



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2023, ТОМ 29, НОМЕР 1, 33–45

EDN: [SOQPTO](#)

УДК 69.059.25: 625.745.9 (08)

(23)-0387-1

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ОПОР ВЛ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Е. В. Горохов¹, Н. С. Смирнова², Е. В. Шелихова³

*ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация, 286123.*

E-mail: ¹mk@donnasa.ru, ²n.s.smirnova@donnasa.ru, ³e.v.shelikhova@donnasa.ru

Получена 15 мая 2023; принята 23 мая 2023.

Аннотация. Рассмотрены современные проблемы, связанные с организацией технического надзора за состоянием электросетевых сооружений, паспортизацией объектов и управлением качеством эксплуатации высоковольтных линий (ВЛ) с целью оптимизации затрат на обеспечение безаварийной работы. Один из предложенных механизмов для достижения этой цели – страхование линий на основе мониторинга технического состояния, что помогает снизить финансовую нагрузку на владельцев линий и эксплуатирующие организации. Выделены этапы экспертизы требований технологической безопасности, что позволяет обеспечить безопасность эксплуатации ВЛ. Введение страховой ответственности на основе моделирования ремонтно-восстановительных мероприятий обосновывает экономическую эффективность обеспечения безопасности при эксплуатации ВЛ. Таким образом, представлены подходы к улучшению организации технического надзора, паспортизации и управления качеством эксплуатации ВЛ с использованием механизма страхования. Это позволяет снизить финансовую нагрузку и повысить безопасность, что является экономически эффективным подходом к обеспечению безаварийной работы электросетевых объектов.

Ключевые слова: высоковольтные линии (ВЛ), технический надзор, паспортизация, управление качеством эксплуатации, мониторинг технического состояния, страхование линий.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РЕКОНСТРУКЦІЄЮ ОПОР ВЛ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ

Є. В. Горохов¹, Н. С. Смирнова², О. В. Шеліхова³

*ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація, 286123.*

E-mail: ¹mk@donnasa.ru, ²n.s.smirnova@donnasa.ru, ³e.v.shelikhova@donnasa.ru

Отримана 15 травня 2023; прийнята 23 травня 2023.

Анотація. Розглянуто сучасні проблеми, пов'язані з організацією технічного нагляду за станом електромережних споруд, паспортизацією об'єктів та управлінням якістю експлуатації високовольтних ліній (ВЛ) з метою оптимізації витрат на забезпечення безаварійної роботи. Один із запропонованих механізмів для досягнення цієї мети – страхування ліній на основі моніторингу технічного стану, що допомагає знизити фінансове навантаження на власників ліній і експлуатуючі організації. Виділено етапи експертизи вимог технологічної безпеки, що дозволяє забезпечити безпеку експлуатації ВЛ. Введення страхової



відповідальності на основі моделювання ремонтно-відновлювальних заходів обґрунтовує економічну ефективність забезпечення безпеки при експлуатації ВЛ. Таким чином, представлені підходи до поліпшення організації технічного нагляду, паспортизації та управління якістю експлуатації ВЛ з використанням механізму страхування. Це дозволяє знизити фінансове навантаження і підвищити безпеку, що є економічно ефективним підходом до забезпечення безаварійної роботи електромережеских об'єктів.

Ключові слова: високовольтні лінії (ВЛ), технічний нагляд, паспортизація, управління якістю експлуатації, моніторинг технічного стану, страхування ліній.

CONTROL SYSTEM FOR RECONSTRUCTION OF OVERHEAD LINE SUPPORTS TAKING INTO ACCOUNT THE REQUIREMENTS OF OPERATION AND RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO CONSUMERS

Yevgen Gorokhov¹, Natalia Smirnova², Helen Shelikhova³

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, Russian Federation, 286123.

E-mail: ¹ mk@donnasa.ru, ² n.s.smirnova@donnasa.ru, ³ e.v.shelikhova@donnasa.ru

Received 15 May 2023; accepted 23 May 2023.

