехнические сроки удобрения перегружаются в рабочие машины и распределяются по поверхности поля. Данная схема актуальна при больших расстояниях до места внесения. К положительным сторонам данной технологии можно отнести, отсутствие зависимости технологических и транспортных работ, к отрицательным – проведение дополнительных операций, что приводит к дополнительным затратам.

Одним из важнейших требований при работе машин для внесения удобрений является равномерность распределения вносимого ими материала. На полях, где удобрения распределены неравномерно, растения развиваются неодинаково, что приводит к ухудшению качества урожая, к её потерям и т.д. (рис. 1) [5].

В последние годы в России, так и за её пределами, наибольшее распространение получили минеральные гранулированные удобрения. Основным преимуществом данных удобрений является высокая производительность машин при их внесении, а также транспортировка, хранение и т.д.

Машины для внесения минеральных удобрений, как правило, выпускаются в навесном и прицепном исполнении и агрегируются с энергетическими средствами. Как показывает практика и анализ научной литературы, машины полностью удовлетворяющим агротехническим требованиям к процессу внесения удобрений пока не создано [6].



Рис. 1. Структурная схема издержек от некачественного внесения удобрений.

Поэтому исследования посвященные совершенствованию технологического оборудования весьма актуальны и направлены на увеличение производительности машин, возможности адаптации их к условиям работы (в зависимости от состава удобрений), снижение повреждения удобрений, а также на универсализацию данных машин.

Исходя из вышесказанного, на кафедре МЭС и СХМ имени профессора А.И. Лещанкина Мордовского государственного университета разработан и изготовлен адаптивный пневмоцентробежный рабочий модуль к серийным машинам для внесения минеральных удобрений (рис. 2). Техническое решение разработанного модуля подтверждено патентом на полезную модель №201318 [7].

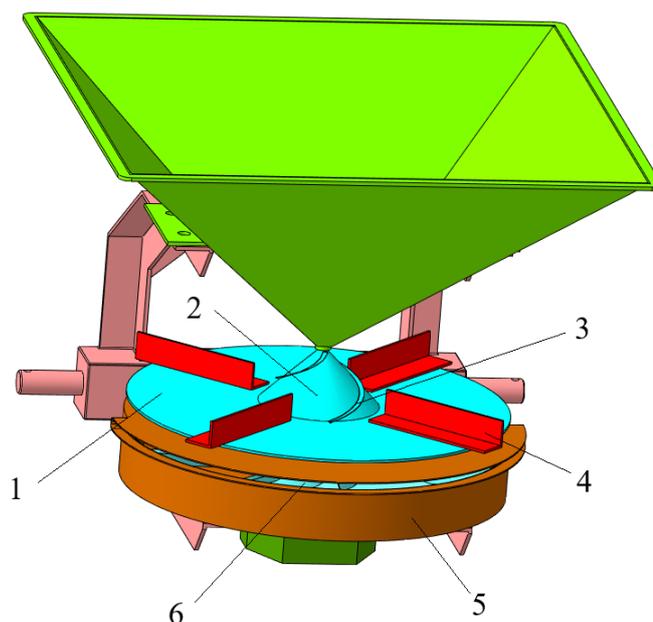


Рис. 2. Адаптивный пневмоцентробежный рабочий модуль:
 1 – диск; 2 – коническая часть; 3 – спиралевидные винты; 4 – лопасти;
 5 – кожух; 6 – лопастной вентилятор.

Согласно предварительным лабораторным испытаниям, применение разработанного адаптивного пневмоцентробежного рабочего модуля позволяет увеличить производительность серийных машин за счет увеличения рабочей ширины захвата агрегата при внесении удобрений с разным гранулометрическим составом. Кроме того, использование пневмоцентробежного модуля приводит к снижению повреждения удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белинский А. В. Разработка теории и технических средств для поверхностного внесения удобрений и мелиорантов: дис. ... д-ра техн. наук. – Казань, 2005. – 397 с.
2. Костригин А. А. Повышение эффективности внесения минеральных удобрений на склонах машинами путем совершенствования центробежного рабочего органа: дис. ... канд. техн. наук. – Саранск, 2016. – 186 с.
3. Седашкина Е. А. Рациональные параметры центробежного рабочего органа разбрасывателя для поверхностного внесения минеральных удобрений: дис. ... канд. техн. наук. – Саранск, 2007. – 153 с.
4. Кленин Н. И., Киселев С. Н., Левшин А. Г. Сельскохозяйственные машины. – М.: КолосС, 2008. – 816 с.
5. Овчинников В. А., Овчинникова А. В. Рабочий орган для внесения минеральных

- удобрений // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 13–16.
6. Адамчук В. В., Моисеенко В. К. Технические средства нового поколения для посева минеральных удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 2. – С. 15–19.
7. Пат. 201318, А01С 17/00. Пневмоцентробежный рабочий орган машины для внесения минеральных и известковых удобрений. / В.А. Овчинников, А.Н. Седашкин, Н.Н. Жалнин, А.В. Овчинникова. – № 2020133322; заявлено 09.10.20, опубл. 09.12.20, Бюл. № 34.

ПЬЯНЗОВ С. В., ИОНОВ П. А., ШУНИХИН Р. Ф., ФИКЛИНОВ А. А.
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Аннотация. В статье проведен анализ факторов, оказывающих влияние на работоспособность системы кондиционирования транспортно-технологических машин. Проанализированы и рассчитаны величины возможных утечек хладагента в системе кондиционирования. Определены соединения, вносящие наибольший вклад в утечку хладагента.

Ключевые слова: система кондиционирования, хладагент, компрессор, редукционный клапан, коэффициент полезного действия, утечка.

RYANZOV S. V., IONOV P. A., SHUNIKHIN R. F., FIKLINOV A. A.
ANALYSIS OF FACTORS DETERMINING OPERABILITY OF AIR CONDITIONING
SYSTEM OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES

Abstract. The article analyzes the factors influencing the performance of the air conditioning system of transport and technological vehicles. The values of possible refrigerant leaks in the air conditioning system are analyzed and calculated. The joints that make the greatest contribution to refrigerant leakage have been identified.

Keywords: air conditioning system, refrigerant, compressor, pressure reducing valve, efficiency, leakage.

Современные транспортно-технологические машины стали комфортными благодаря созданию комфортного микроклимата в салоне системой кондиционирования. Система кондиционирования – это совокупность устройств, которые позволяют охлаждать воздух в салоне транспортно-технологической машины и очищать его от влаги и посторонних запахов. Поэтому в условиях реальной эксплуатации важно обеспечивать работоспособность системы кондиционирования транспортно-технологической машины.

Одной из основных причин потери работоспособности системы кондиционирования является утечка хладагента. Проанализируем возможные пути утечек хладагента в системе кондиционирования и установим их величины. В качестве объекта исследований выбрана система кондиционирования автомобиля ГАЗель *Next*. На данный автомобиль устанавливаются агрегаты системы кондиционирования компании «*Delphi*». Выбор данной системы обусловлен наличием полного комплекта конструкторской документации завода-изготовителя необходимой для расчета [1].

На рисунке 1 представлены возможные пути утечек хладагента в системе

кондиционирования автомобиля не связанные с потерей герметичности.

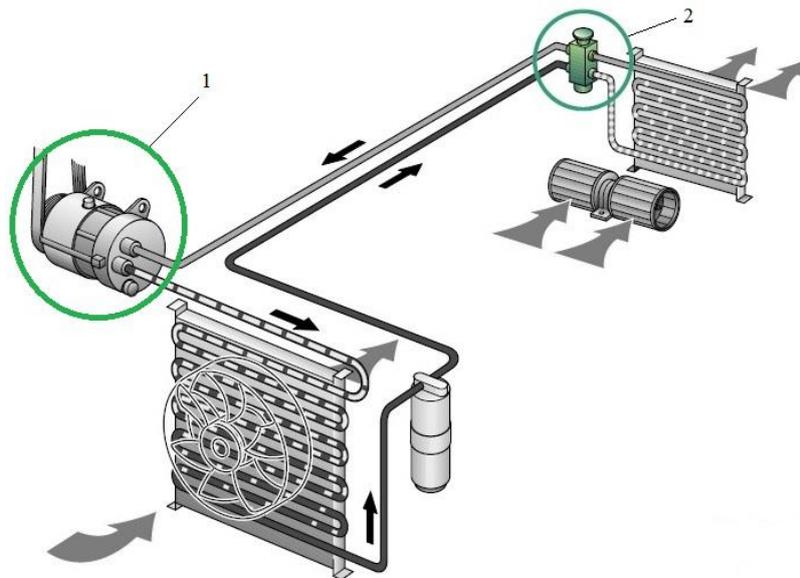


Рис. 1. Возможные утечки хладагента в системе кондиционирования:

1 – утечки в соединениях компрессора; 2 – утечки в редукционном клапане.

Анализируя рис. 1 можно предположить, что фактическая подача, КПД компрессора и всей системы кондиционирования в целом в бóльшей степени зависят от внутренних утечек хладагента внутри компрессора и утечек через редукционный клапан. В компрессоре объемная внутренняя утечка хладагента оказывает более сложное влияние на фактическую объемную подачу. В процессе эксплуатации компрессора хладагент протекая через зазоры распределительной и поршневых соединений снижает фактическую подачу компрессора. При этом утечка в поршневых соединениях, не позволяет отклонить качающий узел компрессора на необходимый угол, что приводит к существенному снижению подачи и падению величины КПД всей системы кондиционирования в целом. В свою очередь утечки через редукционный клапан также снижают КПД всей системы кондиционирования.

По данным производителей компрессоров – *Denso* (Южная Корея), *Delphi* (Великобритания), *Nissens* (Дания), *Luzar* (Украина), *Valeo* (Франция) и др. наиболее важными техническими характеристиками являются подача Q , крутящий момент M , мощность N , коэффициент полезного действия (КПД). Справедливы следующие зависимости [1–5]:

$$Q = \frac{V_g \cdot n \cdot \eta_v}{1000}, \quad M = \frac{1,56 \cdot V_g \Delta p}{100 \cdot \eta_{mh}}, \quad N = \frac{Q \cdot \Delta p}{612 \eta_t}. \quad (1)$$

где Q – фактическая подача, л/мин; V_g – рабочий объем, см³; n – частота вращения, мин⁻¹; Δp – разность давлений на входе и выходе, МПа; η_v – коэффициент подачи хладагента (0,95);

η_h – механический КПД; η_t – полный КПД; M – приводной крутящий момент, Н·м; N – мощность.

Наиболее точную и достоверную оценку технического состояния компрессора дает его КПД. Выразим из выражений (1) КПД:

$$\eta_t = \eta_v \eta_h = \frac{15,6 \cdot Q \cdot \Delta p}{M \cdot n}. \quad (2)$$

Механический КПД зависит от потерь энергии на трение в самом компрессоре. КПД компрессора определяется исходя из следующего выражения:

$$\eta_v = \frac{1000 \cdot Q_k}{V_g \cdot n} = \frac{Q_k}{Q_m}. \quad (3)$$

Анализ выражения (3) показывает, что КПД зависит от отношений теоретической подачи Q_m и фактической подачи компрессора Q_k . Значения фактической подачи компрессора можно определить из уравнения баланса подачи хладагента:

$$Q_k = Q_m - \sum q_{ум}, \quad \text{тогда} \quad \eta_v = \frac{Q_m - \sum q_{ум}}{Q_m}. \quad (4)$$

где $\sum q_{ум}$ – суммарная внутренняя утечка хладагента в компрессоре при номинальных режимах работы.

На рисунке 2 представлены возможные пути утечек хладагента в компрессоре.

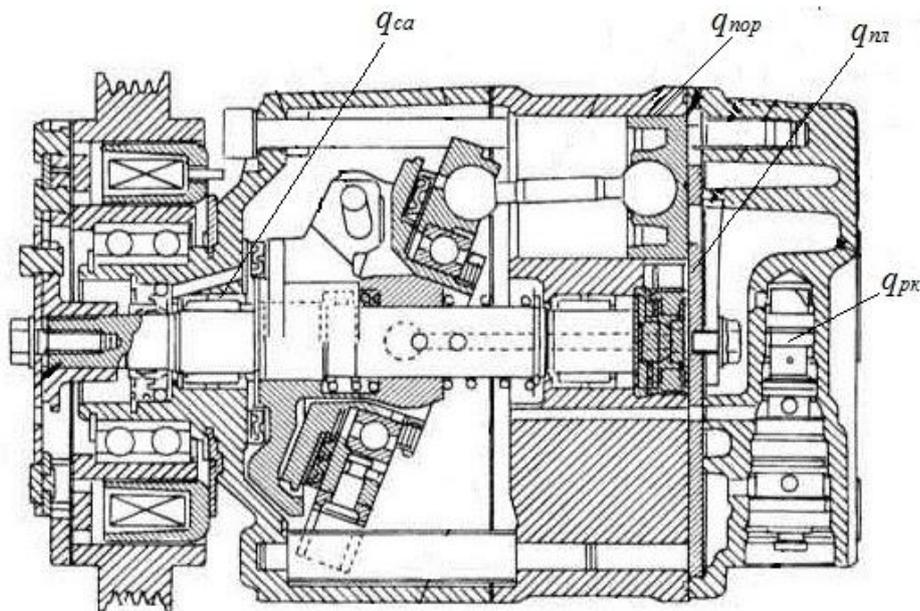


Рис. 2. Пути утечек хладагента в компрессоре:

$q_{са}$ – утечка в соединении «сальник – вал компрессора»; $q_{пор}$ – утечка в соединении «поршень – отверстие блока цилиндров»; $q_{пл}$ – утечка в соединении «прижимная пластина – крышка компрессора»; $q_{рк}$ – утечка в соединении «клапан – отверстие крышки компрессора».

На рисунке 3 представлены возможные утечки хладагента в редукционном клапане.

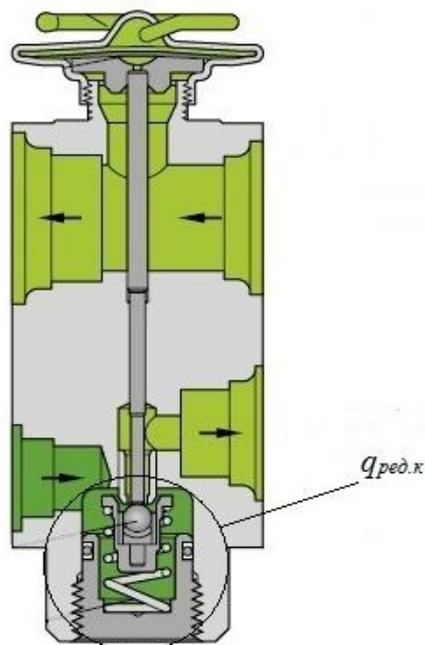


Рис. 3. Пути утечек хладагента в редукционном клапане:

$q_{ред.к}$ – утечка в соединении «редукционный клапан – отверстие корпуса».

Уравнение баланса основных источников суммарной утечки хладагента в системе кондиционирования можно представить в следующем виде:

$$\sum q_{ум} \approx K \cdot q_{пор} + q_{са} + q_{пл} + q_{рк} + q_{ред.к} + \dots + q_{\chi} \quad (5)$$

где K – количество поршней компрессора, находящихся в зоне рабочего давления, шт.; q_{χ} – расход потерь сжатия (заполнение «мёртвых» объемов), при прочих равных условиях допускается принимать его за константу ($q_{\chi} = const$).

Анализ работы компрессора показал, что в зоне высокого давления, когда происходит утечка рабочей жидкости, находятся 3 поршня из 5. Остальные 2 поршня в этот момент находятся в зоне низкого давления, поэтому в нашем случае коэффициент K для выражения (5) будет равен 3.

Тогда принимая во внимание все обозначенные допущения, общее уравнение баланса основных источников суммарной утечки хладагента $\sum q_{ум}$ для системы кондиционирования транспортно-технологических машин примет следующий вид:

$$\sum q_{ум} = 3 \cdot q_{пор} + q_{са} + q_{пл} + q_{рк} + q_{ред.к} + \dots \quad (6)$$

Согласно закону Пуазейля, утечку хладагента через эксцентричный кольцевой зазор можно представить в виде [1–5]:

$$q_{ум} = \frac{\pi d \Delta P z^3}{12 L \mu} \left(1 + \frac{3}{2} \varepsilon^2 \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

где z – кольцевой зазор в соединении, м; d – средний диаметр кольцевой щели, м; L – длина поршня, м; μ – динамическая вязкость, Па·с; ε – эксцентриситет уплотнения, м; ΔP – перепад давления, Па.

Утечка хладагента через капиллярную щель (торцовый зазор) между неподвижными плоскими стенками определяется по выражению:

$$q_{ym} = \frac{\Delta P b z^3}{12 L \mu \cdot 10^3}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

где b – ширина щели, м; z – зазор между плоскими стенками щели, м; L – длина щели в направлении тока жидкости, м.

Для поиска наиболее значимых соединений выражения 6, оказывающих наибольшее влияние на величину суммарной утечки определим величину утечки хладагента в соединениях нового компрессора и редукционного клапана экспериментальным путем и сравним с значениями, полученными по аналитическим выражениям (7) – (8).

Рассчитаем утечки хладагента в системе кондиционирования транспортно-технологических машин. Для соединений «поршень – отверстие блока цилиндров», «клапан – отверстие крышки компрессора» и «редукционный клапан – отверстие корпуса» расчеты производим по выражению (7). Для соединений «сальник – вал компрессора» и «прижимная пластина – крышка компрессора» расчеты производим по выражению (8).

