

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК**

*В.Г. Жданов<sup>1)</sup>, Е.А. Логачева<sup>2)</sup>, М.А. Федорцов<sup>3)</sup>, А.А.Шунина<sup>4)</sup>*

- 1) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, [jdanov.valery2010@yandex.ru](mailto:jdanov.valery2010@yandex.ru)
- 2) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, [elena.logacheva2010@yandex.ru](mailto:elena.logacheva2010@yandex.ru)
- 3) студент электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, [arlov10@mail.ru](mailto:arlov10@mail.ru)
- 4) аспирантка электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Россия, [aa\\_shu2010@mail.ru](mailto:aa_shu2010@mail.ru)

**Аннотация:** На основе системного подхода разработаны математическая модель и алгоритм управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта электрооборудования предприятий АПК. Реализация модели и алгоритма управления позволяют повысить эффективность работы электротехнического персонала предприятий по ремонту электрооборудования.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, математическая модель.

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES**

*V. G. Zhdanov<sup>1)</sup>, E. A. Logacheva<sup>2)</sup>, M. A. Fedortsov<sup>3)</sup>, A. A. Shunina<sup>4)</sup>*

- 1) Ph. D., associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, [jdanov.valery2010@yandex.ru](mailto:jdanov.valery2010@yandex.ru)
- 2) Ph. D., associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, [elena.logacheva2010@yandex.ru](mailto:elena.logacheva2010@yandex.ru)
- 3) student of the electric power faculty OF the Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, [arlov10@mail.ru](mailto:arlov10@mail.ru)
- 4) postgraduate student of the faculty of electric power OF the Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, [aa\\_shu2010@mail.ru](mailto:aa_shu2010@mail.ru)

**Abstract:** On the basis of a system approach, a mathematical model and an algorithm for managing production processes of maintenance and repair of electrical equipment of agricultural enterprises are developed. The implementation of the model and control algorithm can improve the efficiency of electrical personnel of enterprises that repair electrical equipment.

**Keywords:** maintenance, repair, mathematical model.

На кафедре электроснабжения и эксплуатации электрооборудования Ставропольского государственного аграрного университета разработано математическое обеспечение автоматизированного рабочего места (АРМ) руководителя электротехнической службы (ЭТС) сельскохозяйственных предприятий. При этом основное теоретическое содержание математического обеспечения составляют вопросы планирования работ ЭТС и управления эксплуатационными мероприятиями [1, 2].

Наличие специфических особенностей построения и функционирования сельскохозяйственных объектов приводит к необходимости построения в каждом конкретном случае специальных графиков по обслуживанию электрооборудования, не похожих друг на друга. Разработана модель автоматизированного построения графика, позволяющая в диалоговом режиме с использованием программного обеспечения Microsoft Excel [1] выполнять необходимые процедуры и получать конечные результаты. Разработаны и апробированы графики профилактических работ для одного из предприятий Ставропольского края.

Разработан алгоритм управления производственным процессом технического обслуживания и ремонта электрооборудования, а также программное обеспечение решения таких задач в среде программирования Microsoft Excel, позволяющие корректировать график при возникновении нестандартных ситуаций, а также осуществлять контроль за ходом производственного процесса.

Задача управления производственным процессом технического обслуживания и ремонта электрооборудования сельскохозяйственных предприятий по графику ТОР сформулирована следующим образом: при заданных уравнениях связи и ограничениях найти и реализовать алгоритм управления, обеспечивающий минимизацию значений показателей технико-экономической эффективности [3].

Математическая модель этой задачи записывается следующим образом: определить матрицу назначения  $X = \| x_{ij} \|$ , удовлетворяющую условиям:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x'_{ij}) = 0 \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = \overline{1, m}) \quad (2)$$

(все заявки должны быть выполнены);

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = \overline{1, n}) \quad (3)$$

(недельный фонд времени выполнения не должен быть превышен);

при граничных условиях:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (4)$$

При этом

$$E_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$E_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Предполагается, что  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ , т.е. суммарная годовая трудоемкость работ по ТО и ремонту электрооборудования равна суммарному годовому фонду рабочего времени бригады электротехнического персонала.

