

МРНТИ 06.51.41

DOI: <https://doi.org/10.62724/202440306>

**Соловьев Дмитрий Александрович\*<sup>1</sup>**

Доктор технических наук, профессор, ректор Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.  
[solovevda@bk.ru](mailto:solovevda@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2341-3089>

**Бакиров Сергей Мударисович<sup>2</sup>**

Доктор технических наук, доцент, директор института инженерии и робототехники Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3. [s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>

## **МЕТОД ВЕНИКОВА В.А. В ПОМОЩЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ**

**Аннотация:** с учетом увеличения объемов работ и изменения экономических условий в сфере капитального ремонта электрооборудования, особенно электродвигателей для сельского хозяйства, актуальна задача оптимизации затрат. В статье предложена математическая модель, которая позволяет минимизировать стоимость капитального ремонта через эффективную координацию трудовых и материальных затрат. Определены основные параметры, влияющие на стоимость ремонта, а также разработана методика расчета оптимального радиуса для электроремонтных предприятий (ЛЭП). Важным элементом является учет неопределенности исходной информации, что позволяет адаптировать модель к различным условиям по методу В.А. Веникова. Обосновано оптимальное сочетание трудовых и технических затрат на капитальный ремонт, что способствует снижению общих расходов. Предложенные решения позволяют улучшить экономическую эффективность ремонтных процессов и существенно сократить затраты, что особенно важно для сельского хозяйства, где эффективность ремонта напрямую влияет на снижение производственных издержек. Разработка таких моделей является важным шагом к улучшению деятельности электроремонтных предприятий и повышению их конкурентоспособности. Внедрение предложенной модели оптимизации позволит повысить качество ремонтных услуг, улучшить управление ресурсами и обеспечить устойчивое развитие ремонтных предприятий в сфере электрооборудования в условиях нестабильности.

**Ключевые слова:** метод, расчет, предприятия, нестабильность, матрица, параметры, неопределенность, критерий, задача, фактор, оснащение, показатель.

**Введение.** На сельскохозяйственных предприятиях наблюдается резкий рост интереса к организации предприятий, занимающихся ремонтом электрооборудования на местах. Это связано с несколькими факторами: во-первых, с резким увеличением цен на новое оборудование (например, стоимость электродвигателей возросла в 20-30 раз), во-вторых, с существенным подорожанием транспортных услуг, что затрудняет доставку оборудования в сельскую местность, и в-третьих, с трудностью организации запасов электрооборудования.

Таким образом, актуальной задачей для электрификации сельского хозяйства стало решение проблемы капитального ремонта электрооборудования, которая представляет собой противоречие между возросшей потребностью в ремонте и отсутствием возможности его эффективного выполнения. Для преодоления этого противоречия необходимо определить оптимальные параметры для электроремонтных предприятий.

Все факторы, влияющие на оптимальность, можно разделить на две категории: внешние и внутренние. К внешним факторам относятся те, которые влияют на составление годовой производственной программы ремонтной организации, объем обслуживания, плотность распределения ремонтных ресурсов, а также затраты на транспортировку и возможные убытки. Внутренние факторы включают количество исполнителей, стоимость основных средств, организацию производственного процесса, техническое оснащение и энерговооруженность работников. К управляемым факторам относятся количество исполнителей ( $N_p$ ) и их техническое оснащение ( $K_b$ ). Правильное сочетание этих факторов позволяет снизить стоимость ремонта.

Целью деятельности электроремонтных предприятий является максимизация прибыли за определённый период, что выражается в получении максимального дисконтированного дохода. Однако для математического моделирования целесообразнее использовать показатель себестоимости ремонта, который прямо зависит от доходности.

Особое внимание стоит уделить задачам, возникающим в условиях неопределенности. На практике все технико-экономические задачи в современных условиях могут быть охарактеризованы как задачи с неопределенными параметрами.

В рамках решения таких задач нужно:

- Привести задачу к каноническому виду.
- Определить критерии сходства.
- Выделить параметры, подлежащие оптимизации.
- Найти оптимальное значение себестоимости ремонта.