Расчеты утечек хладагента выполним при следующих условиях. Разобьем обозначенные соединения на две зоны действия давления – зона высокого давления $\Delta P = 1,76 \cdot 10^6$ Па и зона низкого давления $\Delta P = 0,22 \cdot 10^6$ Па. В зоне высокого давления находятся следующие соединения: «поршень – отверстие блока цилиндров»; «клапан – отверстие крышки компрессора»; «редукционный клапан – отверстие корпуса» и «прижимная пластина – крышка компрессора», а в зоне действия низкого давления находится только соединение «сальник – вал компрессора». Расчеты утечек для всех обозначенных соединений производим при максимальных значениях технологических зазоров для новых соединений.

При расчетах были приняты следующие значения, так для соединения «поршень – отверстие блока цилиндров» максимальный технологический зазор равен $z = 46 \cdot 10^{-6}$ м, средний диаметр кольцевой щели равен $d = 0,023$ м, длина поршня равна $L = 74,5 \cdot 10^{-3}$ м. В зоне высокого рабочего давления находятся 3 поршня.

Для соединения «клапан – отверстие крышки компрессора» максимальный технологический зазор равен $z = 16 \cdot 10^{-6}$ м, средний диаметр кольцевой щели равен $d = 0,016$ м, длина запирающего пояса клапана равна $L = 16,76 \cdot 10^{-3}$ м.

Для соединения «редукционный клапан – отверстие корпуса» максимальный технологический зазор равен $z = 16 \cdot 10^{-6}$ м, средний диаметр кольцевой щели равен $d = 0,013$

м, длина запирающего пояска клапана равна $L = 4,85 \cdot 10^{-3}$ м.

Для соединения «прижимная пластина – крышка компрессора» в качестве максимального технологического зазора между плоскими стенками принимается суммарная шероховатость зоны уплотнения распределителя, которая равна Ra 0,2 мкм, в качестве ширины щели принимается расстояния между окошками пластины в зоне действия давления $b = 4$ мм, в качестве длины щели взят участок с 3 поршнями в зоне действия высокого давления $L = 17,4$ мм.

Для соединения «сальник – вал компрессора» в качестве максимального технологического зазора принимается суммарная шероховатость зоны уплотнения, которая равна Ra 0,2 мкм, в качестве ширины щели принимаем ширину зоны уплотнения $b = 3$ мм, в качестве длины щели длина окружность зоны уплотнения $L = 81,64$ мм. Результаты расчетов утечки хладагента в обозначенных и проанализированных соединениях системы кондиционирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Максимальные утечки хладагента в системе кондиционирования

Наименование соединения	Максимальный технологический зазор, мкм	Величина давления в соединении, МПа	Максимальная утечка хладагента, м ³ /с
«Поршень – отверстие блока цилиндров»	46	1,76	$8,6816 \cdot 10^{-4}$
«Клапан – отверстие крышки компрессора»	16	1,76	$3,1124 \cdot 10^{-4}$
«Редукционный клапан – отверстие корпуса»	16	1,76	$8,7385 \cdot 10^{-5}$
«Прижимная пластина – крышка компрессора»	0,2	1,76	$1,2216 \cdot 10^{-20}$
«Сальник – вал компрессора»	0,2	0,22	$2,3743 \cdot 10^{-22}$

Анализ таблицы 1 показал, что наибольший вклад в утечку хладагента вносят соединения, находящиеся в зоне высокого давления: «поршень – отверстие блока цилиндров»; «клапан – отверстие крышки компрессора»; «редукционный клапан – отверстие корпуса». Наименьший вклад в утечку вносят «прижимная пластина – крышка компрессора» и «сальник – вал компрессора».

Таким образом, проведенные исследования позволили установить соединения, которые вносят значительный вклад в утечку хладагента – это «поршень – отверстие блока цилиндров»; «клапан – отверстие крышки компрессора»; «редукционный клапан – отверстие корпуса». Остальные соединения из дальнейших исследований исключены, так как их влияние на величину утечки хладагента в системе кондиционирования незначительное.

Тогда уравнение баланса основных источников суммарной утечки хладагента в системе кондиционирования примет следующий вид:

$$\Sigma q_{yt} = 3 \cdot q_{nop} + q_{pk} + q_{ред.к} \quad (9)$$

Подставив выражения (7) – (8) в выражение (9) и проведя некоторые преобразования и упрощения, получим качественную оценку суммарной утечки хладагента в системе кондиционирования автомобиля:

$$\Sigma q_{yt} = \frac{\Delta p}{\mu} (3k_1 \cdot z_{nop}^3 + k_2 \cdot z_{pk}^3 + k_3 \cdot z_{ред.к}^3) \quad (10)$$

где k_1-k_3 – постоянные коэффициенты, определяющие характеристики истечения хладагента, зависящие от формы зазора; z_{nop} – кольцевой зазор в соединении «поршень – отверстие втулки блока цилиндров» компрессора, мм; z_{pk} – кольцевой зазор в соединении «регулирующий клапан – отверстие крышки компрессора», мм; $z_{ред.к}$ – кольцевой зазор в соединении «редукционный клапан – отверстие корпуса», мм.

Анализируя функциональную зависимость (10) можно сделать вывод, что величину КПД (η_c) системы кондиционирования транспортно-технологических машин можно представить как функцию зависящую от разности давлений Δp , вязкости хладагента μ и от зазоров в соединениях:

$$\eta_c = f(\Delta p, \mu, z_{nop}, z_{pk}, z_{ред.к}) \quad (11)$$

Таким образом, в выражении (11) представлена группа факторов, оказывающих влияние на работоспособность системы кондиционирования транспортно-технологических машин (на величину КПД). Для детального изучения степени влияния факторов на параметр оптимизации необходимо провести многофакторный эксперимент, который позволит установить связь КПД с величинами зазоров в ответственных соединениях элементов системы кондиционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьянзов С. В., Ионов П. А., Фиклинов А. А., Шунихин Р. Ф. Анализ средств диагностирования компрессора системы кондиционирования автомобиля // Современные материалы, техника и технологии. – 2022. – № 5(44). – С. 48–54.

2. Киселев Д. Н. Системы кондиционирования автомобилей // XLV Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. – Саранск, 2017. – С. 740–745.
3. Манойлина С. З., Ворохобин А. В. Причины и рекомендации по устранению неисправностей автомобильных кондиционеров // Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса. Материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 301–308.
4. Галка Г. А. Иванов Р. А., Думлер М. Г., Принцип работы и устройство автомобильного кондиционера // Молодой ученый. – 2017. – № 20. – С. 16–20.
5. Манойлина С. З., Ворохобин А. В. Использование р-н диаграммы при выборе автомобильного кондиционера // Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса. Материалы национальной научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 294–300.

АГЕЕВ В. А., РЕПЬЕВ Д. С., КАЗАКОВ Д. В.
ОБЗОР ТРАДИЦИОННЫХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. В статье проводится обзор традиционных и нейросетевых методов прогнозирования электрической нагрузки. Представлен среднесрочный прогноз потребления электрической энергии в распределительной сети 0,4 кВ с применением метода статистического прогнозирования и простейшей нейронной сети. Анализ результатов показал, что обученная нейронная сеть выдает более точный результат по сравнению со статистическим прогнозом.

Ключевые слова: электрическая нагрузка, нейронная сеть, статистическое прогнозирование, прогноз потребления электроэнергии, распределительная сеть.

AGEEV V. A., REPYEV D. S., KAZAKOV D. V.
TRADITIONAL AND NEURAL NETWORK METHODS
OF FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION: AN OVERVIEW

Abstract. The paper provides an overview of traditional and neural network methods for forecasting electricity consumption. A medium-term forecast of electric energy consumption in a 0.4 kV distribution power grid using the statistical forecasting method and the simplest neural network is presented. The analysis of the results showed that the trained neural network produces a more accurate result compared to the statistical forecast.

Keywords: electrical load, neural network, statistical forecasting, forecast of electricity consumption, distribution power grid.

Согласно программе развития электроэнергетики Республики Мордовии на 2021-2025 годы [4] на территории республики наблюдается тенденция увеличения потребления электрической энергии. Прогнозирование нагрузок (потребления) территориальными сетевыми компаниями осуществляется для обеспечения надежности и своевременного преодоления ограничений на перетоки электроэнергии. Отклонение фактического потребления от заявленного (прогнозируемого) на величину более 5% влечет за собой наложение штрафных санкций [3] или покупки недостающего объема (продажи избытка) по нетарифным ценам. В связи с этим возникает необходимость выбора методов прогнозирования электрической нагрузки. Методы прогнозирования можно классифицировать на качественные и количественные. Математический аппарат качественных методов состоит из ранжирования и обобщения экспертных оценок потребления электрической энергии и включает в себя метод обобщенного предсказания и

эвристические методы. Квантитативные методы включают в себя традиционные методы (статистический анализ, анализ временных последовательностей, Байесовское прогнозирование) и нейронные сети [2]. При выборе метода прогнозирования необходимо учитывать факторы, влияющие на конечное решение. К таким факторам можно отнести: требуемую форму прогноза; период прогнозирования; доступность статистических данных; точность; поведение прогнозируемого процесса и др.

В зависимости от периода прогнозирования, прогнозы классифицируют согласно [1]: оперативные (до нескольких часов в пределах текущих суток); краткосрочные (до десяти суток); среднесрочные (до нескольких месяцев); долгосрочные (до пяти лет); перспективные (на несколько лет вперед).

Традиционные методы основаны на прогнозировании стационарных случайных процессов через корреляционную функцию, описывающую этот процесс, т.е. аппроксимации графика с применением линейной или полиномиальной регрессии. С развитием теории искусственного интеллекта стало возможно воспроизводить зависимости многофакторных процессов, однако сложность применения нейронных сетей заключается в их настройке (обучении). Обучение нейронной сети происходит на определенной выборке, для которой известны исходы (значения). Точность прогнозной модели, основанной на нейронной сети, зависит от величины выборки и качества обучения. Для распределительной электрической сети напряжением 0,4 кВ по результатам контрольных замеров получен график электрических нагрузок, представленный на рисунке 1. Замеры параметров режима усреднены с интервалом времени 10 минут.

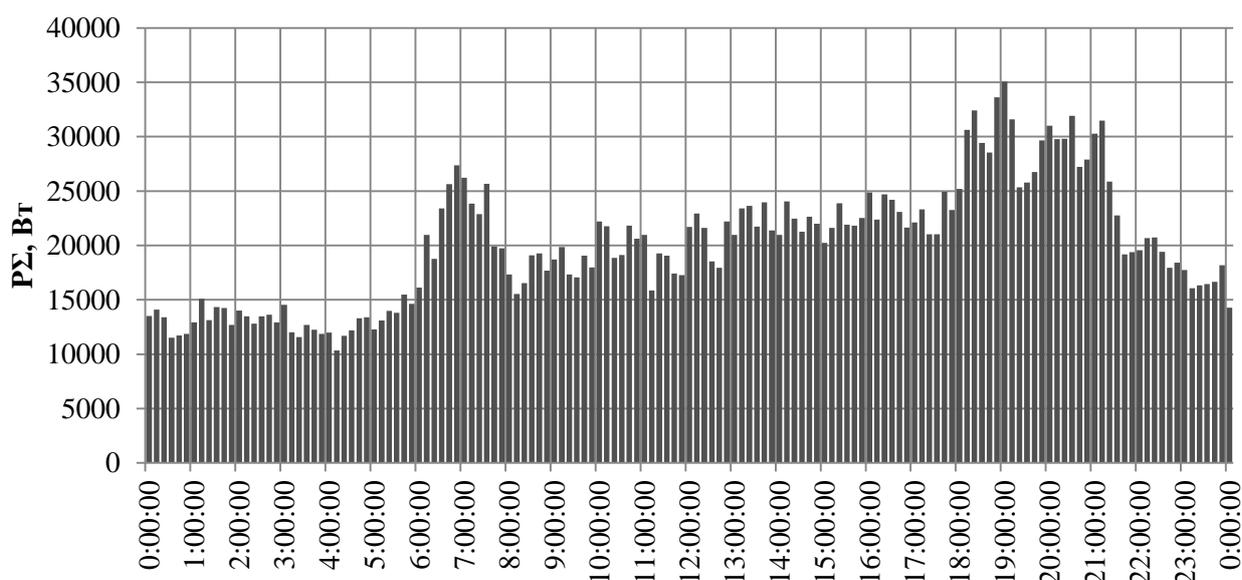


Рис. 1. График электрических нагрузок распределительной сети 0,4 кВ.

Статистическое прогнозирование потребления электрической энергии за сентябрь 2022 года (среднесрочный прогноз) выполняется на основании данных расхода электрической энергии полученных по графику нагрузки в день контрольных замеров. На рисунке 2 представлен суточный график расхода электрической энергии с нанесенной на него линией тренда и функцией описывающую ее.

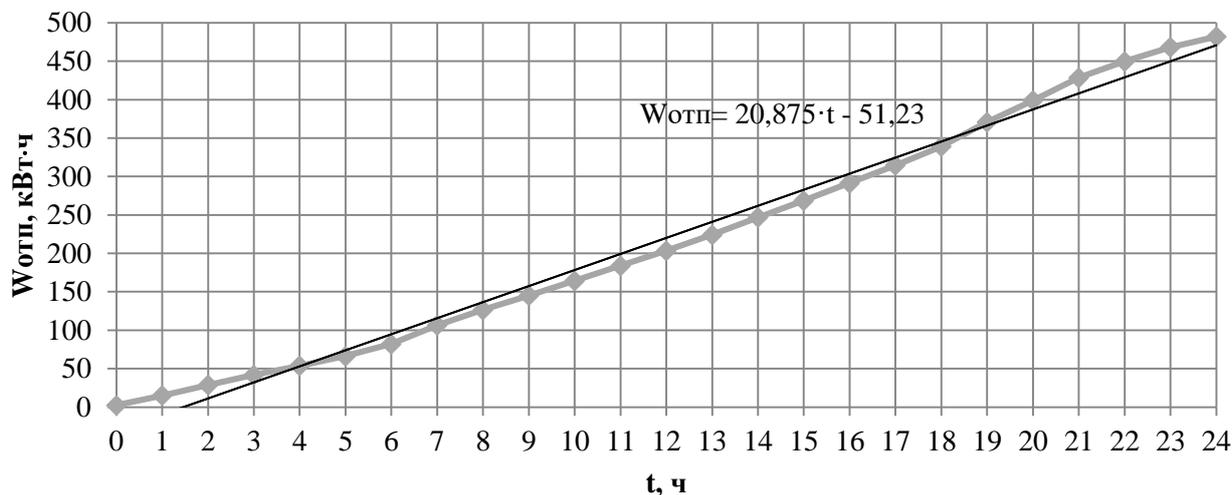


Рис. 2. График расхода электрической энергии в день контрольных замеров.

Величина отпуска электрической энергии, кВт·ч, за месяц (прогноз) описывается линейной регрессией:

$$W_{omn} = 20,875 \cdot t - 51,23, \quad (1)$$

где t – интервал времени прогноза, для сентября 2022 года $t = 720$ ч.

Согласно выражению (1) отпуск электрической энергии в сеть составит:

$$W_{omn} = 20,875 \cdot 720 - 51,23 = 14978,77 \text{ кВт·ч.}$$

Относительная погрешность прогнозируемого значения потребления электрической энергии:

$$\delta = \frac{W_{omn} - W_{omn.факт}}{W_{omn.факт}} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

По данным прибора технического учета отпуск электрической энергии в рассматриваемую сеть за сентябрь 2022 года составил $W_{omn.факт} = 14456,104$ кВт·ч. В этом случае относительная ошибка прогноза составляет:

$$\delta = \frac{14978,770 - 14456,104}{14456,104} \cdot 100 = 3,62 \%.$$

Структура простейшей нейронной сети (персептрона) для среднесрочного прогноза потребления электрической энергии представлена на рисунке 3 [5]. Персептрон состоит из двух входов $X_1 = t$ и $X_2 = 1$, синапсов, имеющих веса w_1 и w_2 , нейрона в котором происходит суммирование входных величин с учетом их весового коэффициента и одного аксона (выход).

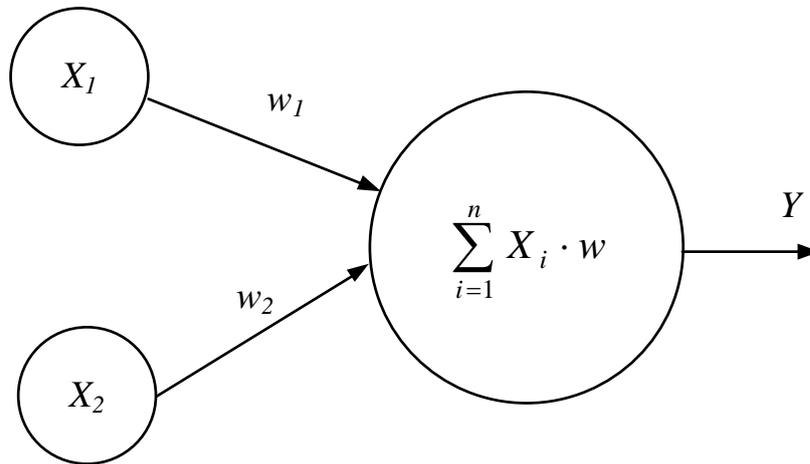


Рис. 3. Структура простейшей нейронной сети.