Abstract. Modern problems related to the organization of technical supervision of the state of power grid facilities, certification of facilities and quality management of operation of high-voltage lines (overhead lines) in order to optimize the costs of ensuring trouble-free operation are considered. One of the proposed mechanisms to achieve this goal is line insurance based on technical condition monitoring, which helps to reduce the financial burden on line owners and operating organizations. The stages of examination of technological safety requirements are highlighted, which makes it possible to ensure the safety of overhead line operation. The introduction of insurance liability based on the modeling of repair and restoration measures justifies the economic efficiency of ensuring safety during the operation of overhead lines. Thus, the approaches to improving the organization of technical supervision, certification and quality management of overhead line operation using the insurance mechanism are presented. This reduces the financial burden and increases safety, which is a cost-effective approach to ensuring trouble-free operation of power grid facilities.

Keywords: high-voltage lines (overhead lines), technical supervision, certification, quality management of operation, monitoring of technical condition, insurance of lines.

Введение

Проблемы с передачей электроэнергии вызваны старением основных фондов (повреждения ВЛ и отказ) в связи с эксплуатацией линий от 40, а в ряде случаев от 60 лет, однако не исключены такие факторы как изменение расчетных нагрузок и переоборудование линий [1–5].

Долговечность эксплуатации опор ВЛ зависит от качества материалов и процесса изготовления, а также внешних и технологических воздействий. Анализ данных о повреждениях и отказах позволяет выявить причины отказов и разработать меры по усовершенствованию системы ВЛ. Постоянный мониторинг и анализ данных

помогают предотвращать отказы, повышать безопасность и надежность электроснабжения, а также оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт системы ВЛ.

Организация технического надзора за состоянием сооружений и паспортизация электросетевых объектов

Паспортизация создает единую систему учета и мониторинга, обеспечивая выявление предаварийных и аварийных ситуаций, и принятие своевременных мер по прекращению эксплуатации аварийно опасных объектов. Она включает сбор и систематизацию информации о каждом объек-

те, его характеристиках, техническом состоянии и истории эксплуатации. Паспорт объекта становится основным документом для контроля и учета объектов, позволяя следить за их состоянием на протяжении всего срока службы. Регулярный мониторинг и проверка помогают выявлять потенциально опасные ситуации и дефекты, принимая меры по их устранению. В случае обнаружения аварийно опасных объектов паспортизация позволяет принять решение о прекращении эксплуатации или проведении ремонтных работ. Паспортизация является непрерывным процессом, требующим регулярного обновления и контроля паспортных данных для обеспечения безопасности и надежности электрических сетей.

Паспортизация сооружений выполняется только после выполнения и анализа материалов *обследования* и на основании полученных при этом данных.

Оценка технического состояния конструкций включает осмотр, проверку внешнего вида, поверхности, дефектов и повреждений. Для некоторых элементов может потребоваться дополнительные испытания и измерения их свойств. Затем осуществляется оценка состояния конструкции в целом, учитывая взаимодействие элементов, степень износа и старения. Результаты оценки представляются в виде технического заключения, определяющего возможность дальнейшей эксплуатации конструкций. Это заключение составляется специализированной организацией на основе освидетельствования, обследования и расчетов конструкций.

В материалах технического заключения указывается техническое состояние отдельных конструкций по несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации. *Заключение о техническом состоянии конструкции в целом дается на основе оценки состояния отдельных элементов и узлов.* [6]

Определение ремонтнопригодности электросетевых конструкций осуществляется на основе технических возможностей и экономической целесообразности проведения ремонтных работ. В общем случае, конструкции считаются ремонтнопригодными, если выполняются следующие условия:

– невозможно применить простые технические решения при выполнении ремонтно-вос-

становительных работ. Это может означать, что требуется сложное и дорогостоящее вмешательство для восстановления конструкции;

– количество неработоспособных элементов (узлов), выявленных при обследовании, превышает 10 % от общего их числа. Если значительная часть элементов или узлов имеет повреждения или дефекты, это может свидетельствовать о неремонтопригодности конструкции;

– качество материала конструкции не соответствует основным нормативно-техническим требованиям. Если материалы, используемые в конструкции, не обладают необходимыми характеристиками и не соответствуют стандартам и нормам, это может привести к неремонтопригодности.