Оптимизация процесса ремонта начинается с введения критериев подобия, которые оценивают долю каждой составляющей в общей оптимальной себестоимости ремонта  $C_{\Sigma}$ . Эти критерии определяются следующим образом:

$$\pi_p = C_p / C_{\Sigma}; \pi_m = C_m / C_{\Sigma}; \pi_o = C_o / C_{\Sigma}$$

где:

- $C_p$  — стоимость труда (зарплата работников);
- $C_m$  — стоимость материалов;
- $C_o$  — отчисления от стоимости технической базы (например, амортизация оборудования);
- $C_{\Sigma}$  — общая себестоимость ремонта.

Для расчёта этих критериев создаётся матрица расчётов чувствительности, которая показывает, как изменения в значениях оптимизируемых факторов влияют на составляющие уравнения общей себестоимости. В этой матрице столбцы представляют оптимизируемые факторы, а строки — соответствующие слагаемые уравнения себестоимости. Это позволяет учесть степень влияния каждого фактора на общую стоимость ремонта и на основе этого провести дальнейшую оптимизацию.

Таблица 1 – Данные по расчёту чувствительности

Название	$n^*$	$k^*$	$c$
----------	-------	-------	-----

Зарплата	+Г <sub>р</sub>	-В <sub>р</sub>	-1
Материалы	0	-В <sub>м</sub>	-1
Оборудование	-Г <sub>о</sub>	+В <sub>о</sub>	-1

Где Г<sub>р</sub>, В<sub>р</sub>, Г<sub>о</sub>, В<sub>о</sub>, В<sub>м</sub> – коэффициенты чувствительности, n, k – индексы обеспечения трудовых и технических ресурсов.

Здесь и далее принято Г<sub>м</sub>=0, так как изменения числа исполнителей незначительно влияет на расход материалов.

Находим определитель матрицы

$$\Delta = r_p V_m - r_o V_p + r_o V_m + r_p V \quad (1)$$

Находим обратную матрицу

$$\|\Delta\| = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \Delta_{31} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \Delta_{32} \\ \Delta_{13} & \Delta_{23} & \Delta_{33} \end{vmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} V_m + V_o & -V_p + V_p & V_p - V_m \\ r_o & -r_p + r_o & r_p \\ -r_o V_m + r_p & V_p - V_p r_o & -r_p V_m \end{vmatrix}$$

Элементы последней строки, взятые с обратным знаком, являются искомыми критериями подобия

$$\pi_p = r_o V_m / \Delta; \quad \pi_m = (r_p V_o - r_o V_p) / \Delta; \quad \pi_o = r_p V_m / \Delta \quad (2)$$

Оптимальные значения трудовых и технических ресурсов

$$\left. \begin{aligned} N_{*o} &= \left( \left( \frac{\pi_p}{C_{рн}} \right)^{B_m + B_o} \left( \frac{\pi_m}{C_{мн}} \right)^{-B_p - B_o} \left( \frac{\pi_o}{C_{он}} \right)^{B_p - B_m} \right)^{\frac{1}{\Delta}} \\ K_{*o} &= \left( \left( \frac{C_{рн}}{\pi_p} \right)^{-r_j} \left( \frac{\pi_m}{C_{мн}} \right)^{-r_p - r_o} \left( \frac{C_{он} \pi_o}{\pi_o} \right)^{r_p} \right)^{\frac{1}{\Delta}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где C<sub>рн</sub>, C<sub>мн</sub>, C<sub>он</sub> – нормативные значения составляющих себестоимости ремонта у.е.р.

При таких значениях управляющих факторов переменная часть себестоимости будет иметь следующие наименьшие значения

$$C_{э} = \left( \frac{C_{рн}}{\pi_p} \right)^{\pi_p} \left( \frac{C_{мн}}{\pi_m} \right)^{\pi_m} \left( \frac{C_o}{\pi_o} \right)^{\pi_o} \quad (4)$$

Полученное уравнение устанавливает правила для оптимальной организации работы электроремонтного предприятия (ЭРП), и, при наличии исходных данных, позволяет рассчитать оптимальные параметры предприятия.

Анализ оптимальных зависимостей показывает сложные взаимосвязи между характеристиками ЭРП и исходными показателями. Ключевую роль в этом процессе играют коэффициенты чувствительности, так как именно они определяют оптимальное соотношение затрат, которое остается постоянным независимо от абсолютных значений исходных данных.