Обучение нейронной сети с учителем выполнялось на данных расхода электрической энергии в день контрольных замеров. Изменение весовых коэффициентов в процессе обучения и ошибки месячного прогноза потребления представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов нейронной сети и ошибки прогноза

Шаг обучения	w_1	w_2	$\delta, \%$
1	13,648	1,452	-32,013
2	13,436	1,665	-33,070
3	15,224	-0,123	-24,178
4	15,930	-0,829	-20,664
5	16,254	-1,153	-19,053
6	17,128	-2,027	-14,706
7	18,107	-3,007	-9,835
8	19,760	-4,660	-1,614
9	20,197	-5,096	0,558
10	20,675	-5,574	2,937

На девятом шаге обучения получено минимальное значение относительной погрешности прогнозируемого значения отпуска электрической энергии в рассматриваемую электрическую сеть. Оптимальные весовые коэффициенты обученной нейронной сети $w_1 = 20,197$ и $w_2 = -5,096$. В этом случае прогнозируемое значение отпуска составляет $W_{opt} = 14536,732$ кВт·ч.

В ходе обзора традиционных и нейросетевых методов прогнозирования электрической нагрузки показано, что применение нейронных сетей при точной настройке (обучении) дает более точный прогноз величины потребления электрической энергии, чем статистическое прогнозирование. Погрешность статистического прогноза при использовании линейной регрессии (тренда) на 3,06% больше прогноза нейронной сети. Для увеличения точности статистического прогноза используется полиномиальная регрессия. Применение нейронных сетей оправдано при долгосрочных и перспективных прогнозах, т.к. существует возможность учета множества факторов (погодные условия, время года, праздничные дни и др.), от которых зависит величина потребления электрической энергии. Однако формирование и обучение многоуровневых нейронных структур с большим количеством входов сложный и трудоемкий процесс, требующий больших объемов статистических данных. При оперативном и краткосрочном прогнозе целесообразней применять традиционные методы т.к. они менее трудоемки при сопоставимых результатах в случае применения полиномиальной регрессии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билалова А. И. Прогнозирование потребления электрической энергии электротехническим комплексом городской электрической сети: дисс. ... канд. техн. наук. – Самара, 2019. – 166 с.
2. Манусов В. З., Родыгина С. В. Нейронные сети: прогнозирование электрической нагрузки и потерь мощности в электрических сетях. От романтики к прагматике: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 303 с.
3. Полуянович Н. К., Дубяго М. Н., Азаров Н. В., Огреничев А. В. Нейросетевой метод в задачах прогнозирования электропотребления в электроэнергетической системе // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 1. – С. 114–118.
4. Распоряжение главы Республики Мордовия № 237-РГ от 30 апреля 2020 года «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Мордовия на 2021 – 2025 годы»: Кодекс: Электронный фонд правовой и

нормативно–технической документации: сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/570924817> (дата обращения: 03.11.2022).

5. Сергеев А. П., Тарасов Д. А. Введение в нейросетевое моделирование: учеб. пособие; под общ. ред. А. П. Сергеева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 128 с.

МИНЬКОВ Н. А., ПИЕГИН В. О.

АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. В статье проанализирована статистика пожаров транспортных средств на территории Российской Федерации и Республики Мордовия, распределение показателей обстановки с пожарами по видам автотранспортных средств. Приведены основные причины пожаров транспортных средств и их последствия.

Ключевые слова: пожар, статистика, автотранспортное средство, нормативные документы, пожарная безопасность, причины пожара, предотвращение пожара.

MINKOV N. A., PIEGIN V. O.

FIRE SAFETY ANALYSIS OF MOTOR VEHICLES

Abstract. The article analyzes the statistics of fires of vehicles on the territory of the Russian Federation and the Republic of Mordovia. The distribution of indicators of the situation with fires by type of vehicles is considered. The main causes of fires of vehicles and their consequences are studied.

Keywords: fire, statistics, main gas pipeline, compressor station, regulatory documents, fire safety, departmental fire protection, fire prevention.

В последние годы происходит рост автомобильного парка и повышение роли автотранспорта в экономике страны. Это обусловлено целым рядом причин, главными из которых является преимущество автотранспорта перед другими видами транспорта в оперативности доставки грузов непосредственно до потребителя, высокой мобильности автотранспорта, его возросшей грузоподъемностью, возможностью перевозки различных грузов, в том числе опасных, возросшей надёжностью автотранспорта. Применение автотранспорта для перевозки грузов не требует чёткого поминутного расписания движения и позволяет вносить коррективы при доставке грузов.

Кроме того, автотранспорт широко используется для перевозки людей как организовано в виде общественного транспорта, так и личными автомобилями.

В этих условиях повышаются требования к безопасности автотранспорта, в том числе и к его пожарной безопасности, которая является составляющей общей безопасности автомобилей.

Статистические данные по пожарам транспортных средств за 2017 – 2021 гг. приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1

Статистические данные по пожарам транспортных средств за 2017 – 2021 гг.

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Количество пожаров, ед.	17574	16410	17896	17063	17249
Прямой материальный ущерб, тыс. руб.	1955803	1738512	2109224	2460011	2125795
Погибло, чел.	130	96	108	120	114

Статистические данные показывают, что количество пожаров транспортных средств за 2017 – 2021 гг. находится в пределах 16,4 – 18 тыс. и изменяется в этих пределах разнонаправленно. Материальный ущерб при этом находится в интервале 11,2 – 14,21% от общего материального ущерба от пожаров и в последние три года превысил значение 3 млрд. руб. Ежегодно при пожарах транспортных средств гибнет 114 человек в год.

Статистика пожаров транспортных средств на территории Республики Мордовия (РМ) за 2017 – 2021 гг. приведена в таблице 2 [2].

Таблица 2

**Статистика пожаров транспортных средств
на территории Республики Мордовия за 2017 – 2021 гг.**

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Количество пожаров, ед.	86	112	78	95	84	93
Прямой материальный ущерб, тыс. руб,	15613	24541	15094	19722	17926	22714
Погибло/травмировано, чел.	2/3	0/4	0/2	1/0	1/3	0/2
Техники уничтожено/повреждено, ед.	12/115	24/127	14/146	30/109	8/110	11/132

Среднее количество пожаров транспортных средств на территории РМ за 2017 – 2022 гг. составило 91 пожар, в пожарах пострадали 18 человек (4 погибших и 14 травмированных). Пожарами за анализируемый период уничтожено 99 единиц техники, повреждено – 739 транспортных средств. Ежегодно за период 2017 – 2022 гг. от пожаров выводилось из строя 140 единиц техники, что в среднем составляет 1,5 единиц на один пожар.

Распределение показателей обстановки с пожарами, произошедшими в 2019 – 2021 гг. по видам автотранспортных средств, представлено в таблице 3 [1].

Анализируя данные таблицы 3, можно видеть, что среди пожаров транспортных средств основная доля приходится на пожары автотранспорта, равно как и количество

погибших. Среди автотранспорта наибольшее количество пожаров происходило в легковых автомобилях, наименьшее – в автобусах. Это можно объяснить не только различным количеством видов автотранспорта, но и более жесткими требованиями к техническому состоянию грузовых автомобилей и автобусов, а также проведением предрейсовых и послерейсовых медосмотров водителей данных транспортных средств.

Таблица 3

Распределение показателей обстановки с пожарами в 2019 – 2021 гг.

Вид транспортного средства	Количество пожаров, ед.			Количество погибших/пострадавших, чел.		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Грузовой автомобиль	2237	2191	2264	13/83	10/70	18/76
Легковой автомобиль	13613	12756	12814	81/226	89/195	82/196
Автобус	448	377	408	0/8	3/12	2/7

Основные причины пожаров транспортных средств в 2019 – 2021 гг. приведены в таблице 4 и показаны на рисунке 1 (2021 г.) [1].

Таблица 4

Основные причины пожаров транспортных средств

Причина пожара	Количество пожаров, ед.			Количество погибших/пострадавших, чел.		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Нарушение ПУиЭ ТС	10095	9664	11026	47/224	48/174	33/190
Поджог	3870	3595	2800	11/12	11/8	10/9
Неосторожное обращение с огнём	1849	1704	1422	27/47	39/53	38/44
Нарушение ПУиЭ ЭО	1032	1092	1113	4/20	4/16	8/11
Нарушение ППБ при проведении электросварочных работ	183	187	196	0/5	3/7	1/14
Самовозгорание веществ и материалов	91	101	112	0/1	1/2	0/1
Нарушение ППБ при проведении огневых работ	50	45	51	0/3	0/0	0/1

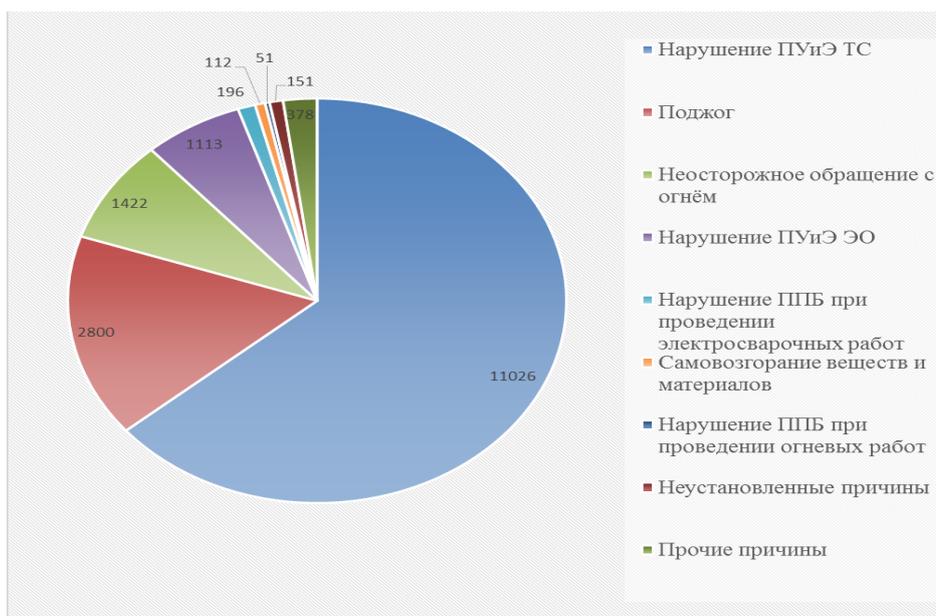


Рис. 1. Основные причины пожаров транспортных средств за 2021 г.

При анализе пожаров автотранспортных средств выявлено, что они происходят:

- в ремонтной зоне при проведении ремонта;
- на открытых и закрытых стоянках автомобилей;
- при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП).

За 2022 год на территории Республики Мордовия зарегистрировано 681 дорожно-транспортное происшествие. Для ликвидации последствий ДТП пожарно-спасательные подразделения региона привлекались 491 раз. Коэффициент реагирования на дорожно-транспортные происшествия за 2022 год составил 0,88. Практически в каждом пятом случае (93 раза) ДТП сопровождалось пожаром автотранспортных средств [2].

Основными нормативно-правовыми актами (НПА) в области пожарной безопасности автотранспортных средств являются:

- Федеральный закон ФЗ-69 «О пожарной безопасности»;
- Правила противопожарного режима в РФ;
- Свод правил СП 364.1311500.2018 Здания и сооружения для обслуживания автомобилей. Требования пожарной безопасности;
- Свод правил СП 506.1311500.2021 Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности;
- Правила дорожного движения (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения»).

Проведённый аналитический обзор позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшее количество пожаров на транспортных средствах приходится на автотранспорт;
- среди автотранспорта наибольшее количество пожаров приходится на легковые автомобили;
- количество пожаров транспортных средств в РФ за 2017 – 2021 гг. находится в пределах 16,4 – 18 тыс. и изменяется по годам разнонаправленно
- ежегодно при пожарах транспортных средств гибнет в среднем 114 человек в год;
- наибольшее количество пожаров транспортных средств произошло по причине нарушения правил устройства и эксплуатации транспортных средств;
- среднее количество пожаров транспортных средств на территории Республики Мордовия за 2017 – 2022 гг. составило 91 пожар в год;
- ежегодно за период 2017 – 2022 гг. от пожаров транспортных средств в РМ выводилось из строя 140 единиц техники, что в среднем составляет 1,5 единиц техники при одном пожаре;
- основными местами возникновения пожаров являются ремонтная зона, открытые и закрытые стоянки автомобилей, места ДТП с автомобилями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: Статист. сб. – Балашиха: ФГБУ ВНИИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.
2. Официальный сайт ГУ МЧС России по Республике Мордовия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://13.mchs.gov.ru/?ysclid=lda0wq3awg887012474> (дата обращения: 20.03.2023).

ГОЛОБОКОВ С. В., БРОСТИЛОВА Т. Ю., ЧУКАРЕВА М. М.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности использования технологического оборудования и кабелей на внутренних линиях солнечной электростанции. Представлены результаты моделирования с трансформаторами различной мощности. Даны рекомендации по повышению эффективности и увеличению загрузки линий электропередач.

Ключевые слова: солнечная электростанция, солнечная панель, инвертор, трансформатор, линии электропередач, потери мощности, расход меди.

GOLOBOKOV S. V., BROSTILOVA T. YU., CHUKAREVA M. M.

OPTIMIZATION OF POWER TRANSMISSION LINES

OF A SOLAR POWER PLANT

Abstract. The article discusses the issues of increasing the efficiency of the use of technological equipment and cables on the internal lines of a solar power plant. The results of modeling with transformers of various capacities are presented. Recommendations have been issued to improve efficiency and increase the load of power lines.

Keywords: solar power plant, solar panel, inverter, transformer, power lines, power loss, copper consumption.

Развитие технологии фотоэлектрических генераторов, которые также называют солнечными панелями, позволило существенно снизить их цену и сделало доступными для широкого применения. Другое направление – силовая электроника, начало выпускать тиристоры на высокое напряжение с токами отключения до 100 А. На основе тиристоров построены инверторные преобразователи, которые значительно расширили область применения солнечных панелей. Солнечная энергетика получила возможность подключения к распределительным сетям и стала частью промышленной энергетики [1].

Проектирование солнечной электростанции (СЭС) выполняется с целью максимального использования потенциала солнечного излучения в регионе. При этом решается ряд задач – построение главной схемы, схемы собственных нужд, проектирование преобразовательных и трансформаторных подстанций, конструктивное исполнение солнечных панелей, размещение оборудования на территории СЭС, схему выдачи мощности во внешние сети [2]. Решение отдельных задач должно быть взаимоувязанным, необходимо выполнить требования по надежности, безопасности и энергетической эффективности.

Одновременное выполнение всех требований невозможно, поэтому выбирается вариант проекта, при котором будет оптимальное сочетание капитальных вложений и эксплуатационных затрат. Основным критерием оптимизации при проектировании объектов электроэнергетики берутся минимизация приведенных затрат. Выбор силового оборудования и кабельной продукции необходимо провести с учетом экономических показателей – цены комплектующих и стоимости пусконаладочных работ. Главным критерием проекта будут выступать технико-экономические показатели, в том числе, себестоимость 1 МВт-ч произведенной электроэнергии.

Оптимизация параметров солнечной электростанции включает в выбор номинального напряжения, мощности технологического оборудования, схемы подключения и конструктивного исполнения линий электропередачи (ЛЭП), размещения на местности солнечных панелей, коммутационной аппаратуры, трансформаторных и преобразовательных подстанций.

Важная роль отводится проектированию ЛЭП, которые обеспечивают транзит мощности и оказывают влияние на показатели работы СЭС. На тепловых электростанциях генерирующее оборудование установлено в машинном зале и имеет несколько вариантов подключения. Протяженность ЛЭП не превышает сотен метров и их расчеты и строительство выполняются по классическим методикам. СЭС относится к распределенной генерации, солнечные панели размещаются на территории площадью в несколько сотен гектаров, протяженность ЛЭП достигает нескольких десятков км [1].

Разная длина ЛЭП от солнечных панелей до ТП приводит к разнице их полного сопротивления. При работе нескольких модулей за счет разного сопротивления ЛЭП их выдаваемая мощность будет отличаться. Большая протяженность увеличивает капитальные затраты на строительство СЭС. Разветвленная сеть на открытой местности подвержена внешним воздействиям, в распределительной сети в процессе эксплуатации возникают отказы, показатели надежности работы ЛЭП снижаются.

Задача повышения эффективности и оптимизации режимов работы СЭС является одной из главных как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. Характерной особенностью СЭС является зависимость выдаваемой мощности от погодных условий, географических особенностей, времени года и времени суток. На рисунке 1 представлены графики солнечной инсоляции для региона Поволжья в зависимости от погоды и времени года [3].

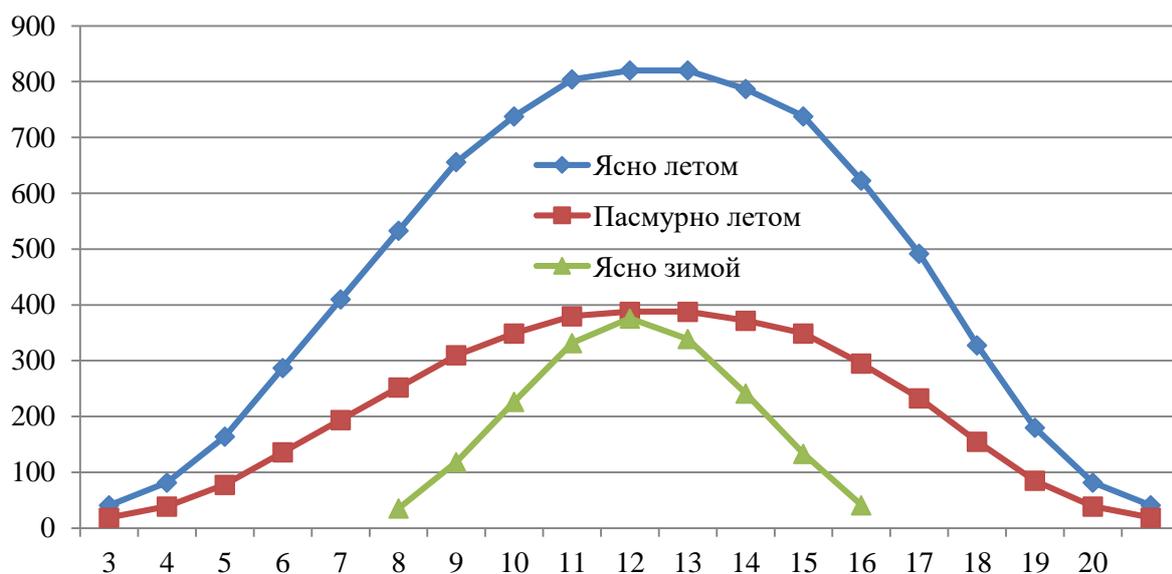


Рис. 1. Мощность солнечного излучения в Вт/м².