В целом состояние сооружений определяется в зависимости от характеристик и условий каждой конструкции. Если конструкция не отвечает требованиям ремонтнопригодности, то могут потребоваться более серьезные меры, такие как замена или перестройка с целью обеспечения безопасной и нормальной эксплуатации электросетевых объектов.

Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности

Для обеспечения технологичности и эксплуатационной безопасности ВЛ необходимо:

1. При строительстве обеспечить технический контроль за производством работ и не допускать необоснованного отклонения от проекта, приводящего к снижению надежности и долговечности ВЛ.

2. При эксплуатации:

– повысить уровень диагностики, так как существующая система диагностики состояния ВЛ недостаточно эффективна, что связано как с отсутствием на объектах электрических сетей технических средств в необходимом объеме, так и недостаточностью методической базы по всему спектру возможных систем диагностики;

– проводить обязательное специальное обследование элементов линий электропередачи ВЛ, эксплуатируемых более 30 лет, с целью определения объемов реконструкции или ремонта [7–10, 20, 21];

– считать обязательным восстановление защитных покрытий при коррозионных потерях;
 – проводить своевременно ремонт элементов ВЛ.

Схема основных этапов экспертизы требований технологической безопасности представлена в виде схемы на рисунке 1.

3. При ремонте и реконструкции:

- при техническом перевооружении и реконструкции ВЛ довести их техническое состояние до требований [11] и других нормативных документов [12–16, 24];
- применять современные технологии и материалы;

- учитывать изменения условий эксплуатации;
- использовать специальные механизмы и средства малой механизации, позволяющие повысить производительность труда и уровень техники безопасности.

Технический отчет, отражающий результаты проведенного обследования, должен содержать:

- анализ нормативной и технической документации по ВЛ (проектной, исполнительской, эксплуатационной);
- материалы обследования элементов ВЛ;
- оценку условий эксплуатации;