Оптимальные значения обеспечения трудовыми и материальными ресурсами зависят не только от коэффициентов чувствительности, но и от нормативных значений всех компонентов себестоимости. Структура уравнений показывает, что оптимальное распределение ресурсов отражает их взаимозависимость: чем выше коэффициент чувствительности для технических ресурсов, тем больше должен быть индекс для трудовых ресурсов, и наоборот. Другие особенности оптимальной организации ЭРП могут быть выявлены с помощью дополнительных исследований.

При расчете себестоимости погрешности могут возникать из-за нестабильности цен и заработной платы. Чтобы учесть эти колебания, проводится анализ соразмерности, устойчивости и чувствительности с использованием методики критериального анализа.

Представим критерии подобия в более детализированном виде

$$\left. \begin{aligned} \pi_p &= \frac{r_o B_M}{r_p B_M - r_o B_p + r_o B_M + r_p B_o} \\ \pi_M &= \frac{r_p B_o - r_o B_o}{r_p B_M - r_o B_p + r_o B_M + r_p B_o} \\ \pi_o &= \frac{r_p B_M}{r_p B_M - r_o B_p + r_o B_M + r_p B_o} \end{aligned} \right\} (5)$$

Несмотря на то, что точные значения коэффициентов чувствительности будут определяться позже на основе статистических и экспериментальных данных, уже на данном этапе можно проанализировать, как критерии зависят от различных факторов. В частности, следует отметить, что по определению  $r_p \approx v_o \approx 1,0$ , что означает, что затраты на зарплату и оборудование ЭРП изменяются линейно в зависимости от показателей трудовых и технических ресурсов. Можно ожидать, что коэффициенты  $v_M \approx 0,5$ ;  $r_p \approx v_p$  могут варьироваться в пределах 0,6-0,9. Пусть  $r_p \approx v_p \approx 0,8$ .

На основе этих значений были построены графики, представленные на рисунке 1.

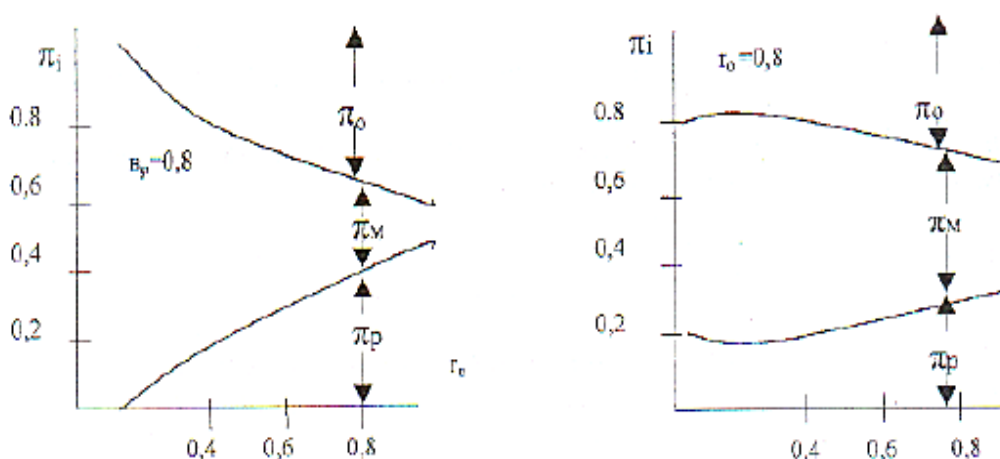


Рисунок 1. Влияние коэффициентов чувствительности на значения критериев  $\pi$ .