Максимальная мощность солнечного излучения наблюдается в полдень в апреле и мае месяце, для Поволжья она составляет 860 Вт/м². Зимой и в пасмурную погоду летом мощность падает наполовину. Во время дождя или снегопада СЭС мощность не выдает. Зимой световой день сокращается и время работы СЭС также уменьшается.

В качестве основного генерирующего оборудования принимаем солнечные панели «Silasolar-400vt» производства Китая с напряжением 44 В [4]. Солнечные панели группируют в модули. Внутри модуля солнечные панели включают в цепи последовательно, при этом повышается напряжение на выводах линейки. В цепь каждой линейки включен выравнивающий резистор сопротивлением 0,1 – 0,03 Ом. Падение напряжения на резисторах выравнивает токи в соседних линейках и обеспечивает равномерную загрузку.

Основными способами повышения надежности электроснабжения потребителей в распределительных сетях является секционирование, резервирование и ранжирование шин по вертикали. На СЭС большой мощности выполняют группировку солнечных панелей в модули и модулей на кластеры. Каждый кластер имеет трансформаторную подстанцию (ТП), к входам которой подключены несколько инверторов. Для снижения количества инверторных преобразователей их мощность повышается до значений, ограниченных максимальными токами тиристорных ключей.

При выборе схем соединения панелей необходимо задавать величину напряжения и отдаваемого тока на входных шинах ТП. При низком значении напряжения будут большие потери электрической мощности на внутри станционных линиях электропередач (ЛЭП). Для снижения тока в ЛЭП необходимо повысить напряжение транзита. С этой целью на трансформаторной подстанции установлен повышающий трансформатор 0,4/10 кВ (ТП). Применение серийных трансформаторов 0,4/10 кВ позволяет решить проблемы с поставками

комплектующих на этапе строительства и проблемы запасных частей в процессе эксплуатации.

При работе с высоким напряжением в режиме номинальной мощности токи падают, и потери снижаются. Для получения высокого напряжения в линейку включено большое число солнечных панелей. При отказе любой из них выходит из строя вся цепочка, мощность генерации падает. В итоге снижается надежность отдельных модулей СЭС.

Выбор напряжения, на котором ведется выдача мощности, выполняется по традиционным методикам. Номинальное напряжение зависит от мощности транзита и длины ЛЭП. Как правило, выдача мощности до 1 МВт ведется на напряжении 10 кВ, расстояние передачи - несколько километров [7]. Мощность транзита до 10 МВт ведется на напряжении 35 кВ, расстояние – десятки километров. Передача большей мощности на расстояние до 100 км требует напряжения 110 кВ. Выбор напряжения также определяется характеристиками силового оборудования, поставляемого производителями на рынок.

Исходными данными проекта СЭС будет установленная мощность энергоблока – 10 МВт, размещение в Европейской части нашей страны на широте 40 – 45 °СШ. Выдача мощности в магистральные сети напряжением 110 кВ. Для ГПП можно применить один трансформатор 10/110 кВ мощность 10 МВА или два трансформатора мощностью по 6,3 МВА.

Каждый модуль имеет свой инвертор, работа которого синхронизирована с шинами 110 кВ ГПП[5]. На выходе инвертора получаем переменный ток напряжением 0,4 кВ. В каждом кластере имеется одно-трансформаторная ТП 0,4/10 кВ. В зависимости от мощности трансформаторов в состав одного кластера будет включено разное число модулей.

В распределительных сетях стандартом предусмотрено действующее линейное напряжение 0,4 кВ. Для преобразования постоянного тока в переменный требуется получить напряжение на шинах постоянного тока, равное амплитуде фазного напряжения 364 В. Солнечные панели «Silasolar-400vt» работают с номинальным напряжением 44 В, максимальный ток составляет 10 А, напряжение холостого хода 48 В. В линейку включают 8 панелей, что обеспечивает напряжение на выводах 354 В. В одном модуле смонтировано 12 линеек, максимальный ток на выходе составляет 100 А.

Ночью СЭС не работает, утром и вечером мощность генерации солнечных панелей невысока. СЭС способна выдавать расчетную мощность только в течение 6-8 ч светового дня. На рисунке 2 представлены графики мощности солнечной панели для региона Поволжья.

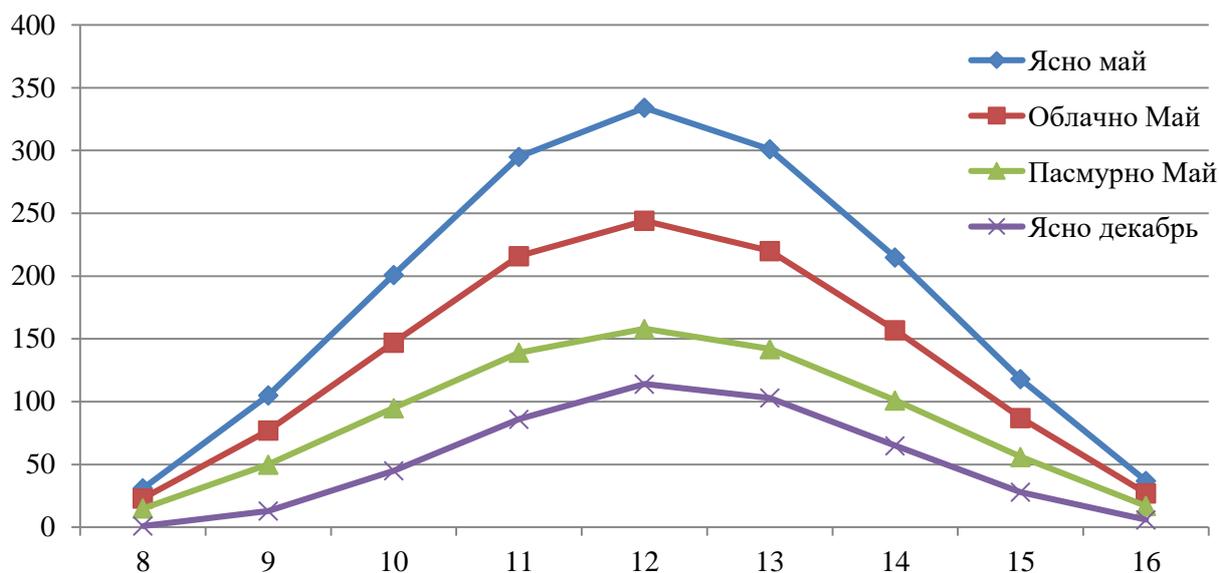


Рис. 2. Мощность солнечной панели в течение рабочей смены.

Выполним моделирование режимов работы модулей и ТП для разных климатических условий. По архивным данным ГисМетео получены значения солнечной инсоляции в мае 2020 г. На рисунке 3 представлен график времени работы (ч) в течение месяца солнечной панели с заданным током.

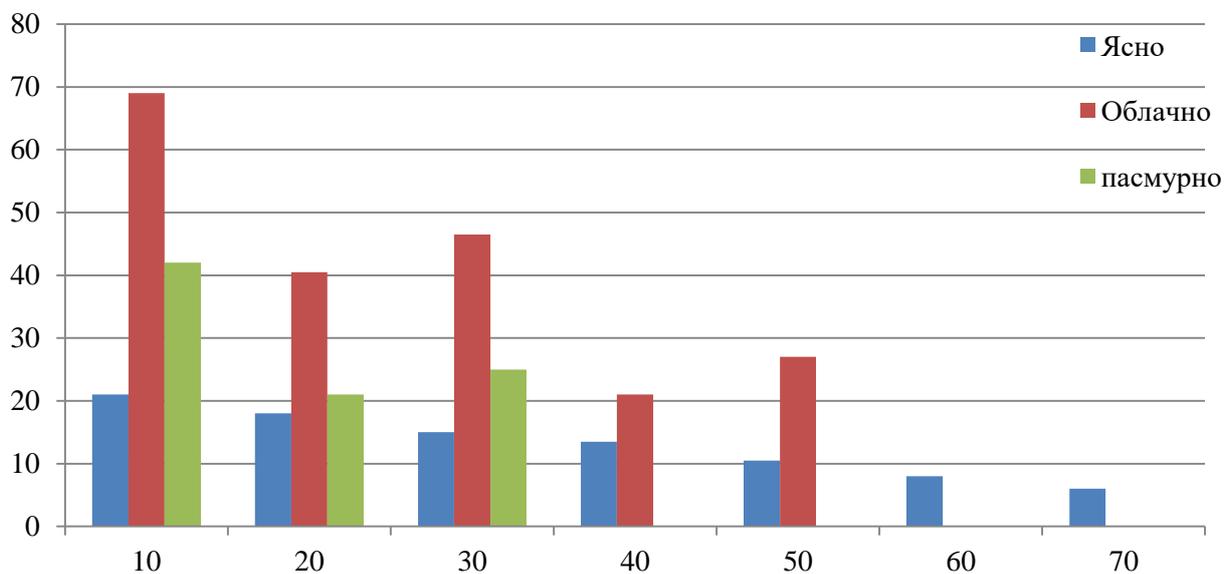


Рис. 3. Временные диаграммы работы СЭС.

При составлении главной схемы необходимо решить оптимизационную задачу выбора мощности и числа повышающих трансформаторов и преобразовательных подстанций. Передача мощности на генераторном напряжении ведется линиями постоянного тока. Величина тока достигает нескольких сотен ампер и сопровождается значительными потерями.

Для решения оптимизационной задачи выполнены расчеты на модели для четырех вариантов ТП мощностью 160, 240, 400 и 630 кВт. Выдача мощности одного модуля ведется на постоянном токе, при напряжении 360 В. Инвертор подключен к шинам постоянного тока. На один инвертор мощностью 80 кВт работают три модуля средней расчетной мощностью 26 кВт. Повышающий трансформатор подключен к общим шинам 0,4 кВ, на которые работают несколько инверторов. По территории СЭС транзит ведется кабельными линиями (КЛ) на напряжении 10 кВ. Результаты расчета мощности потерь и расхода кабелей на монтаж ЛЭП представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эксплуатационные показатели КЛ для разных вариантов ТП

№	Р _{тр} , кВт	U, кВ	I, А	L, км	R, Ом	Р _{пот} , кВт	N	Р _{сум} , кВт	Р _{отн} , %	Л _{сум} , км
1	160	0,36	80	0,18	0,053	0,34	6	259	39	69
2		0,4	231	0,74	0,054	2,89	2	358	54	91
3		10	9	0,4	7,8	0,67	62	41	6	24,8
						итого		658	7	185
1	240	0,36	80	0,32	0,062	0,40	9	440	44	118
2		0,4	347	0,46	0,034	4,09	3	491	50	55,2
3		10	14	0,28	7,6	1,46	40	59	6	11,2
						итого		989	10	185
1	400	0,36	80	0,45	0,053	0,34	15	652	47	173
2		0,4	578	0,34	0,016	5,35	5	668	48	42,5
3		10	23	0,17	5,7	3,05	25	76	5	4,25
						итого		1397	14	220
1	630	0,36	80	0,7	0,044	0,28	24	873	49	271
2		0,4	910	0,25	0,008	6,63	8	849	48	32
3		10	36	0,12	2,4	3,18	16	51	3	1,92
						итого		1773	18	305

Анализ данных таблицы 1 показывает, что при увеличении мощности ТП их число уменьшилось с 62 до 16. Для выдачи в ТП повышенной мощности растет число модулей и длина ЛЭП постоянного тока 360 В. При этом длина ЛЭП переменного тока 0,4 кВ в ЛЭП от инверторов к ТП незначительно снижается. А длина ЛЭП 10 кВ от ТП к ГПП снижается быстро. Общая длина кабелей, необходимых для монтажа распределительной сети СЭС увеличивается со 185 до 305 км, в основном за счет роста кабелей ШПТ.

При увеличении мощности ТП относительные потери в ЛЭП постоянного тока возрастают с 39 до 49%. Потери в ЛЭП 0,4 кВ снижаются с 54 до 48%. Потери в КЛ 10 кВ также снизились вдвое с 6 до 3%. Причем потери в КЛ 10 кВ незначительные, а потери в ЛЭП 360 В и в ЛЭП 0,4 кВ делятся примерно поровну. В ЛЭП низкого напряжения теряется 95% от общих потерь.

Дальнейшее наращивание мощности ТП нецелесообразно, поскольку приводит к увеличению тока и росту потерь. Снижение мощности ТП приводит к уменьшению тока в ЛЭП и снижению потерь электроэнергии на транзит. Но при этом резко растет число модулей, трансформаторов, ЛЭП, система усложняется и удорожается.

Для ТП мощностью 160 кВт суммарные потери составляют 658 кВт или 7% от выдаваемой мощности. Для ТП 240 кВт величина потерь равна 989 кВт или 10%. Самые большие потери в ЛЭП на входе ТП 400 и 630 кВт. В абсолютных величинах потери мощности на внутренних линиях составляют 1400 и 1770 кВт, выдаваемая СЭС мощность снижается на величину потерь. Для выполнения требований задания расчетную мощность СЭС придется увеличивать до 11,5 и 11,9 МВт. Потери мощности составляет 14 и 17%, превышают 10%, такой режим работы СЭС неэффективный. Потери мощности на внутренних ЛЭП СЭС при неблагоприятных погодных условиях снижаются, но все равно уменьшают полезную мощность.

Причиной высоких потерь является значительная длина ЛЭП, большой ток на низком напряжении и высокое сопротивление ЛЭП. Для подключения модуля к преобразовательной подстанции применяется кабель с медными жилами сечением 16 мм². Согласно данным таблицы 1.3.6 ПУЭ 7, длительно допустимый ток по условиям нагрева для такого кабеля при прокладке на воздухе составляет 105 А. Для снижения потерь мощности в ЛЭП подключения солнечных панелей к ТП 400 и 630 кВт применен кабель большего сечения 25 и 35 мм². Но замена кабеля приводит к увеличению показателя металлоемкости и значительному росту цены. Эффективность капвложений при этом снижается.

Пиковая мощность модуля и максимальный ток будет протекать в жилах кабеля только в полдень в весенние месяцы. С учетом суточного изменения солнечной радиации и случайного характера погодных условий в районе строительства СЭС, максимальная мощности генерации будет крайне редкой. Продолжительность пиковой генерации в средних широтах не превышает 2 часов. В остальное время мощность будет ниже.

Снижение солнечной радиации не позволяет повысить коэффициент загрузки трансформаторов и уменьшает объем выработки электроэнергии. Большую часть времени мощность СЭС меньше расчетной, технологическое оборудование и ЛЭП недогружены [6]. С целью повышения эффективности ЛЭП постоянного тока, которыми модули подключены к инвертору, предлагается выполнить кабелем уменьшенного сечения. Вместо кабеля 16 мм² можно применить кабели 10 или 8 мм².

На рисунке 4 показаны кривые тока в течение светового дня, протекающего в ЛЭП с разным сечением кабелей.

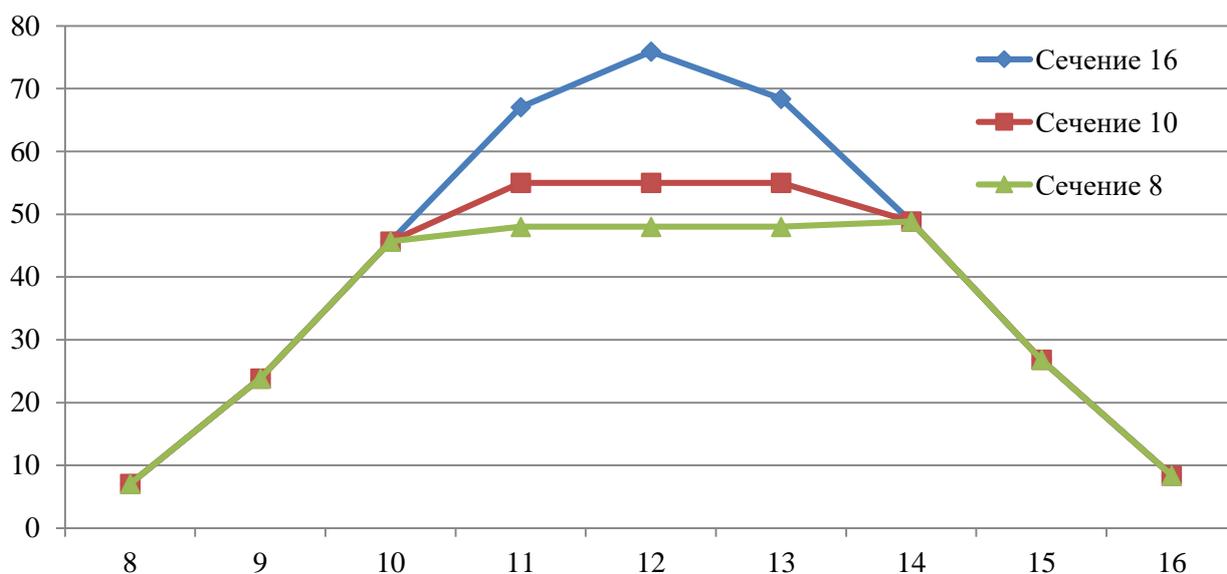


Рис. 4. Ограничение тока в ЛЭП уменьшенного сечения.