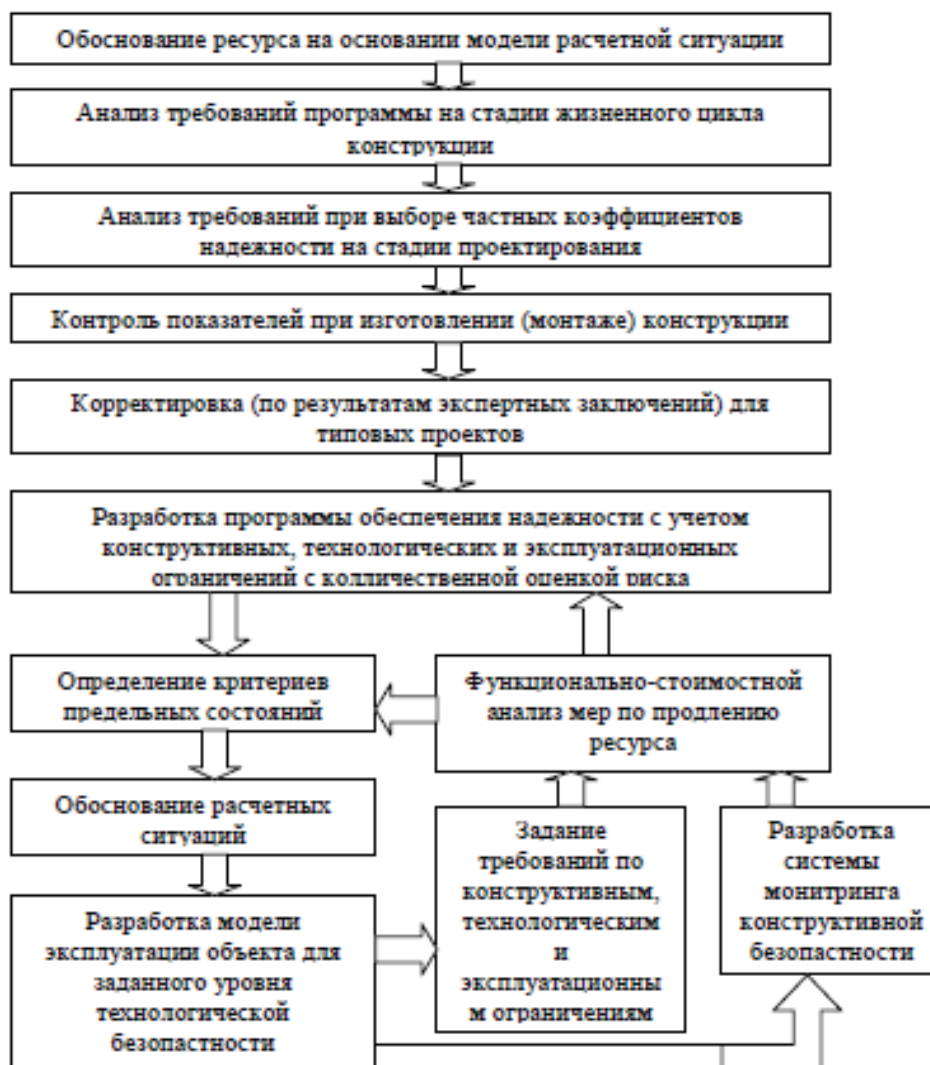


Рисунок 1. Основные этапы экспертизы требований технологической безопасности.

- уточненные данные о нагрузках на элементы ВЛ;
- оценку технического состояния элементов ВЛ;
- рекомендации по поддержанию надежности элементов ВЛ;
- рекомендации по дальнейшей эксплуатации и срокам выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Вся информация о состоянии элементов ВЛ, собранная в процессе обследования и геодезической съемки трассы, классифицируется и заносится в электронные базы служб эксплуатации.

Изучая зарубежный опыт в области отказов воздушных линий электропередач и их последствий, интерес представляет использование страхования линий на основе оценки их технического состояния. В определенных случаях страховые компании проявляют заинтересованность в заключении таких договоров и готовы возмещать ущерб при наступлении страхового случая. Это связано с тем, что при неизменном тарифе за страховую услугу (отключение электроснабжения), выплаты на возмещение убытка при аварии будут покрывать только замену и (или) восстановление проводов, без выплат на восстановление опор. Т. е. при одинаковых рисках – возмещение будет меньше.

При этом для заинтересованности имущественно обособленных владельцев линий страховые компании смогут разработать новые тарифы, что подтолкнет их к внедрению новых способов инженерной защиты

Разработанный в [17] метод расчетной оценки остаточного ресурса позволяет обозначить оптимальную схему управления качеством эксплуатируемых несущих конструкций с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности. Управление осуществляется через механизм страхования и основывается на информации о текущих значениях конструктивных рисков, формируемой в процессе экспертной оценки технического состояния объекта (рис. 2). В предложенной схеме управления конструктивной безопасности способы ее регулирования определяются регламентом и правилами страхования.

Важно отметить, что страхование включает в себя распределение финансового ущерба, выз-

ванного авариями в строительных конструкциях, между участниками страховой программы. Число поврежденных объектов может быть меньше числа участников страхования. Для обеспечения такого распределения ущерба создается специальный страховой фонд, в который участники регулярно вносят взносы. Средства из этого фонда используются только среди его участников, и размер страхового взноса определяется долей каждого участника в распределении ущерба. Чем больше количество участников страхования, тем меньше размер страхового взноса, что делает страхование доступным и эффективным.