Соответственно,  $x_{ij}$  – переменная трудозатрат, входящая в модель;  $x'_{ij}$  – переменная, отражающая состояние реальной системы;

$E_1$  – показатель технико-экономической эффективности, отражающий оптимизацию графика ТОР по составу исполнителей;

$E_2$  – показатель технико-экономической эффективности, отражающий затраты при выборе оптимальных маршрутов перемещения исполнителей для обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных объектов;

$c_{ij}$  – показатель стоимости профилактических работ;

$\delta_{ij}$  – единица измерения длины маршрутов обслуживания.

Оптимизация графика плановых работ проводилась с учетом состава исполнителей и специфики размещения сельскохозяйственных объектов.

Зная общую трудоемкость ремонта, его распределение по видам оборудования, набор электроремонтных предприятий и их ремонтные квоты для рассматриваемого предприятия, синтезировать оптимальный план реализации графика технических обслуживаний и ремонта электрооборудования, учитывающий возможности по труду исполнителей ремонтных работ и обеспечивающий минимум затрат на техническое обслуживание и ремонт

Исходя из словесной формулировки задачи, модель записана так:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ \sum_j x_{ij} &= a_i; \\ \sum_i x_{ij} &\begin{cases} \leq b_j; \\ \geq b_j; \end{cases} \\ x_{ij} &\geq 0 \quad | \quad i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^t$ , компоненты  $x_j$  которого удовлетворяют ограничениям (7), называется вектором управления, который определяется при реализации модели.

Решение задачи распределения работ между бригадами выполнялось симплексным методом. Установлено, например, что для Грачевского элеватора Ставропольского края годовые затраты, соответствующие вектору оптимального управления, составляют 473670 руб. при общих трудозатратах на плановые работы 11296 чел.-ч. При этом, учитывая собственные возможности энергослужбы 8032 чел.-ч, часть работ рекомендовано передать подрядной организации.

Вектор оптимального управления представлен в следующем виде:

$$X = | 0 \quad 1839,6 \quad 2858,8 \quad 0 \quad 0 \quad 1274,7 \quad 3189,4 \quad 0 \quad 373 \quad 140,4 \quad 1610,8 \quad 0 |^t$$

Задача о кратчайшем пути является частным случаем задачи о назначениях, для которой коэффициенты целевой функции  $\delta_{kk} = 0$  размещены в поддиагонали матрицы. При указанных условиях оптимизационная модель записывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (8)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad x_{ij} = 0 \text{ или } 1 \text{ для всех } i \text{ и } j. \quad (10)$$

Поиск оптимального маршрута передвижения исполнителей для обслуживания электрооборудования представляет собой типичную транспортную задачу о кратчайшем пути. Реализация ее методом Мака позволила получить графы оптимальных маршрутов для анализируемых объектов. Данные для решения задачи приведены в таблице 1.

На основании исходных данных сформирована сеть, соответствующая методу решения задачи о назначениях размерности 4 x 4 (рисунок 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Узел	Объект	Обозначение маршрута	Длина маршрута, км
0	Центральный пункт технического обслуживания	C <sub>03</sub>	1,0
1	Элеватор РЗС-1-63	C <sub>31</sub>	0,4
	Зерносушилка ДСП – 32от №1		
2	Элеватор ЛВ – 2 x 100	C <sub>12</sub>	1,8
	Зерносушилка ДСП – 32от №2		
3	Сушильно-очистная башня СОБ - 32	C <sub>03</sub>	1,0
	Погрузочно-разгрузочная башня ПОБ - 1		
4	Погрузочно-разгрузочная башня ПОБ - 9	C <sub>24</sub>	0,2
	Нория №1		
	Итого:		2,4

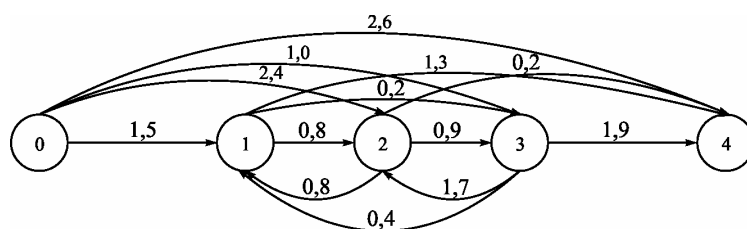


Рисунок 1 – Сеть, соответствующая методу решения задачи о назначениях размерности 4 x 4

Сетевой график, представленный на рисунке 2, соответствует оптимальному решению исходной задачи.