В соответствии с диаграммой на рисунке 3 время работы солнечных панелей с током 60 и 70 А составляет 8%. В эти периоды ток, отдаваемый модулем будет ограничен до 50 А. На суммарную выработку электроэнергии такое снижение тока почти не влияет. Относительное снижение составит менее 2% от месячной выработки, а при неблагоприятной погоде не сказывается совсем.

Ранжирование устанавливает последовательность отключения шин при аварийных ситуациях. Аварийное отключение одного участка или вывод его в плановый ремонт снижает максимальную мощность электростанции, но не останавливает ее работу. Поскольку нагрузка в энергосистеме постоянно изменяется и редко достигает максимума, такое ограничение мощности в большинстве случаев не влияет на электроснабжение большинства потребителей. Но снижение сечения кабелей с 16 до 10 или 8 мм² дает 60 или 100% снижение металлоемкости кабелей и стоимости проекта.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение СЭС в Поволжье для выработки электроэнергии в промышленных масштабах вызывает серьезные трудности неравномерной генерацией в течение месяца и малой мощностью в утренние и вечерние часы.

2. Резкое снижение мощности генерации и времени работы в зимнее время не позволяют использовать СЭС для покрытия нагрузок в энергосистеме в зимний период и делают ее эксплуатацию неэффективной.

3. Применение ТП мощности более 240 кВт в составе СЭС мощностью более 10 МВА приводит к росту потерь на внутренних линиях более 10%.

4. Применение ТП мощностью менее 240 кВт также приводит к снижению расхода кабелей в ЛЭП постоянного тока и переменного тока низкого напряжения. Но при этом возрастает длина кабелей 10 кВ.

5. Большую часть времени СЭС выдают мощность не более 30% от расчетной, при этом трансформаторы, инверторы и ЛЭП работают в режиме малых нагрузок. Силовое оборудование эксплуатируется неэффективно.

6. С учетом малого времени работы СЭС в режиме максимальной мощности рациональным решением будет замена кабеля 16 на кабели сечением жил 10 или 8 мм². На объем выдачи электроэнергии эта замена не повлияет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38, № 8. – С. 937–948.
2. Тимофеев М. Н., Тимофеев А. Н. Использование системного подхода для выбора структуры гибридной электростанции на примере Саратовской области // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7. – № 4(44). – С. 61-66.
3. Климат Пензы / Под ред. д-ра геогр. наук Ц. А. Швер, В. С. Никулиной, И. А. Поповой. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. – 180 с.
4. Каталог продукции фирмы «Silasolar» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-400vt-perc-5bb/> (дата обращения 12.11.2022).
5. Goryachev V., Golobokov S., Michaylov A. The Complex Optimization of the Solar Power Plant Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future» (EAF 2021) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dx.doi.org/10.2991/aer.k.220308.011> (дата обращения 12.11.2022).
6. Голобоков С. В., Каворин А. О., Чукарева М. М., Душутин К. А. Перспективы развития альтернативной энергетики в северных районах России // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы Международной научно-практической конференции, Саранск, 25–26 ноября 2020 года / Редколлегия: П. В. Сенин [и др.], сост. С. Е. Федоров, отв. за выпуск В. Ф. Купряшкин. – Саранск, 2020. – С. 203–211.
7. Агеев В. А., Голобоков С. В., Лебедев А. А. Повышение эффективности энергоснабжения малых муниципальных районов // Энергосбережение и

инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, Тюмень, 21–23 декабря 2020 года. –Том II. – Тюмень, 2020. – С. 165–167.

КОСТОМАХИН М. Н., ПЕТРИЩЕВ Н. А., САЯПИН А. С., ПЕСТРЯКОВ Е. В.
ПОВЫШЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В данной статье приводятся результаты анализа действующих нормативов для оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники, так же НТД, ГОСТ характеризующих уровень её контролепригодности и приспособленности к диагностированию. На примере КПП представлен проект возможного совершенствования средств диагностирования для снижения затрат при эксплуатации.

Ключевые слова: потребительские свойства, контроль технического состояния, затраты, жизненный цикл, датчик, диагностирование.

KOSTOMAKHIN M. N., PETRISHCHEV N. A., SAYAPIN A. S., PESTRYAKOV E. V.
INCREASING TESTABILITY AND IMPROVING DIAGNOSTIC TOOLS
OF AGRICULTURAL MACHINERY

Abstract. This article presents the results of the analysis of the current Russian standards for assessing consumer properties of agricultural machinery, characterizing the level of its testability and adaptability to diagnostics. Considering the change speed gearbox, a project is presented for a possible improvement in diagnostic tools to reduce operating costs.

Keywords: consumer properties, technical condition control, costs, life cycle, sensor, diagnostics.

Для эффективного использования сельскохозяйственной техники в условиях предприятий АПК необходимо осуществлять комплекс мероприятий по её техническому обслуживанию и ремонту с целью поддержания техники в исправном (работоспособном) состоянии. Приобретаемая сельскохозяйственная техника (товар) имеет определенные функциональные характеристики для обеспечения потребностей соблюдением оптимальных агросроков выполнения работ для получения экономического эффекта. Комплекс мероприятий осуществляется в виде услуги специализированными сервисными службами или самостоятельно владельцем техники. Технический сервис в сельском хозяйстве в данном случае является необходимым средством, позволяющим сохранять и восстанавливать, а при необходимости улучшать или даже при модернизации потребительские свойства техники.

В настоящее время Постановлением Правительства РФ №740 от 01.08.2016 г. утвержден перечень критериев определения функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники, на основании которых производятся оценка пользовательских свойств техники на МИС. При оценке

потребительских свойств сельскохозяйственной техники особое внимание уделяется наработке на отказ II и III групп, например, для колесных тракторов должна составлять не менее 400-500 моточасов, а для комбайнов кормоуборочных, зерноуборочных, наработка на отказ II группы составляет не менее 150 и 100 моточасов [1].

Особенностью эксплуатации сельскохозяйственной техники является логистическая удаленность от сервисных центров, поэтому для обеспечения высокого коэффициента готовности (Кг) на уровне 0,98, необходимо постоянное совершенствование продукта с точки зрения показателей надежности, то необходимо обеспечение потребительских свойств основного изделия и его комплектующих при гарантийном и после гарантийном периодах эксплуатации.

К сожалению, привязка данных по группам отказов к наработке только дизеля не всегда дает полного представления о потребительских свойствах, что требует разработки средств диагностирования для объективной оценки технического состояния отдельных систем и ресурсоопределяющих узлов.

Нарботка на отказ по группам в свою очередь является обобщенным показателем степени совершенствования безотказности конструкции, соблюдения правил эксплуатации и технического обслуживания, но в то же время показатели надежности значительно зависят от бизнес-решений, а также от показателя контролепригодности и приспособленности к диагностированию отдельных узлов и агрегатов [2; 3].

Для достижения цели повышения потребительских свойств эксплуатируемой техники, по нашему мнению, необходимо выявить резервы повышения ресурсосбережения и снижения стоимости владения МТП в АПК за счет повышения контролепригодности и совершенствования средств диагностирования.

Так как нарушение агросроков несет значительные риски снижения урожайности и повышения себестоимости получаемой продукции, что в свою очередь негативно сказывается на уровне получения прибыли сельскохозяйственных предприятий. Во многом нарушения агросроков происходят по причине отказов техники, а также затрат времени на их устранение. Соответственно, потребитель техники заинтересован в высоких потребительских свойствах как инструменте для получения прибыли предприятия. При этом уровень затрат на покрытие издержек на поддержание техники в работоспособном состоянии должен быть адекватен с точки зрения стоимости владения для выполнения бизнес-плана, для которого техника собственно и приобретается, основываясь на критерии выбора в виде технических характеристик и их сохранения в течении жизненного цикла (ЖЦ).

Для владельцев техники многие производители, основываясь на собственных данных разрабатывают методики стоимости владения, это позволяет дать представление

потенциальному потребителю продукта об уровне затрат с учетом номенклатуры выпускаемой техники, а также стоимости услуг фирменного технического сервиса в течении ЖЦ производимого продукта. Например, АО «Петербургский тракторный завод» приводит для сравнения (в ценах 2015 г.) следующее статьи затрат при эксплуатации трактора «Кировец» с аналогом иностранного производства (таблица 1) [4]. По прогнозам на 2023 год соотношение расходов на ремонт и техническое обслуживание может значительно измениться (в 1,5 -3,5 раза) из-за нарушения сроков поставок дилерам зарубежных компаний запасных частей.

Таблица 1

**Затраты при эксплуатации трактора «Кировец»
в сопоставлении с аналогом иностранного производства**

Параметры	Трактор производства США	«Кировец» К-744Р1
Расходы на ремонт, руб/моточас	752	245
Расходы на ТО, руб/моточас	131	52
Расходы на топливо, руб/моточас	1750	1995
Цена нового трактора, руб	14 260 000	5 451 600
Цена трактора на вторичном рынке, руб	5 300 000	2 200 000
Амортизация, руб/моточас	896	325
Общая стоимость владения (за 10000 моточасов), руб	35 290 000	26 170 000

Так как ресурсосбережение в АПК является обеспечение экономного использования топлива, энергии, трудовых ресурсов при производстве и при регламентированном использовании средств по назначению [5]. Критерием целесообразности реализации мероприятий по ресурсосбережению при технической эксплуатации машин является обеспечение минимальных удельных затрат на единицу продукции.

При анализе состояния вопроса выявлено, что в мировой практике при реализации высокотехнологичных проектов, при определении совокупной стоимости владения или стоимости жизненного цикла (ЖЦ) продукта используют методики расчёта ТСО (*total cost of ownership*) [6; 7]. Данные методики широко используют высокотехнологичные потребители для планирования и контроля затрат на приобретение, эксплуатацию и утилизацию. Так среди затрат на техническую эксплуатацию (ТЭ) в течении ЖЦ представлены затраты, которые, по нашему мнению, возможно оптимизировать за счет

повышения контролепригодности и внедрения современных средств диагностирования, информационных систем технического состояния (см. табл. 2).

Таблица 2

Затраты на техническую эксплуатацию

Наименование затрат	Определение затрат	Какие затраты возможно оптимизировать
Прямые	Затраты на приведение изделия в состояние готовности для применения по назначению и поддержание в этом состоянии от начала эксплуатации до ее прекращения, включающие в себя прямые затраты ТОиР	Часть затрат на ТО иР изделия, обусловленная оплатой труда персонала, занятого при выполнении ТО (ремонта)
		Часть затрат на ТО изделия, обусловленная ремонтом восстанавливаемых составных частей
		Затраты, связанные с транспортированием изделия при проведении работ по ТОиР изделия
		Затраты, осуществляемые при кратковременном и длительном хранении изделия, в т. ч. затраты на ТОиР при хранении
Косвенные	Затраты, осуществляемые на стадии эксплуатации, затраты на управленческий персонал, приобретение и ремонт оборудования и инструмента, поверку средств измерения, поддержание инфраструктуры	Затраты на постройку и закупку зданий и сооружений, стендов, необходимых для выполнения мероприятий ТЭ, осуществляемые до начала эксплуатации изделия
		Затраты на приобретение средств ТОиР, осуществляемые до начала эксплуатации изделия
		Затраты на подготовку инженерно-технического персонала
		Часть косвенных затрат на ТЭ, связанная с поддержанием инфраструктуры, ремонтом оборудования и инструмента, поверкой средств измерения

Получение информации при диагностировании техники после ремонта или при проведении регламентного ТО, проводимого согласно ГОСТ 20793-2009 по наработке (или по потребленному топливу), дают представление владельцу о соответствии потребительских свойств отдельных систем и продукта в целом со значительной задержкой, характеризующейся временем диагностирования или обнаружения в процессе эксплуатации. Что, в свою очередь, приводит к увеличению динамики распространения последствий отказа, увеличивает его группу и повышает затраты на устранение в моменты интенсивной эксплуатации техники, что может привести к увеличению затрат за счет наценки на срочность в два и более раз.

Таким образом, по нашему мнению, при определении потребительских свойств техники необходимо оценивать:

- варианты решений приспособленности к диагностированию (ПД) (по ГОСТ 26656-85) [3];
- наличие типовых элементов контроля (ТЭК) [8].

Так, переход с вариантов решения ПД с 6 до 2...1 или с ТЭК 1 до ТЭК 6...11 позволит получения диагностической информации, но исключить время на подготовку к диагностированию за счет использования измерительной системы с программным обеспечением и вычислительными устройствами. Для этого необходимо внести незначительные изменения в конструкцию узлов и агрегатов уже на стадии проектирования или модернизации, что может несколько повысить стоимость продукции, однако в течении ЖЦ затраты на оценку технического состояния значительно снизятся за счет снижения трудоемкости диагностирования (в т.ч. ресурсного) и снижению затрат на устранения последствий отказов. А при установке встроенных средств диагностирования, позволяющих передавать данные технического состояния через телеметрический терминал, трудоемкость диагностирования становится минимальной [9; 10].

Например, в коробке перемены передач (КПП) трактора К-701 безразборно контролируется только два параметра: давление в механизме переключения передач (МПП) и загрязненность фильтра. С применением разработанных в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ экспериментальных образцов счетчиков-индикаторов и установленных в КПП датчиков, возможно, дополнительно контролировать: количества включений передач, времени использования передач, время восстановления давления в МПП после переключения передачи, толщину пакета и буксование фрикционных дисков, состояния насоса и всасывающего фильтра, температурные режимы рабочей жидкости (РЖ) (рисунок 1).

Разработан прототип модернизированного поддона КПП с наклонным дном (рисунок 2), который позволяет дополнительно устанавливать: подогреватель рабочей жидкости; датчик аварийного уровня РЖ; датчик разряжения во всасывающей магистрали насоса (в качестве сигнализатора густого, холодной РЖ, а также загрязнения всасывающей сетки фильтра масляного насоса); БРС для подключения заправочной и фильтровальной станции; теплоизолирующий кожух.

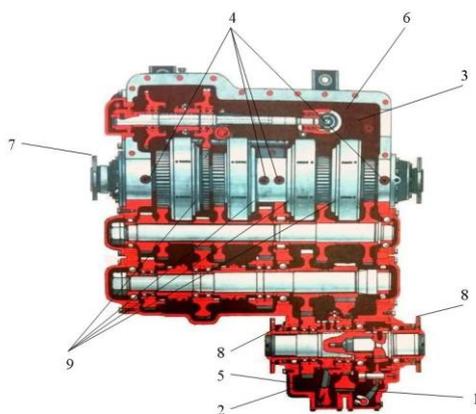


Рис. 1. Места установки датчиков счетчиков-индикаторов для оценки:

1 – уровня РЖ; 2, 3 – температуры РЖ; 4 – пульсации давления РЖ в насосе; 5 – загрязненности всасывающего фильтра; 6 – загрязненности сапуна; 7-8 – буксования фрикционных дисков; 8 – уровня буксования движителей; 9 – износа фрикционных дисков, герметичности МПП.

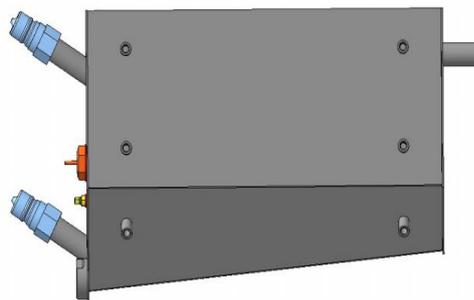


Рис. 2. Общий вид модернизированного поддона КПП трактора К-744.

По экспертным оценкам разрабатываемые предложения по повышению контролепригодности и приспособленности к диагностированию КПП позволят снизить прямые затраты на ТО и Р до 25-30%, косвенные затраты при до 30%. Таким образом, при оценке уровня потребительских свойств сельскохозяйственной техники необходимо, на наш взгляд, разработать комплекс технико-экономических и организационно-информационных мер для снижения затрат и издержек не только при производстве, но и при использовании техникой в течении ЖЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ №740 от 01.08.2016 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201608050025> (дата обращения: 10.01.2023).
2. ГОСТ Р 27.013-2019 Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 42 с.
3. ГОСТ 26656-85 Техническая диагностика. Контролепригодность. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2009. – 9 с.
4. Сравнение экономики эксплуатации трактора «Кировец» с аналогом иностранного производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kirovets-ptz.com/upload/company/Расчет%20окупаемости.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).
5. Черноиванов В. И., Халфин М. А., Халфин С. М. и др. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. – М.: ГОСНИТИ-ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – Ч.1, II. – 780 с.
6. Бушуев В. В. Совокупная стоимость владения – современный метод оценки экономической эффективности использования оборудования (на примере

- конвейерных лент) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19017408> (дата обращения: 10.01.2023).
7. ГОСТ Р 58302-2018 Управление стоимостью жизненного цикла. Номенклатура показателей для оценивания стоимости жизненного цикла изделия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 8 с.
 8. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
 9. Петрищев Н. А., Макаркин И. М., Саяпин А. С., Зуб Д. В., Свиридов А. С., Ивлева И. Б. Предложение по разработке проекта цифровой системы диагностирования КПП энергонасыщенных тракторов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2019. – № 11. – С. 45–53.
 10. Катаев Ю. В., Костомахин М. Н., Петрищев Н. А., Саяпин А. С., Молибоженко К. К. Повышение уровня технического обслуживания энергонасыщенной техники // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 4 (298). – С. 27–31.