Страхование предполагает возвратность платежей в страховой фонд. Размер платежей определяется страховыми тарифами, которые компенсируют возможный ущерб. Главная цель при установлении тарифов – обеспечить достаточное страховое покрытие при минимальных тарифах. Использование соответствующих тарифных ставок позволяет минимизировать страховые платежи страхователей и обеспечить поддержку из страхового фонда. Важно избегать чрезмерного завышения или занижения тарифов, чтобы не нарушить перераспределение средств или создать дефицит в страховом фонде.

Средства, полученные от страховых платежей, финансируют превентивные мероприятия, направленные на предотвращение аварий и обрушений. Цель страховых отношений состоит в снижении вероятности страховых случаев и смягчении страхового риска.

В рамках страхования проводится непрерывная оценка конструктивных рисков и корректировка страховых платежей на основе этой оценки. Это позволяет достичь точного соответствия между уязвимостью строительных конструкций и финансовой ответственностью страховщика. Такая корректировка является экономическим регулятором в области конструктивной безопасности, стимулируя владельцев объектов принимать меры по устранению дефектов и поврежденных или компенсации их негативного влияния на уровень риска аварии.

В системе экономических отношений участников страхования конструктивных рисков регулятором конструктивной безопасности является корректировка страховых тарифов, обеспечивающая реальное соотношение «страховой взнос – качество объекта».

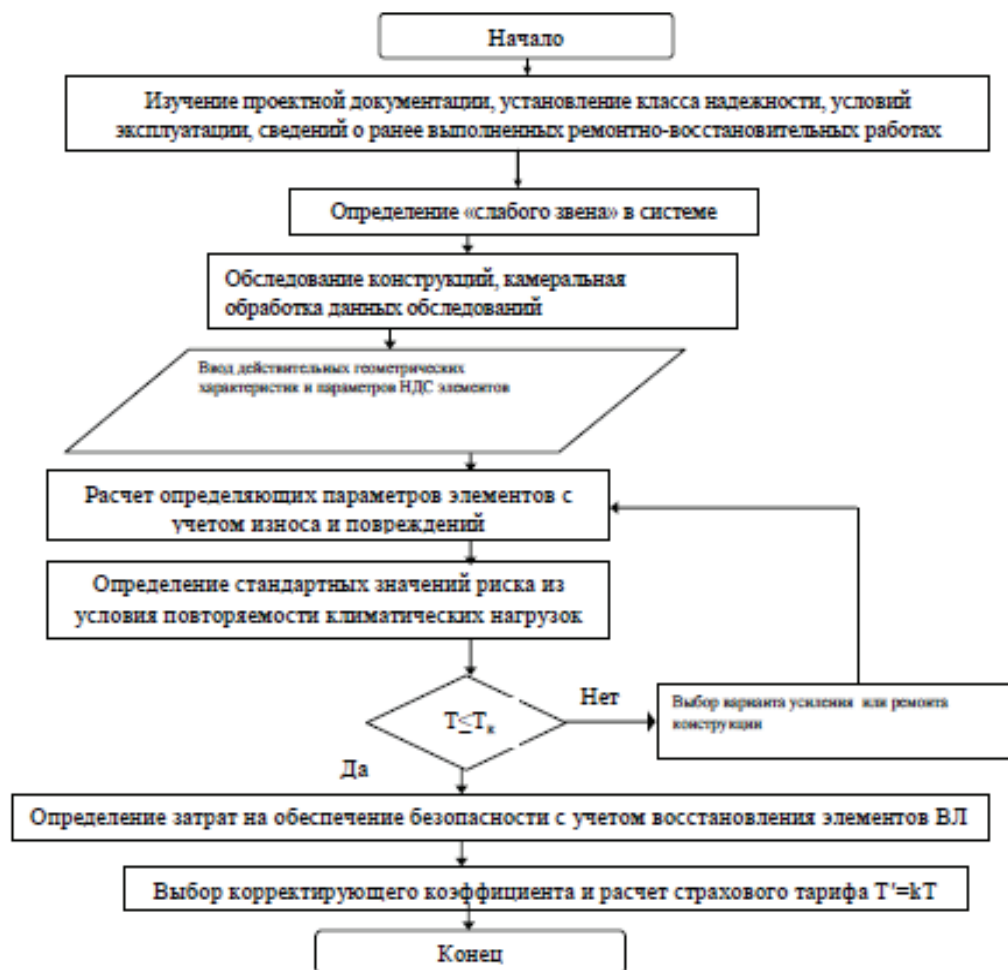


Рисунок 2. Блок-схема вычисления удельных затрат на обеспечение конструктивной безопасности и страховых тарифов.