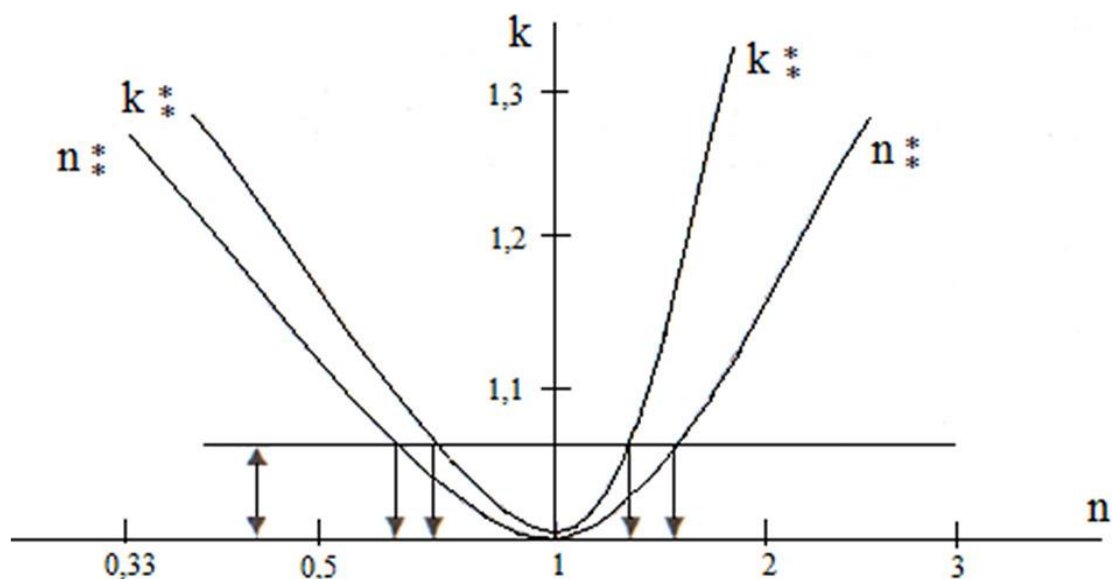


Рисунок 2. Кривая устойчивости затрат на ремонт

Из данного рисунка видно, что в широком диапазоне изменения  $r_0$  и  $v_p$  структуру себестоимости можно считать достаточно устойчивой – все составляющие должны быть примерно равны. Чем эффективнее трудовые ресурсы заменяют оборудование (т.е. при увеличении  $r_0$ ), тем больше должны быть затраты на оборудование. При малых  $r_0$  ( $r_0 < 0,3$ ) конкурирующий эффект замены оборудования трудовыми ресурсами исчезает. Задача перестает быть оптимизационной. Расчет должен выполняться нормативными методами.

Если механизация и электрификация ремонтного производства существенно высвобождает число рабочих, то в структуре себестоимости должны увеличиваться затраты на зарплату и оборудование.

При удвоении числа исполнителей по сравнению с оптимальным значением, относительное увеличение переменной части себестоимости составит 13%, в то время как для технического оснащения это увеличение достигнет 38%.

В зоне экономической эффективности с погрешностью 5% допустимые отклонения параметров составляют  $n_* = 0,66 - 1,5$ ,  $k_* = 0,75 - 1,3$ . Это свидетельствует о том, что при проектировании электроремонтного предприятия выбор технологического оборудования требует более детального обоснования, чем выбор количества работников. На основе этого можно сделать вывод о необходимости совершенствования технических средств, применяемых при ремонте, поскольку они обеспечивают значительные преимущества.

Таким образом, можно сделать вывод о важности улучшения технического оборудования, применяемого в процессе ремонта, поскольку оно способствует получению значительных результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Веников В.А. Теория подобия и моделирования. [Текст] / М.: Высшая школа, 1984. С. 23-29.
- 2 Ерошенко, Г.П. Проблема живучести электрифицированных процессов в сельском хозяйстве [Текст] / Г.П. Ерошенко, С.М. Бакиров // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 7.

- 3 Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий [Текст] Учебник Мин. обр. / Г.П. Ерошенко, Н.П. Кондратьева. – М., Колос. – 2014. – 336 с.
- 4 Садыкова Л.А. Математическая модель оптимизации внутренних факторов электроремонтных предприятий [Текст] /Л.А.Садыкова, Е.Н.Жумалиев // Сборник материалов международной научно-практической конференции-Краснодар, 2021.-С.109-115.
- 5 Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования [Текст] / Иваново, Иван. гос. энерг. ун-т, 2005. – С. 224.
- 6 Советов Б.Я. Моделирование систем: Практикум [Текст] / Б.Я. Советов, С.Я. Яковлев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 295 с.
- 7 Волков А.А., Седов А.В. Математическое моделирование процессов автоматизации проектирования инженерных систем зданий и сооружений [Текст] // Вестник МГСУ. – 2011. – №5. – С. 335-339.
- 8 Дмитриев Д.М., Третьякова Н.В. // Математическое моделирование как способ оптимизации использования ресурсного потенциала сельхозпредприятия [Текст] // Сборник статей по материалам 74-й научно-практической конференции. Краснодар, 2019. – С. 405-408.
- 9 Жаксылыков Е.К. Анализ современных методов и программных средств автоматизированного анализа объекта проектирования [Текст] // Молодой ученый. – 2016. – № 25 (129). – С. 30-32.
- 10 Петракова Н.В., Тенютин М.Ю. Моделирование работы сети электроснабжения Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК: [Текст] Сборник материалов международной научно-практической конференции / Под общ. ред. Маркарянц Л.М. – Брянск, 2011. – С. 129-134.
- 11 Кондратенко Л.Н., Шубенина Е.И. Экономико-математические методы вычислений в задачах сельского хозяйства [Текст] // Приднепровский научный вестник. – 2019. Т. 8. № 2. – С. 7-10.
- 13 Павлова Е.С. Математическое моделирование технических объектов [Текст] // Карельский научный журнал, 2014. – № 4. – С. 176.
- 14 Петракова Н.В. Основы математического моделирования. Модели. [Текст] Методы. Примеры. – Брянск, 2011. – 162 с.
- 15 Электронные библиотечные системы «Лань» – <http://e.lanbook.com/>.