ЕНИВАТОВ А. В., АРТЕМОВ И. И., МОЧАЛИН А. В.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ

ЦТП КОТЕЛЬНОЙ «ХИММАШ»

Аннотация. В статье представлен анализ факторов, оказывающих наибольшее влияние на удельный расход электрической энергии в ЦТП. Для снижения влияния факторов предложена тепловая схема системы управления температуры горячей воды и схема узла учета ГВС с дополнительным оборудованием. При реализации предлагаемых мероприятий удельный расход электрической энергии снизится более чем в два раза, удельный расход топлива снизится на 10-15 кг у.т./Гкал.

Ключевые слова: центральный тепловой пункт, гидравлический режим, регулятор расхода, характеристика насоса.

ENIVATOV A. V., ARTEMOV I. I., MOCHALIN A. V.

DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM FOR OPERATION MODES

OF THE HIMMASH BOILER HOUSE

Abstract. The article presents an analysis of the factors that have the greatest impact on the consumption of electricity by a boiler house. To reduce the impact, a thermal scheme of a hot water temperature control system and a scheme of a hot water metering unit with additional equipment are proposed. When implementing the proposed measures, the consumption of electricity will decrease by more than two times, the fuel consumption will decrease by 10-15 kg of cu/ Gcal.

Keywords: boiler house, hydraulic mode, flow regulator, pump characteristics.

Системы централизованного горячего водоснабжения оцениваются показателями эффективности [1] которые во многом зависят от группы и сочетания факторов. Их воздействие обуславливает многократный рост расчетного расхода греющего и нагреваемого теплоносителя и как следствие отклонения качественных параметров (температуры и давления) теплоносителей, отпускаемых в сеть и потребителю. Дополнительными факторами также можно также выделить: качество управления характеристиками (производительностью и напором) повысительной и циркуляционной насосных станций; способа обеспечения пиковой тепловой нагрузки системы ГВС отдельных потребителей.

Для повышения эффективности работы системы ГВС от ЦТП «Химмаш» путем совершенствования системы управления режимами необходима оценка данных показателей для условий горячего водоснабжения от ЦТП котельной «Химмаш». Потребителями «горячей воды» ЦТП являются 41 жилых и административно-бытовых здания с суммарной средне недельной нагрузкой 2,25631 Гкал/ч. Общая характеристика сети ГВС от ЦТП

«Химмаш»: общая протяженность сети ГВС в однотрубном исчислении составляет 7833 м; средний наружный диаметр трубопроводов по материальной характеристике – 0,074 м.; объем трубопроводов сетей ГВС – 32,40 м³.

Обзор тепловых схем и схем управления системой ГВС в ЦТП установил, что в ЦТП применяют одноступенчатые и двух ступенчатые, параллельные и последовательные соединения теплообменного оборудования по отношению к греющему и нагреваемому теплоносителю со схемой управления по температуре горячей воды системы ГВС отпущенного потребителю [1]. На ЦТП котельной «Химмаш» применяется двухступенчатая последовательная схема. Так же имеется возможность в разных условиях подключения и по одноступенчатой, и по двухступенчатой параллельной. Управление осуществляется оператором дистанционно с применением блока управления Siemens S7-1200, корректируя задание в блоке управления котла. В зависимости от времени суток устанавливается та или иная температура на котлоагрегате.

В соответствии с методикой, приведенной [1; 2; 4] выполнена оценка затрат электрической энергии для системы ГВС от ЦТП котельной «Химмаш»:

$$N = \frac{\Delta H_{\text{н}} \cdot V_{\text{н}} \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{367 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{э}}}, \quad (1)$$

где $\Delta H_{\text{н}}$ – развиваемый насосом напор, м; $V_{\text{н}}$ – расход воды при развиваемом напоре, м³/ч; ρ – плотность перекачиваемой воды, кг/м³; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса; $\eta_{\text{э}}$ – КПД электродвигателя.

Для повысительной насосной станции (при работе двух насосов) $V_{\text{н}} = 35,5 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_{\text{н}} = 34 \text{ м}$; $\eta_{\text{н}} = 0,55$.

$$N = \frac{34 \cdot 35,5 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,55 \cdot 0,98} = 5,95$$

Для циркуляционной насосной станции (при работе одного насоса) $V_{\text{н}} = 25,35 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_{\text{н}} = 35 \text{ м}$; $\eta_{\text{н}} = 0,10$.

$$N = \frac{35 \cdot 25,35 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,10 \cdot 0,98} = 24,05$$

Суммарный часовой расход электрической энергии насосными станциями составит 30 кВт*ч.

Фактический расход электрической энергии в условиях отсутствия автоматического регулирования и настроек системы может находиться в широком диапазоне. На основании данных графиков насосов в диапазоне их работы мощности могут составить от 20,97 кВт до 38,25 кВт. Расчеты представлены ниже.

Для повысительной насосной станции при $V_{\text{н}} = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_{\text{н}} = 35 \text{ м}$; $\eta_{\text{н}} = 0,25$.

$$N = \frac{35 \cdot 5 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,25 \cdot 0,98} = 1,898$$

при $V_H = 67 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_H = 28 \text{ м}$; $\eta_H = 0,58$.

$$N = \frac{28 \cdot 67 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,58 \cdot 0,98} = 8,77$$

Для циркуляционной насосной станции (при работе двух насосов) при $V_H = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_H = 35 \text{ м}$; $\eta_H = 0,1$.

$$N = \frac{35 \cdot 20 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,1 \cdot 0,98} = 18,98$$

при $V_H = 290 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta H_H = 30 \text{ м}$; $\eta_H = 0,80$.

$$N = \frac{30 \cdot 290 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,80 \cdot 0,98} = 29,48$$

При этом качество снабжения потребителей горячей водой в соответствии со санитарными нормами и правилами при разных режимах фактической работы следует оценить после выполнения гидравлического расчета.

Для обоснования актуальности работы в соответствии с техническими характеристиками оборудования выполнена оценка плановых и допустимых фактических затрат электрической энергии на транспорт горячей воды системы ГВС. Плановый суммарный часовой расход электрической энергии насосными станциями 30 кВт*ч. Фактический расход электрической энергии в условиях отсутствия автоматического регулирования и настроек системы может находиться в широком диапазоне от 20,97 кВт до 38,25 кВт.

На рисунке 1 представлена схема системы управления температуры горячей воды. Для стабилизации температуры горячей воды в греющий контур «котлоагрегат-теплообменные аппараты» предлагаем включение перемычку между подающим и обратным трубопроводом с регуляторов расхода (напора) по поддержанию постоянного перепада давления прямого действия. В качестве уравнивающей силы для данного регулятора использовать давление горячей воды отпущенного в систему ГВС. При возрастании потребления горячей воды давлений уменьшается, уменьшая пропускную способность перемычки между подающим и обратным трубопроводами контура.

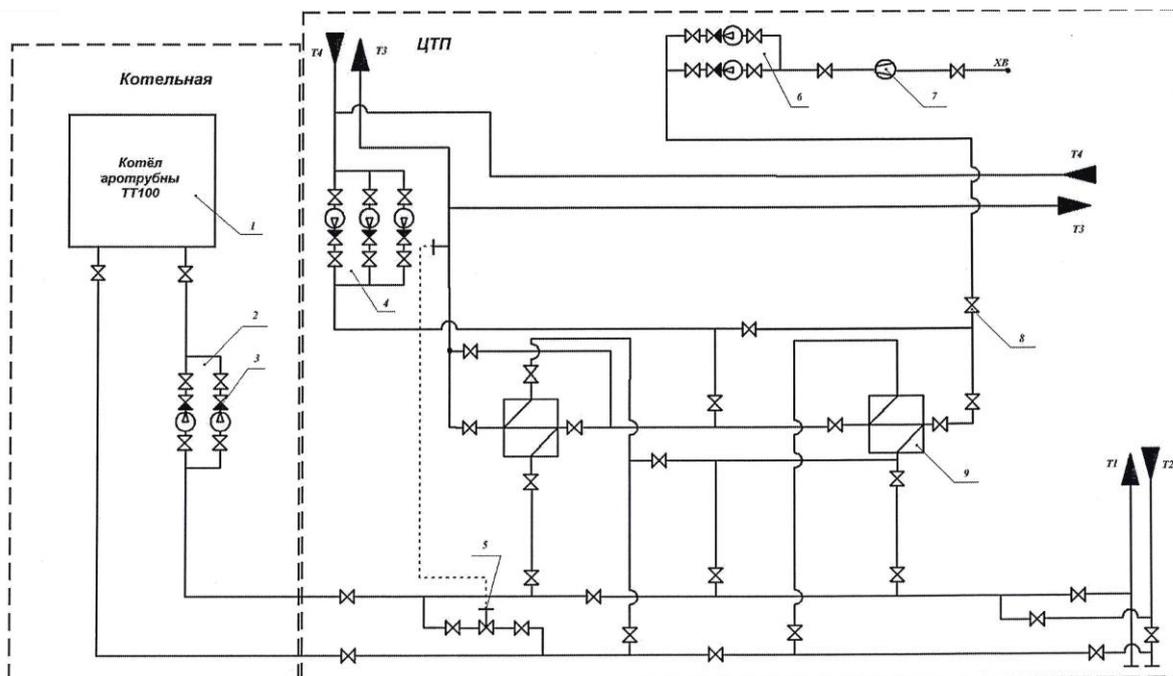


Рис. 1. Тепловая схема системой управления температуры горячей воды:

1 – котел жаротрубный ТТ-100; 2 – насос сетевой К160/30; 3 – обратный клапан; 4 – насос циркуляционный К290/30; 5 – регулятор давления, РР-НО-100(0,1-0,63); 6 – насос повысительный К65-50-160; 7 – электромагнитный преобразователь расхода; 8 – запорная арматура; 9 – теплообменник ВВП 16-325-4000.

Результаты гидравлического расчета работы системы ГВС от ЦТП «Химмаш»: суммарный расход горячей воды по подающим трубопроводам при максимальной тепловой нагрузке 50,542 м³/ч; удельные линейные потери давления вводных участков (за отдельным исключением в обратном трубопроводе) находятся в предельной допустимой зоне до 300 Па/м; удельные линейные потери давления магистральных участков (за отдельным исключением) при условии одновременной максимальной нагрузки находятся выше предельного значения; суммарное падение напора при выше приведенных условиях наиболее загруженной магистрали (ЦТП – жилого дома ул. Менделеева №10) по подающему трубопроводу 2,925 м, по обратному 2,127 м.

Для реализации разработанных режимов на рисунке 2 представлена схема узла учета ГВС с дополнительным оборудованием: оборудование для управления температурой теплоносителя отпущенного в сеть системы ГВС; оборудование в тепловых узлах потребителя (на подающем трубопроводе вводного участка сети системы ГВС); регулятор давления, РР-НО-259(0,4-1,0) а также установки циркуляционного насоса на перемычке [3; 5].

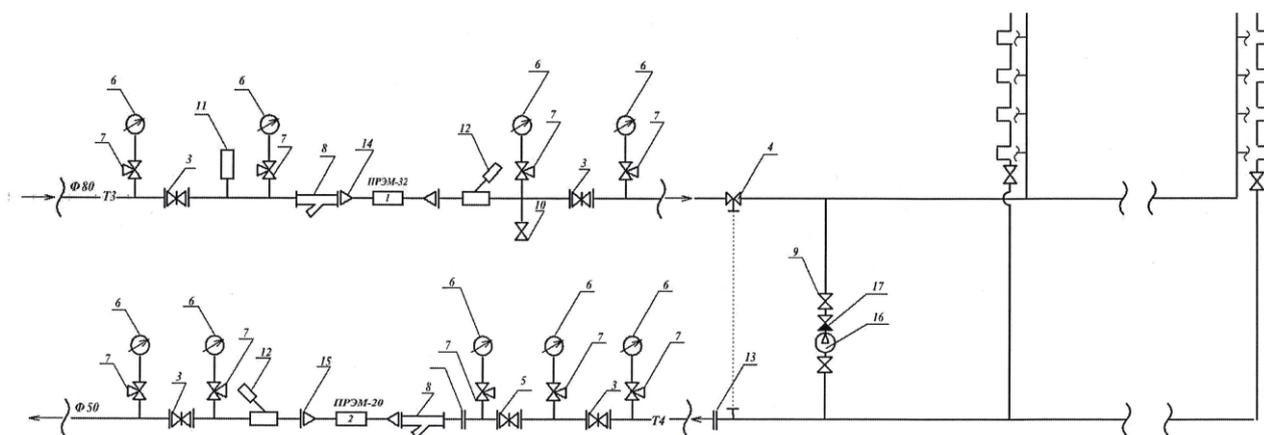


Рис. 2. Схема теплового узла системы ГВС жилого дома:

1-первичный преобразователь расхода Ду32; 2-первичный преобразователь расхода Ду20; 3-задвижка чугунная фланцевая Ду50; 4-регулятор давления Ду32; 5-обратный клапан Ду50; 6-монитор; 7-кран; 8-фильтр магнитно-механический Ду50; 9-кран шаровой Ду32; 10-кран спускной; 11-термометр; 12-15 фитинги; 16-насос циркуляционный DAB VA 35/180; 17-обратный клапан Ду32.

При реализации предлагаемых режимов мощности на приводах насосов будут следующие.

Для повысительной насосной станции (при работе двух насосов) при $V_H = 35,5 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta H_H = 34 \text{ м}; \eta_H = 0,55$.

$$N = \frac{34 \cdot 35,5 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,55 \cdot 0,98} = 5,95$$

Для циркуляционной насосной станции (при работе одного насоса) при $V_H = 21,059 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta H_H = 35 \text{ м}; \eta_H = 0,3$.

$$N = \frac{35 \cdot 21,059 \cdot 975 \cdot 10^{-3}}{367 \cdot 0,3 \cdot 0,98} = 6,66$$

В режиме максимального водозабора составляет 9,94 кВт*ч при потреблении горячей воды 35,5 м³/ч. Удельный расход электрической энергии составит 0,355 кВт*ч/м³. Более двукратное снижение.

Мероприятия не затрагивают оптимизации сети ГВС, снижение нормативных потерь тепловой энергии не произойдет. Однако ввиду оптимизации расчетных расходов по участкам снизится фактическая средняя температура теплоносителя в сети, связи с чем нормативные потери тепловой энергии при транспортировке горячей воды снизятся не менее чем на 10%, что составляет 180,7 Гкал/год. Снижения фактических тепловых потерь в распределительной сети ГВС жилых домов можно принять как часть завышенного значения удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии. Из производственных

показателей завышение удельного расхода топлива за летний период составляет 20-25 м³/Гкал, что составляет более 78,6 тыс. м³ газа в год.

При реализации предлагаемых мероприятий удельный расход электрической энергии снизится на более чем в два раза. Снизится удельный расход топлива за счет снижения фактических тепловых потерь в теплосети ГВС и распределительной сети ГВС объектов на 10-15 кг у.т./Гкал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ениватов А. В. Артемов И. Н., Девяткин Н. О. Совершенствование системы управления режимами работы централизованного горячего водоснабжения от центрального теплового пункта // Инженерный вестник Дона. – № 3. – 2021. – С. 241–253.
2. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Штин Е. Н., Ильинский Н. Ф. Оптимизация систем горячего водоснабжения зданий // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Пятнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Тез. докл. в 3-х т: Т. 2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 480 с.
4. МДК 4-05.2004 Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения». Утверждена заместителем председателя Госстроя России от 12.08.2003. – Москва, 2004. – 79 с.
5. Бычкова Е. В., Сарач Б. М., Штин Е. Н. Опыт использования регулируемого электропривода в системе горячего водоснабжения // Вестник МЭИ. – 2009. – № 1. – С. 183.

ПАСИН А. В., НАЗАРОВ М. С., ЯКИМОВ А. С., БУГРАЕВ М.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ**

Аннотация. В статье рассматриваются перспективные направления модернизации машинно-тракторного парка современного сельскохозяйственного комплекса. Исследуются возможности внедрения беспилотных летательных аппаратов в практику работы ООО «Агрофирма «Искра» Богородского района Нижегородской области.

Ключевые слова: модернизация машинно-тракторного парка, беспилотные летательные аппараты в сельском хозяйстве, оптимизация сельскохозяйственных процессов, новые технологии в сельском хозяйстве.

PASIN A. V., NAZAROV M. S., YAKIMOV A. S., BUGRAEV M.

**PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES
TO OPTIMIZE POTATO PRODUCTION PROCESSES**

Abstract. The article discusses the promising areas of modernization of the machine and tractor fleet of a modern agricultural complex and the possibility of introducing unmanned aerial vehicles into the practice of LLC Agrofirma «Iskra» of Bogorodsky district of the Nizhny Novgorod region.

Keywords: modernization of machine and tractor fleet, unmanned aerial vehicles in agriculture, optimization of agricultural processes, new technologies in agriculture.

В нашей предыдущей статье от 2021 года мы рассмотрели основные пути повышения эффективности использования машин при производстве картофеля за счёт адаптации к сезонным условиям работы [1] и пришли к выводу о трёх основных направлениях дальнейшей оптимизации использования машин в данном секторе АПК. В целом и в производстве картофеля в частности, можно выделить три основных направления: усовершенствование уже имеющихся машин и разработка оптимальных алгоритмов и режимов их работы; разработка комплексных механизмов и машин, сочетающих в себе сразу несколько взаимодополняющих функций; внедрение систем искусственного интеллекта в модули управления картофелепосадочных и картофелеуборочных машин.