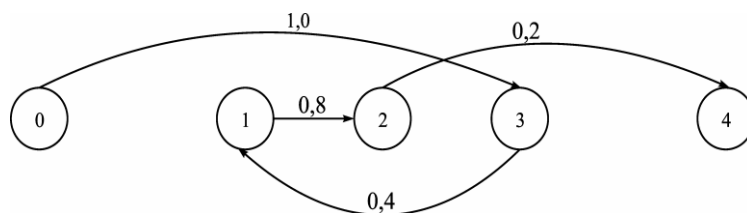


Рисунок 2 – Граф определения оптимального маршрута

С помощью моделирующего алгоритма осуществляется отображение модели графика и его корректировка. Корректировка графика осуществляется изменением порядка расположения производственных объектов, отдельных групп электрооборудования внутри объекта или изменениями, вносимыми в матрицу переходов, при этом отображение графика ТОР изменяется автоматически.

Разработанные математическое и программное обеспечение АРМ позволяют рационализировать деятельность ЭТС за счет сокращения

времени на работу с документами, повышения оперативности выполнения ремонтных работ, более четкой работы эксплуатационных подразделений.

**Список использованных источников:**

1. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Оптимизационные задачи управления деятельностью энергослужб предприятий. Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 36-40.

2. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Оптимизация структуры автоматизированного рабочего места руководителя предприятия. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 86. С. 208-217.

3. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Алгоритм решения задач оптимизации автоматизированного управления деятельностью энергетических служб предприятий. В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве. 80-я научно-практическая конференция. 2015. С. 99-104.

4. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Планирование работ электротехнической службы для разработки АРМ энергетика. В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве. 76 научно-практическая конференция электроэнергетического факультета СтГАУ. 2012. С. 47-49.

5. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Электромагнитная безопасность производственного оборудования // В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве. 74-я научно-практическая конференция электроэнергетического факультета СтГАУ. Ставрополь, АГРУС. 2010. С. 120-122.

6. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Повышение качества подготовки технических кадров – основная задача в аграрном образовании // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты. Материалы II Международной научно-практической конференции 2014. С. 125-130.

7. Atanov I.V., Mastepanenko M.A., Ivashina A.V., Zhdanov V.G., Logacheva E.A., Avdeeva V.N. Seed treatment by pulsed electric field before sowing/ Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 6. С. 1664-1671.

8. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Программный комплекс для ЭВМ по планированию ремонта электрооборудования // Моделирование



производственных процессов и развитие информационных систем : сб. науч. статей по материалам 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (г. Ставрополь, 15-16 ноября 2011 г.) / СтГАУ. Ставрополь, 2011. С. 65-67.

9. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Информационное обеспечение АРМ энергетика // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: материалы 76 научно-практической конференции электроэнергетического факультета СтГАУ, 2012. С-42-46.

10. Енина Т.А., Клепальченко А.В., Горовенко Л.А. Актуальные вопросы использования методов математического моделирования в экономике // Прикладные вопросы точных наук: Материалы I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей.- Армавир: ООО «Типография имени Г. Скорины», 2017. – С. 50-54.

11. Ракутько С.А., Логачева Е.А., Жданов В.Г. Алгоритмы инструментальных обследований для проведения энергоаудита организаций // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2014. №36. С.225-229.

12. Логачева Е.А., Жданов В.Г., Зобнин В.И. Исследование частотных характеристик сельскохозяйственных материалов с целью обеспечения безопасности СВЧ технологий // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. №2(55). С.203-209.

13. Yarosh V.A., Zhdanov V.G., Kobozev V.A., Logacheva E.A., Privalov E.E. Use of geo-information systems for solving analytical problems in the power industry // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. T. 10. № 1. С. 1049-1055.