## REFERENCES

- 1 Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya. [The theory of similarity and modeling].” М.: Vysshaya shkola, (1984): 23-29s. – (In Rus)
- 2 Eroshenko, G.P. Problema zhivuchesti elektrificirovannyh processov v sel'skom hozyajstve [The problem of survivability of electrified processes in agriculture].” Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – (2017): № 7. – (In Rus)
- 3 Eroshenko G.P. Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatij [Operation of electrical equipment of agricultural enterprises].” Uchebnik Min. obr. / М., Kolos. – (2014): 336 s. – (In Rus)
- 4 Sadykova L.A. Matematicheskaya model' optimizacii vnutrennih faktorov elektromontnyh predpriyatij [Mathematical model of optimization of internal factors of electrical repair enterprises].” Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii-Krasnodar, – (2021): 109-115s. – (In Rus)

- 5 Nazarychev A.N., Andreev D.A. Metody i matematicheskie modeli kompleksnoj ochenki tekhnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya [Methods and mathematical models of comprehensive assessment of the technical condition of electrical equipment]. Ivanovo, Ivan. gos. energ. un-t, – (2005): 224s. – (In Rus)
- 6 Sovetov B.Ya. Modelirovanie sistem: Praktikum [Modeling of systems: The workshop]. 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Yurajt, – (2012): 295s. – (In Rus)
- 7 Volkov A.A., Sedov A.V. Matematicheskoe modelirovanie processov avtomatizacii proektirovaniya inzhenernyh sistem zdaniy i sooruzhenij [Mathematical modeling of automation processes for the design of engineering systems of buildings and structures]. Vestnik MGSU. – (2011): №5. 335-339s. – (In Rus)
- 8 Dmitriev D.M., Tret'yakova N.V. // Matematicheskoe modelirovanie kak sposob optimizacii ispol'zovaniya resursnogo potentsiala sel'hozpredpriyatiya [Mathematical modeling as a way to optimize the use of the resource potential of an agricultural enterprise]. Sbornik statej po materialam 74-j nauchno-prakticheskoy konferencii. Krasnodar, – (2019): 405-408s. – (In Rus)
- 9 Zhaksylykov E.K. Analiz sovremennyh metodov i programmnyh sredstv avtomatizirovannogo analiza ob"ekta proektirovaniya [Analysis of modern methods and software tools for automated analysis of the design object]. Molodoj uchenyj. – (2016): № 25 (129). 30-32s. – (In Rus)
- 10 Petrakova N.V., Tenyutin M.Yu. Modelirovanie raboty seti elektrosnabzheniya Problemy energoobespecheniya, informatizacii i avtomatizacii, bezopasnosti i prirodopol'zovaniya v APK: [Modeling the operation of the power supply network Problems of energy supply, informatization and automation, safety and environmental management in the agro-industrial complex]. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / Pod obshch. red. Markaryanc L.M. – Bryansk, – (2011): 129-134s. – (In Rus)
- 11 Kondratenko L.N., Shubenina E.I. Ekonomiko-matematicheskie metody vychislenij v zadachah sel'skogo hozyajstva [Economic and mathematical methods of calculations in agricultural problems]. Pridneprovskij nauchnyj vestnik. – T. 8. № 2. 7-10s. – (In Rus)
- 12 Pavlova E.S. Matematicheskoe modelirovanie tekhnicheskikh ob"ektov [Mathematical modeling of technical objects]. Karel'skij nauchnyj zhurnal, – (2014): № 4. 176s. – (In Rus)
- 13 Petrakova N.V. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya. Modeli. [Fundamentals of mathematical modeling. Models.]” Metody. Primery. – Bryansk, – (2011): 162 s. – (In Rus)
- 15 Elektronnye bibliotечnye sistemy «Lan'» – [http://e.lanbook.com/.](http://e.lanbook.com/)