В условиях изучения и дальнейшей оптимизации работы машинно-тракторного парка ООО «Агрофирма «Искра» Богородского района Нижегородской области» в качестве наиболее перспективных были выбраны первые два направления как наиболее экономически выгодные. Однако в предыдущем исследовании не был рассмотрен такой важный аспект, как повышение эффективности использования машинного парка при проведении мероприятий

по повышению плодородия почв и урожайности картофеля.

Пахотные угодья рассматриваемого хозяйства состоят преимущественно из светло-серой лесной легкосуглинистой освоенной почвы, для которой характерна существенная вариативность качественных характеристик даже в рамках одного пахотного участка. В этой ситуации классическая схема сплошного «равномерного» внесения удобрений не может быть названа оптимальной, ввиду усугубления дисбаланса биогенных элементов в пахотных почвах. Восстановлению данного баланса способствует использование приёмов «точного» (точечного) земледелия, когда удобрение почв осуществляется на основании специально разработанных картосхем, соответствующих фактической «пестроте» плодородия конкретного участка.

Напомним, что концепция «точного земледелия», появившаяся в конце прошлого века, основывается на идее осуществления управляющего воздействия в разных частях сельскохозяйственного поля, проведения дифференцированной обработки участков средствами защиты растений и локальных операций по улучшению почвы. Точное земледелие – одна из наиболее наукоёмких концепций ведения сельского хозяйства, требующая постоянного мониторинга новых разработок в сфере инновационного машиностроения и систем связи. С ним неотрывно связаны такие понятия как глобальные системы позиционирования (ГСП) и геоинформационные системы (ГИС), а используемая сельскохозяйственная техника предполагает наличие бортовых компьютеров, бортовых датчиков и автоматических устройств по учёту урожая. Это позволяет оперативно получать, накапливать и обрабатывать информацию о состоянии посевов или пашни.

Развитие систем спутниковой связи, широкое внедрение GSM-технологий и разработка отечественной системы ГЛОНАСС позволили оперативно получать информацию о состоянии полей, их урожайности и всхожести посевного материала. Это в свою очередь позволило создать достаточно подробные и многопараметровые картограммы посевных площадей, а также рассчитать и внедрить оптимальные маршруты для движения сельскохозяйственной техники в ходе решения актуальных сезонных задач: от допосевного внесения удобрений до уборки урожая и подкормки почв.

К примеру, использование возможностей GPS-навигации и системы ГЛОНАСС позволяет выстроить оптимальный маршрут для точечного внесения жидких удобрений при помощи ликвилайзеров. Однако использование ликвилайзеров применительно к производству картофеля имеет ряд особенностей. Данная техника может быть использована либо в допосевной период, либо после окончания уборки урожая и не может быть использована для химической защиты растений от вредителей. Использование

ликвилайзеров вписывается в идею создания многофункциональных машинных комплексов, предложенную А. Б. Калининим, И. З. Теплинским и Т. Ш. Теймуровым [2].

Большинство исследователей и аналитиков считают наиболее перспективным роботизацию сельского хозяйства и внедрение систем искусственного интеллекта в модули управления спецтехникой, что значительно облегчит работу при использовании метода координатного земледелия. На данном этапе развития технологий самообучаемого искусственного интеллекта появится возможность оперативного автоматизированного отслеживания множества разнообразных параметров: от положения машины в пространстве, до состояния почвы и необходимого объема удобрений [3]. Более подробную информацию о цифровой составляющей современного АПК в России можно найти в статье В. Е. Торикова, В. А. Погоньшева, Д. А. Погоньшевой и Г. Е. Дорных «Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства» [4].

Как отмечалось выше, точное земледелие ориентируется на использование новейших достижений науки и техники и потому в настоящее время активно изучаются возможности и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в отраслях сельского хозяйства.

Сама идея использования средств малой авиации не нова. Подобные способы внесения удобрений и средств защиты посевов от вредителей использовались с середины XX века. Но при очевидном удобстве и возможности обработки максимальных площадей за минимальное время, этот способ имеет и ряд недостатков:

- высокая стоимость аренды и/или технического обслуживания техники;
- значительный расход воды и невозможность локального внесения удобрений;
- низкий уровень проникновения препаратов из-за большой высоты распыления;
- риск потери до 6% посевных площадей из-за следов от опрыскивания.

Устранить большую часть этих недостатков позволяет использование беспилотных авиационных средств, или беспилотных летательных аппаратов.

Необходимо отметить, что под беспилотными летательными аппаратами подразумеваются в первую очередь аппараты вертолётного типа, называемые также дронами или квадрокоптерами. Вслед за Д. А. Хабариной и Т. А. Тишаниновым можно выделить следующие направления для использования подобной техники в сельском хозяйстве:

- оценка качества посевов и выявление факта повреждения или гибели культур;
- определение дефектов посева и проблемных участков;
- анализ эффективности мероприятий, направленных на защиту растений;
- мониторинг соответствия структуры и планов севооборота;

- выявление отклонений и нарушений, допущенных в процессе агротехнических работ;
- анализ рельефа и создание карты вегетационных индексов PVI, NDVI;
- сбор информации для службы безопасности, в том числе с выявлением факта незаконного выпаса скота на полях;
- сопровождение строительства систем мелиорации;
- выполнение отдельных сельскохозяйственных технологических операций (опрыскивание, досаживание отдельных культур, аэрофото- и телесъёмка, лазерное сканирование) [5].

Рассмотрим перспективы некоторых из этих направлений. Выше уже упоминалось о возможности использования спутниковых снимков для мониторинга плодородия почв. Однако эта технология не всегда удобна. Она позволяет оценить состояние поля в целом, но требует больших затрат времени специалистов на детальное изучение снимков, качество которых не всегда бывает удовлетворительным. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с соответствующим оборудованием и возможностью оперативной передачи информации на компьютер, позволяет быстро получить качественные видео- и фотоматериалы, а также подробные координаты местонахождения отдельных участков или даже растений. Использование данных, полученных от БПЛА, совместно с программным обеспечением на основе искусственного интеллекта при наличии значительной базы верифицированных изображений позволит оперативно определять не только необходимость внесения конкретных удобрений, но и распознавать тип вредителя или болезнь, поразивших конкретное растение. ПО с подобным функционалом, позволяющее оперативно получать достоверную информацию о видовой принадлежности руд и минералов, а также о наличии меланомы у пациентов в настоящее время тестируется в лабораториях Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Приволжского исследовательского медицинского университета соответственно. Мы полагаем, что соответствующие разработки могут быть внедрены и в секторах агропромышленного комплекса.

Кроме того, широкое внедрение робототехники при определённых условиях позволит БПЛА осуществлять забор образцов грунта по заданным координатам для проведения почвоведческих исследований. Это позволит оптимизировать работу специалистов-агробиологов и снизить временные затраты на непосредственное посещение ими экспериментальных и контрольных участков. А, например, оснащение БПЛА оптическими датчиками наличия сорных растений, разработанными А. В. Калачевым, М. Е. Пелиховым, А. И. Новиченко, А. М. Лещевым [6], позволит оперативно бороться с сорняками.

Важным, на наш взгляд направлением использования БПЛА является возможность точечного внесения удобрений и опрыскивание растений. В отличие от привычной тракторной техники использование БПЛА оказывается экономически более выгодным. Подобные аппараты менее зависимы от погодных условий и влажности почв. Благодаря конструктивным особенностям они позволяют сократить потери распыляемого материала и уменьшить объём используемых средств. Увеличивается скорость обработки поля, ввиду манёвренности БПЛА и более высокой скорости и уменьшаются расходы на углеводородное топливо, а вместе с ними и экологический след.

Использование БПЛА существенно сокращает время обработки полей, а соответственно и количество рабочих часов для оператора и его помощника. Так, А. А. Эфендиева и О. З. Загазежева в своей статье «Перспективы использования беспилотных устройств в решении прикладных задач сельскохозяйственной отрасли» дают сравнительную оценку стоимости использования традиционных сельскохозяйственных машин и БПЛА [7], а основные аспекты базовой методологии использования подобной техники для внесения удобрений и защитных средств описаны в статье коллег из Аэрокосмического института Оренбургского Государственного университета «Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур» [8]. Более эффективному расходованию средств защиты растений при использовании БПЛА может способствовать и разработка устройства для ультрамалообъёмного опрыскивания сельскохозяйственных растений, выполненная в 2020 году сотрудниками Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии Н. Н. Бережновым и С. Н. Быковым [9], позволяющего проводить точечную обработку малоразмерных объектов.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование БПЛА позволяет оптимизировать затраты на производство сельскохозяйственной продукции и сократить временные затраты на отдельные операции. Всё перечисленное выше справедливо как для зерновых культур, так и для производства картофеля.

В настоящее время технопарк ООО «Агрофирма «Искра» Богородского района Нижегородской области не располагает БПЛА. Однако это не отменяет возможности проведения практикоориентированных исследований на экспериментальном участке с использованием арендованных БПЛА вертолётного типа в агросезонах 2023-2024 годов. На основании результатов данных исследований будут даны рекомендации по дальнейшей модернизации технопарка рассматриваемого хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров М. С., Пасин А. В. Повышение эффективности использования машин при производстве картофеля за счёт адаптации к сезонным условиям работы // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова. – Рязань: РГАТУ, 2021. – Часть I. – С. 198–203.
2. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Теймуров Т. Ш. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля // Известия СПбГАУ. – 2021. – № 1 (62). – С. 178–190.
3. Зыков А. В., Юнин В. А., Захаров А. М. Использование робототехнических средств в АПК // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 3 (81). – С. 8–11.
4. Торигов В. Е., Погоньшев В. А., Погоньшев Д. А., Дорных Г. Е. Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 9. – С. 6–13.
5. Хабарина Д. С., Тишанинов Т. А. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа в сельском хозяйстве // Наука без границ. – 2021. – № 4. – С. 78–83.
6. Калачев А. В., Пелихов М. Е., Новиченко А. И., Лещев А. М. Разработка оптического датчика наличия сорных растений // Природообустройство. – 2018. – № 5. – С. 114–118.
7. Эфендиева А. А., Загазежева О. З. Перспективы использования беспилотных устройств в решении прикладных задач сельскохозяйственной отрасли // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2019. – № 4. – С. 54–59.
8. Кудрявцев Д. В., Магдин А. Г., Горбунов А. А., Нестеренко Р. А., Жанзакова Д. К. Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 2. – С. 37–43.
9. Бережнов Н. Н., Быков С. Н. Устройство для ультрамалообъёмного опрыскивания сельскохозяйственных растений с использованием беспилотных авиационных средств вертолётного типа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 12. – С. 126–130.

НУЯНЗИН Е. А., АВДЮШКИН Н. С.

**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КАФЕДР И ЛАБОРАТОРИЙ ИНСТИТУТА
МЕХАНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ**

Аннотация. В данной статье представлена информация о ключевых моментах в развитии института механики и энергетики. Описываются достижения в образовательной, научной и внеучебной деятельности. Представлены описания научных школ, сформированных за время работы института, их вклад в развитие региона и страны в целом, основные пути дальнейшего развития.

Ключевые слова: кафедра, энергосбережение, новые технологии, научная школа, образование, безопасная среда.

NUYANZIN E. A., AVDYUSHKIN N. S.

**DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT OF DEPARTMENTS AND LABORATORIES OF
THE INSTITUTE OF MECHANICS AND POWER ENGINEERING:
HISTORY AND CURRENT STATE**

Abstract. This article provides information about the key moments in the development of the Institute of Mechanics and Power Engineering. Achievements in educational, scientific and extracurricular activities are described. Descriptions of scientific schools formed during the work of the institute, their contribution to the development of the region and the country, the main ways for further development are presented.

Keywords: chair, energy saving, new technologies, scientific school, education, safe environment.

В сентябре 2022 года институт механики и энергетики отметил свой юбилей – 60 лет. С момента первого выпуска инженеров-механиков в 1962 году ряды специалистов пополнили свыше 15000 высококвалифицированных специалистов. Среди них – руководители сельскохозяйственных и промышленных предприятий, крупные ученые и общественные деятели, работающие во всех регионах Российской Федерации и за рубежом. На сегодняшний день институт является учебным и научным центром, обеспечивающим фундаментальную университетскую подготовку кадров агроинженерного и энергетического профилей, специалистов в области техносферной безопасности в рамках очной и заочной форм обучения. Подготовку специалистов осуществляют 6 кафедр Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва.

Кафедра безопасности жизнедеятельности формирует компетенции в сфере обеспечения безопасности человека в современном мире, формирования комфортной для

жизни и деятельности человека, минимизации техногенного воздействия на природную и техногенную среду.

Кафедра является общеузовской и осуществляет обучение на всех основных профессиональных образовательных программах Университета. Закрепленная за кафедрой дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» преподается на более 70 направлениях подготовки бакалавриата и специалитета. На рис. 1 представлен учебный процесс в лаборатории безопасности жизнедеятельности со студентами направления подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность.



Рис. 1. В лаборатории безопасности жизнедеятельности.

Основные направления научных исследований кафедры: повышение безопасности и эффективности системы «человек-среда»; исследование и разработка методов и средств обеспечения комплексной безопасности объектов защиты»; разработка автономных систем обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях нового поколения; внедрение методов и средств обеспечения безопасных условий труда. Выпускники кафедры БЖД востребованы на рынке труда Республики Мордовия и за ее пределами. Многие студенты трудоустраиваются после 3-го курса обучения, успешно сочетая учебу и работу в структурах Главного Управления МЧС России по Республике Мордовия, на ведущих предприятиях региона.

Кафедра механизации переработки сельскохозяйственной продукции формирует компетенции в области техники и технологий животноводства, технологического оборудования для хранения и первичной переработки, процессов и аппаратов перерабатывающих производств, проектирования, монтажа и эксплуатации технологического оборудования перерабатывающих производств, методов и технических средств для контроля качества технологических процессов переработки с./х. продукции и др.

На рисунке 2 представлен учебный процесс в лаборатории баромембранных технологий со студентами направления 35.03.06 Агроинженерия.



Рис. 2. В лаборатории баромембранных процессов.

Основные направления научных исследований кафедры: повышение эффективности технологий переработки сырья и материалов; исследование свойств пищевых сред и с./х. продукции, полимерных материалов; разработка и внедрение баромембранных технологий, энергоэффективных процессов измельчения материалов, экструзионных, литьевых и компрессионных технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции, пищевых сред, комбикормов и композиционных материалов, в том числе с наноразмерными частицами и др. На рисунке 3 представлены разработки кафедры в области получения биоразлагаемых материалов на основе отходов сельскохозяйственного производства.



а

б

Рис. 3. Биоразлагаемая пленка

- (а), полученная методом плоскощелевой экструзии, упрочненная методом вытяжки вдоль направления экструзии и гранулят
(б) пятикомпонентной композиции, наполненной свекловичным жомом дисперсностью менее 350 мкм.

В связи реализацией мероприятий дорожной карты стратегического проекта «Материалы нового поколения и энергосбережение» программы развития ПРИОРИТЕТ 2030 исследования, проводимые на кафедре, планируются в области создания новых полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками для сельскохозяйственного, пищевого и транспортного машиностроения.

Кафедра мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина организована в институте механики энергетики 2 июня 2017 года на базе кафедры мобильных энергетических средств и кафедры сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина. С 1 сентября 2022 года в ее состав вошла кафедра основ конструирования механизмов и машин.

История сегодняшней кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина базируется на историях входящих в ее состав отдельных кафедр и представляет собой неразрывную связь с становлением и развитием как самих кафедр, так и в целом института механики и энергетики.

Кафедра кафедр мобильных энергетических средств. История кафедры начинается с 1960 года, когда на сельскохозяйственном факультете университета в качестве отдельного структурного подразделения была создана кафедра тракторов и автомобилей.

С 1960 по 1973 год кафедрой руководил кандидат технических наук доцент В.И. Белов. С 1973 по 1983 годы кафедрой возглавлял кандидат технических наук доцент Б.И. Гусев.

В 1977 году кафедра предложила новые формы прохождения производственной практики студентов в составе студенческих механизированных отрядов. Организатором и руководителем первого отряда был кандидат технических наук А.М. Карпов.

С 1983 года при кафедре функционирует аспирантура, вначале по специальности 05.20.03 «Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники», в настоящее время – по специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

В 1983-1988 годах кафедрой руководил кандидат технических наук доцент А.М. Карпов.

В 1986 году кафедра была перебазирована в п. Ялга на новые производственные площади корпуса № 15. В этот период существенно укрепилась материально-техническая база кафедры.

В 1988-1999 годы кафедрой возглавлял кандидат технических наук доцент Б.И. Гусев. За этот период совместно с кафедрой ЭМТП Ленинградского СХИ было подготовлено 6 кандидатов наук.

В 1999-2017 годы кафедрой руководил доктор технических наук профессор А.П. Иншаков. В этот период активно проводилась работа по методическому оснащению дисциплин и научно-исследовательская работа в сфере повышения эффективности использования мобильных энергетических средств в сельскохозяйственном производстве. Так в 2005-2006 годах с ЗАО ПТЗ (г. Санкт-Петербург) проводилась работа по освоению и сервисному обслуживанию тракторов «Кировец» К-3180 АТМ в Республике Мордовия. Совместно с ГУП РМ «Развитие села», ЗАО «Агротехмаш» и ЗАО ПТЗ был создан центр по переподготовке кадров для работы на тракторах типа «Кировец». В 2008 году при кафедре создан научно-консультационный центр по проблемам механизации АПК, получена лицензия на оказание научно-технических услуг по подготовке и переподготовке технических кадров. В 2007-2008 годах на основании договора о сотрудничестве с ВИМ кафедра участвовала в разработке стандарта моторного топлива на основе рапсового масла. В 2008 году на площадях кафедры был создан передвижной пункт государственного технического осмотра автомобилей. За этот период под руководством А.П. Иншакова было подготовлено 6 кандидатов наук.