Для использования предложенного механизма страхования можно конкретизировать направления исследований следующим образом:

- на основе обоснованных расчетно-экспериментальным путем гарантированных интервалов конструктивных рисков исследовать функцию «затраты на безопасность–конструктивный риск» с целью оценки удельных затрат на поддержание безопасности электро-сетевых конструкций;
- разработать предложения по корректировке страховых тарифов в зависимости от фактического уровня конструктивной безопасности;
- разработать алгоритм функционально-стоимостного анализа при выборе варианта вос-

становления антикоррозионной защиты и вариантов усиления конструкций.

Экономическая эффективность обеспечения безопасности эксплуатируемых ВЛ на принципах страховой ответственности

Восстановление первоначальных эксплуатационных показателей и параметров ВЛ и ее элементов обеспечивается разработанной системой капитальных ремонтов. При этом сохранение нормального технического состояния в пределах, предусмотренных проектом и нормативной документацией, достигается соблюдением допустимых значений параметров износа элементов ВЛ. Критерии допустимого износа элементов ВЛ целесообразно устанавливать на основе оценок риска [18].

Максимум эффективности системы обеспечения надежности и безопасности за весь срок службы линии определяется из условия (1):

$$F = \min \left| 3_0 \sum_{t=1}^{t_{cn}} \frac{\alpha_t}{(1+E_H)} + 3_K \sum_{t=1}^{t_{cn}} \frac{\beta_t}{(1+E_H)} + 3_c \sum_{t=1}^{t_{cn}} \frac{1}{(1+E_H)^t} \right|, \quad (1)$$

где 3_0 – затраты, связанные с одним отказом;

3_K – затраты на проведение одного капитального ремонта ВЛ;

α_t – число отказов в году t ;

β_t – число капитальных ремонтов в году t ;

3_c – затраты на страхование;

E_H – коэффициент внутренней экономической эффективности капиталовложений (для предприятий электрических сетей принят $E_H = 0,16$).

При этом суммарные затраты на один капитальный ремонт определялись зависимостью (2):

$$3_0 = Y_{no} + 3_{av} + Y_{эо}, \quad (2)$$

где Y_{no} – ущерб потребителей от перерывов электроснабжения при отказе ВЛ.

$$Y_{no} = (y_1 + \bar{t}_э y_2) \frac{T_{max} P_{max}}{8760}, \quad (3)$$

где y_1 – удельный ущерб потребителя, пропорциональный отключенной мощности, руб./кВ;

y_2 – удельный ущерб потребителя, пропорциональный недоотпуску электроэнергии, грн./кВ ч;

T_{max} – число часов недоиспользования ВЛ;

P_{max} – максимальной нагрузки ВЛ;

$\bar{t}_э$ – среднее время восстановления электроснабжения при отказе ВЛ, часов;

8760 – часов выдачи энергии в году.

Затраты на аварийно-восстановительный ремонт $3_{ав}$ при отказе ВЛ определяются сметной стоимостью работ, связанных с заменой элементов ВЛ.

Ущерб предприятий энергоснабжения, вызванный недоотпуском электроэнергии при отказе ВЛ, определяется:

$$Y_{эо} = \frac{(E_H + a_p) KL + CL}{8760} \cdot \bar{t}_э, \quad (4)$$

где K – удельные капитальные вложения в строительство ВЛ;

a_p – нормативные амортизационные отчисления, уд. ед.;

L – длина ВЛ, км;

C – годовой фонд заработной платы эксплуатационного персонала ВЛ, грн./км.