## **В. А. ВЕНИКОВ ӘДІСІ ТҮРАҚСЫЗДЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ЭЛЕКТР ЖӨНДЕУ КӘСПОРЫНДАРЫН ҰЙЫМДАСТЫРУҒА КӨМЕКТЕСУ**

*Аңдатпа.* Жұмыс көлемінің ұлғаюын және электр жабдықтарын, әсіресе ауыл шаруашылығына арналған электр қозғалтқыштарын күрделі жөндеу саласындағы экономикалық жағдайлардың өзгеруін ескере отырып, шығындарды оңтайландыру міндеті өзекті. Мақалада еңбек пен материалдық шығындарды тиімді үйлестіру арқылы күрделі жөндеу құнын азайтуға мүмкіндік беретін математикалық модель ұсынылған. Жөндеу құнына әсер ететін негізгі параметрлер анықталды, сондай-ақ электр жөндеу кәсіпорындары (ЭБЖ) үшін оңтайлы радиусты есептеу әдістемесі әзірленді. Маңызды элемент - бұл В.А.Веников әдісі бойынша модельді әртүрлі жағдайларға бейімдеуге мүмкіндік беретін бастапқы ақпараттың белгісіздігін ескеру. Күрделі жөндеуге арналған

еңбек және техникалық шығындардың оңтайлы үйлесімі негізделген, бұл жалпы шығындарды азайтуға көмектеседі. Ұсынылған шешімдер жөндеу процестерінің экономикалық тиімділігін жақсартуға және шығындарды айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді, бұл әсіресе жөндеу тиімділігі өндіріс шығындарының төмендеуіне тікелей әсер ететін ауыл шаруашылығы үшін өте маңызды. Мұндай модельдерді әзірлеу электр жөндеу кәсіпорындарының қызметін жақсартуға және олардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға маңызды қадам болып табылады. Ұсынылған оңтайландыру моделін енгізу жөндеу қызметтерінің сапасын арттыруға, ресурстарды басқаруды жақсартуға және тұрақсыздық жағдайында электр жабдықтары саласындағы жөндеу кәсіпорындарының тұрақты дамуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

**Кілт сөздер:** әдіс, есептеу, кәсіпорын, тұрақсыздық, матрица, параметрлер, белгісіздік, критерий, тапсырма, фактор, жабдық, индикатор.

### **THE VENIKOV V.A. METHOD TO HELP THE ORGANIZATION OF ELECTRICAL REPAIR ENTERPRISES IN CONDITIONS OF INSTABILITY**

**Abstract:** Taking into account the increase in the volume of work and changes in economic conditions in the field of capital repairs of electrical equipment, especially electric motors for agriculture, the task of cost optimization is urgent. The article proposes a mathematical model that minimizes the cost of capital repairs through effective coordination of labor and material costs. The main parameters affecting the cost of repairs are determined, and a method for calculating the optimal radius for electrical repair enterprises (power lines) is developed. An important element is to take into account the uncertainty of the initial information, which makes it possible to adapt the model to various conditions using the method of V.A. Venikov. The optimal combination of labor and technical costs for major repairs is justified, which helps to reduce overall costs. The proposed solutions make it possible to improve the economic efficiency of repair processes and significantly reduce costs, which is especially important for agriculture, where the effectiveness of repairs directly affects the reduction of production costs. The development of such models is an important step towards improving the performance of electrical repair enterprises and increasing their competitiveness. The implementation of the proposed optimization model will improve the quality of repair services, improve resource management and ensure the sustainable development of repair enterprises in the field of electrical equipment in conditions of instability.

**Keywords:** method, calculation, enterprises, instability, matrix, parameters, uncertainty, criterion, task, factor, equipment, indicator.