В начале 60-х гг., в Мордовском университете в структуре сельскохозяйственного факультета подготовку студентов по специальности «Механизация сельского хозяйства» осуществляли преподаватели кафедры механизации и электрификации сельского хозяйства, на базе которой 27 июня 1961 года была организована кафедра сельскохозяйственных машин. С этого времени стала создаваться материальная и учебно-методическая база специальности «Механизация сельского хозяйства». На кафедре читались курсы по общетехническим и специальным дисциплинам для студентов сельскохозяйственного факультета. Среди первых преподавателей были Д.С. Пилипко, А.Н. Анашкин, В.Н. Макаров, Н.Н. Орлов.

По мере становления и развития факультета кафедра сельскохозяйственных машин стала базой формирования новых кафедр. В 1975 году из нее выделилась кафедра механизации и автоматизации животноводческих комплексов. В 1986 году была организована кафедра механизации животноводства, а в 1993 году – кафедра механизации переработки продукции растениеводства, которая в течение 5 лет являлась основной методической базой становления новой специальности «Механизация переработки сельскохозяйственной продукции». Далее кафедра была преобразована в кафедру сельскохозяйственных машин и производственного обучения. Последняя реорганизация ее

была проведена в 1999 году, когда она получила первоначальное название кафедра сельскохозяйственных машин.

Первым заведующим кафедрой, а впоследствии и деканом факультета механизации сельского хозяйства, был доцент Д.С. Пилипко, внесший неоценимый вклад в становление инженерного сельскохозяйственного образования Мордовии. Заведующими кафедрой после Д.С. Пилипко были доцент Д.С. Икомасов (1972-1977), профессор А.И. Лещанкин (1977-1997), с именем которого связано формирование существующей материально-технической базы кафедры.

В разное время, кроме вышеперечисленных руководителей, на кафедре работали доценты: В.Н. Макаров, Н.Н. Орлов, Г.И. Ламкин, В.П. Голованов, Н.С. Колесников, П.И. Сыроежкин, Г.Д. Статейко, Н.С. Колесников, Н.П. Чикунов, преподаватели: В.П. Шмыров, А.И. Тюрин, А.Ю. Фомин, инженеры: В.А. Данильчев, С.М. Вдовин, непосредственно принимавшие участие в формировании ее материальной и методической базы. Сотрудники кафедры выдвигались на руководящие посты в университете. Одним из первых проректоров по науке в Мордовском университете был доцент В.Н. Макаров. Более 12 лет проректором по вечернему и заочному образованию, а затем и по учебной работе был профессор А.И. Лещанкин. Кандидат экономических наук, доцент С.М. Вдовин являлся ректором Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва в период с 2010 г. по 2021 г.

В 1997-2017 годы кафедрой руководил доктор технических наук профессор М.Н. Чаткин. В этот период под его руководством на кафедре активно проводилась научно-исследовательская работа по теме «Совершенствование и оптимизация параметров рабочих органов и механизмов мобильных и стационарных машин». Сотрудники кафедры совместно со специалистами машиностроительных предприятий Республики Мордовия принимали активное участие в разработке и налаживании производства следующих сельскохозяйственных машин: плуги универсальные навесные ПУН-5-40 и ПУН-8-40 (ОАО «САРЭКС»); культиватор тяжелый стерневой КТС-10-02 (ОАО «САРЭКС»); глубокорыхлитель навесной ГН-2,5 (ОАО «МордовАгроМаш»); машина для внесения удобрений МВУ-1200 (ОАО «МордовАгроМаш»); зерновые сеялки СУБМ-3,5 и СЗУ-6 (ОАО «МордовАгроМаш»); комбинированный навесной агрегат КНА-7,2 (ФГУП «Саранский механический за-вод»); борона дисковая сверхтяжелая БДСТ-6 (ОАО «МордовАгроМаш»). За этот период под руководством Чаткина М.Н. было подготовлено 4 кандидата наук.

На рисунке 4 представлен учебный процесс в лабораториях кафедры со студентами направления 35.03.06 Агроинженерия.



а



б

Рис.4. Занятия в лабораториях фирменного брендируемого класса «Ростсельмаш» (а) и фирменного брендируемого класса «Пегас Агро» (б).

На кафедре успешно реализуется подготовка трактористов-машинистов различных категорий. На рисунке 5 представлены практические занятия по вождению курсантов 2022 года. Для этого при кафедре был создан учебный центр подготовки и переподготовки специалистов. В настоящее время осуществляется подготовка трактористов-машинистов по следующим категориям: В, С, D, F. Кроме этого у слушателей имеется возможность пройти подготовку водителя погрузчика и машиниста экскаватора.



Рис. 5. Итоговый экзамен по практическому курсу подготовки трактористов-машинистов.

Особое внимание кафедра уделяет студенческому олимпиадному движению. Бакалавры и магистранты направлений 35.03.06 и 35.04.06 Агроинженерия под руководством сотрудников кафедры принимают активное участие в различных международных, всероссийских и региональных выездных студенческих олимпиадах и конкурсах в различных городах России, где становятся победителями и призерами в командных и личных первенствах. Кроме этого, кафедра выступает в качестве организатора заключительных

этапов Всероссийской студенческой олимпиады по агроинженерии и Всероссийского студенческого конкурса новаторских и инновационных идей в АПК.

Основные направления научных исследований кафедры: разработка мобильных средств механизации с системами контроля правильного их функционирования для производства сельскохозяйственной продукции; разработка эффективных механизированных, автоматизированных и роботизированных технологий и технических средств для производства сельскохозяйственной продукции; разработка методик и технических средств для исследований и испытаний агрегатов и рабочих органов машин для производства сельскохозяйственной продукции; разработка и реализация научной концепции создания адаптивных роботизированных технических систем, в том числе на основе использования аддитивных технологий; разработка и реализация концепции формирования у обучающихся вузов инновационного инженерного мышления. Научные разработки кафедры представлены на рисунке 6.



Рис. 6. Адаптивная фреза-культиватор (а) патент РФ 2644592 и комбинированный культиватор (б) патент РФ 188611.

Ближайшее будущее в развитии кафедры видится в реализации мероприятий дорожной карты стратегического проекта «СМАРТ АГРО» программы развития ПРИОРИТЕТ 2030 в области разработки и внедрения новых высокоэффективных технологий и оборудования в области производства техники, системы обеспечения точного земледелия. Для реализации поставленных задач в 2022 году создана лаборатория по технологиям систем точного земледелия, представленная на рисунке 7.



Рис. 7. Лаборатория технологий и средств точного земледелия.

Кафедра теплоэнергетических систем формирует компетенции в области систем энергообеспечения промышленных и коммунальных предприятий, эксплуатации установок, систем и комплексов высокотемпературной и низкотемпературной теплотехнологий; эксплуатации котельных установок различного назначения; эксплуатации установок систем кондиционирования воздуха, а также вспомогательное теплотехническое оборудование. На рисунке 8 представлена работа ученых в лаборатории автономных источников теплоснабжения.

Исторически значимым событием в развитии кафедры является открытие новой специальности 140106 – «Энергообеспечение предприятий». Данная специальность была открыта по инициативе профессора Ю.А. Вантюсова. Он являлся в 1995 году фактически ее создателем, разработчиком образовательного стандарта, объединив в одно целое изучение производства электрической и тепловой энергии. В настоящее время в последствие вышедшие из этой специальности направления подготовки реализуются в десятках вузов Российской Федерации.

Другим уникальным достижением кафедры является реализация совместной международной образовательной программы по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника с Университетом науки и технологий Цзянсу (Китай), благодаря которой студенты после окончания имеют возможность получить одновременно два диплома – российского и китайского университетов.



Рис. 8. В лаборатории автономных источников теплоснабжения.



Рис. 9. Выпускники совместной образовательной программы.

Основные направления научных исследований кафедры являются энергоэффективные технологии в источниках, системах трансформации и хранения тепловой энергии. Разработка и использование импульсных систем тепло-и водоснабжения. На рисунке 10 представлены некоторые разработки кафедры, внедренные в системы ЖКХ региона.

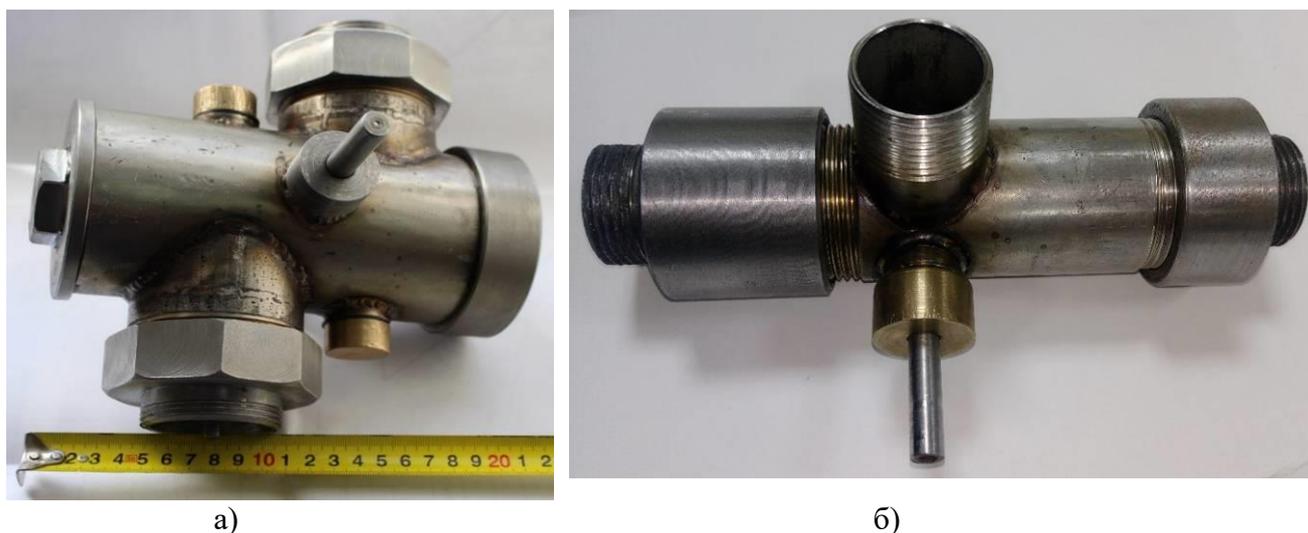


Рис. 10. Внешний вид ударного узла теплоустановок.

Дальнейшее развитие кафедры связано с реализацией мероприятий дорожных карт стратегических проектов «Материалы нового поколения и энергосбережение» и «СМАРТ АГРО» программы развития ПРИОРИТЕТ 2030 в области разработки высокоэффективных импульсных систем для теплоэнергетики и ЖКХ, разработка индивидуальных тепловых пунктов с улучшенной теплопередачей отопительных приборов для независимого подключения системы отопления здания к тепловым сетям, разработка системы утилизации тепла котлоагрегатов с глубоким охлаждением температуры уходящих газов, а также разработка энерго- ресурсосберегающей технологии получения электрической и тепловой энергии из отходов сельскохозяйственного производства.

Кафедра технического сервиса машин формирует компетенции в области эффективного использования и сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники, машин и оборудования; технологии технического обслуживания, диагностирования и ремонта машин и оборудования; области науки и техники, связанные с эксплуатацией, ремонтом и сервисным обслуживанием транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения. На рисунке 11 представлен учебный процесс в лаборатории «Образовательные технологии в автомобильной отрасли» учебного центра GNFA со студентами направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Важным фактором развития кафедры является становление и развитие научной школы.

Первым заведующим кафедрой и её фактическим организатором был доцент Н.Е. Фурчиков (1962-1973 г.г.). На годы его руководства приходится становление кафедры.



Рис. 11. Занятия в учебных классах лаборатории «Образовательные технологии в автомобильной отрасли».

С 1973 по 1978 год кафедру возглавлял кандидат технических наук, доцент Ф.Ф. Алуев. В данный период происходит активное совершенствование материально-технической базы кафедры.

С 1978 года по 2007 год кафедрой заведовал доктор технических наук, профессор П.П. Лезин.

Петр Петрович внес большой вклад в становление научно-педагогического коллектива кафедры и подготовку кадров высшей квалификации. Им организован и успешно функционирует диссертационный совет 24.2.338.04. Общее количество подготовленных профессором П.П. Лезиным кандидатов и докторов наук – 36 человек. Практически все преподаватели кафедры в разное время являлись его учениками. Именно в годы руководства профессором П.П. Лезина и по его инициативе кафедра переименована в кафедру технического сервиса машин.

Заведующим кафедрой с января 2007 года по 01 сентября 2022 года являлся Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор П.В. Сенин. Под руководством профессора П.В. Сенина кафедра одной из первых

в российских вузах реализовала принцип «от идеи до конечного продукта». Для практического осуществления этого принципа была создана соответствующая база, оснащенная самым современным оборудованием. Идея и научно-исследовательское сопровождение – реализуется научно-исследовательской лабораторией. Технологическая реализация и апробация продукта - малым инновационным предприятием. Конечная технология с комплектом оборудования внедряется на предприятии реального сектора экономики. В настоящее время на кафедре созданы все составляющие этой технологической цепочки.

Сегодня научно-исследовательская деятельность на кафедре осуществляется в рамках научной школы под руководством профессора П.В. Сенина. Работа ведется по трем основным направлениям:

- обеспечение надежности отремонтированной техники;
- фундаментальные и прикладные исследования в области высоко-ресурсного ремонта узлов и агрегатов машин путем нанесения на рабочие поверхности деталей металлопокрытий методом электроискровой обработки;
- разработка диагностического и технологического оборудования для предприятий технического сервиса.



Рис. 12. Научные исследования в лаборатории «Технологии и средства создания покрытий с заданными служебными свойствами».

Дальнейшее развитие кафедры связано с реализацией мероприятий дорожных карт стратегических проектов «Материалы нового поколения и энергосбережение» и «СМАРТ АГРО» программы развития ПРИОРИТЕТ 2030 в области разработки импортозамещающих технологий и оборудования для высокоресурсного ремонта агрегатов машин и оборудования отечественного и зарубежного производства с учетом исследований механических, фрикционных и триботехнических свойств покрытий.

Кафедра электрификации и автоматизации производства формирует компетенции в области систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, сельского хозяйства, транспортных систем и их объектов. На рисунке 13 представлены занятия со студентами 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

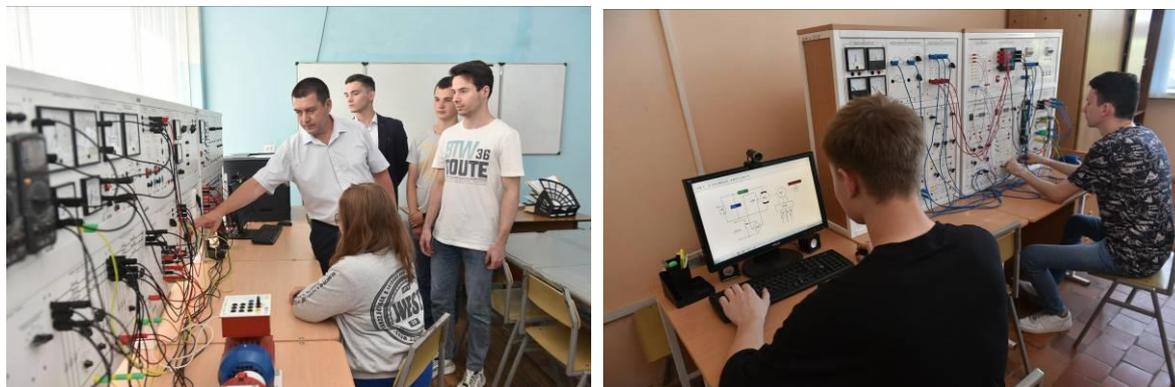


Рис. 13. Занятия в лабораториях электроэнергетических систем и сетей и электрических машин и электрических приводов.

Основные направления научных исследований кафедры являются разработка и моделирование режимов работы электроэнергетических систем и сетей, их устойчивостью и надежностью, а также разработкой энергосберегающих систем и технологий.

Перспективные развития кафедры связаны с разработкой и моделированием режимов работы электроэнергетических систем и сетей, их устойчивостью и надежностью, а также разработкой энергосберегающих систем и технологий.

Подводя итог в развитии института механики и энергетики на сегодняшний день и делая планы на будущее, можно отметить, что инновационно-ориентированное профессиональное образование в нашем подразделении, которое в настоящее время является приоритетным в институте, базируется на интеграции научной, образовательной и инновационной деятельности при реализации основных образовательных программ различных уровней и дополнительных профессиональных образовательных программ; осуществляется не только на базе традиционных вузовских подразделений (кафедр, лабораторий), оснащенных современным оборудованием, но и в условиях новых типов организационных структур: научно-образовательных центров, инновационно-технологических центров, центра трансфера технологий, бизнес-инкубатора, малых инновационных предприятий, современных научных лабораторий и т.д.

Коллектив института, в свою очередь, видит свою миссию в поддержании высокой репутации российского инженерного образования, повышении его качества и конкурентоспособности как в России, так и в мировом сообществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Институту механики и энергетики 60 лет. Рекламное информационно-популярное издание. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2022. – 88 с.
2. Ученые Национального исследовательского Мордовского государственного университета: биогр. справ.: 2021 / отв. за вып.: А. Ю. Маслова, О. В. Новикова; под общ. ред. С. М. Вдовина. – Изд. 5-е, испр. и доп. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2021. – 820 с.