При капитальном ремонте ВЛ:

$$3_K = Y_{mr} + 3_{кр}, \quad (5)$$

Ущерб потребителя от перерыва электроснабжения на время капитального ремонта ВЛ составит

$$Y_{mr} = y_{mr} \frac{T_{max} P_{max}}{8760 M} t_{кр} n^L, \quad (6)$$

где $t_{кр}$ – продолжительность капитального ремонта ВЛ при работе одной бригады и объеме ремонта $n = 1$;

y_{mr} – удельный ущерб потребителя от недоотпуска электроэнергии на время капитального ремонта;

n – число ремонтных бригад, работающих на ВЛ.

Затраты на капитальный ремонт $3_{кр}$ определяются в соответствии со сметной документацией.

По данным предприятий электрических сетей региона, приведенным в таблице 1, определим экономическую эффективность мероприятий по обеспечению безопасности конструкций на принципах страхования:

$$\mathcal{E} = (3_0 + 3_K) - (3_p + 3_c), \quad (7)$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект;

$(3_0 + 3_K)$ – затраты на возмещение ущербов от обрушения конструкций, включая затраты на демонтаж и восстановление конструкций;

выплаты по невыполненным договорным обязательствам и потери дохода от транс-порта электроэнергии за время восстановления линии, определенные в соответствии с (1–6);

3_p – годовые затраты на поддержание и восстановления требуемого уровня безопасности (эксплуатационные затраты);

3_c – затраты на страхование.

При устранении аварии в виде замены конструкции опоры годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_1 = (250\,114 + 96 \cdot 121,88) - (2\,501 + 3_c) = 25\,9313,5 - 3_c, \text{ руб./тн.}$$

При устранении аварии в виде замены траверс и секции опоры годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_1 = (150\,570 + 45 \cdot 121,88) - (1\,505,7 + 3_c) = 15\,4450 - 3_c, \text{ руб./тн.}$$

Таблица 1. Удельные показатели стоимости и трудоемкости мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатируемых ВЛ

Показатели в пересчете на тонну конструкции	Линия электропередачи 220 кВ		
	Замена всей опоры	Частичная замена опоры (траверсы и средняя секция)	Замена поврежденных элементов
Удельная стоимость аварийного ремонта, руб./тн	250 114	150 570	229 300
Удельная трудоемкость ремонта, чел-ч/тн	24,38	14,14	39,5
Удельные ущербы от перерывов энергоснабжения, руб./кВ-ч	121,88	121,88	121,88
Удельные затраты (эксплуатационные + на профилактические и текущие ремонты), руб./тн	2 501	1 505,7	2 293
Затраты на страхование, руб./тн	В соответствии с тарифом страховой компании		

При устранении аварии в виде замены отдельных элементов опоры годовой экономический эффект составит:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= (229\,300 + 0,25 \cdot 121,88) - (2\,293 + \mathcal{Z}_c) = \\ &= 229\,037 - \mathcal{Z}_c, \text{ руб./тн.} \end{aligned}$$

Анализ расчетов позволяет сделать вывод, что экономический эффект не всегда изменяется пропорционально количеству заменяемых элементов конструкций. Однако если рассматривать экономический эффект в соотношении с массой конструкции, то при замене опоры в целом и нескольких элементов отличия оказываются незначительными.

Расчеты экономической эффективности различных вариантов конструктивных решений выполняется на основании [19].

На основании выполненных сметных расчетов приведем исходные данные для расчета сравнительной экономической эффективности вариантов замены и ремонта опоры.

Расчет экономического эффекта от оптимизации проектных решений выполняем по формуле:

$$\mathcal{E} = (\mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_{c1})\phi + \mathcal{E}_3 - (\mathcal{Z}_2 + \mathcal{Z}_{c2}), \quad (8)$$

где $\mathcal{Z}_1, \mathcal{Z}_2$ – приведенные затраты на заводское изготовление конструкций и материалов по вариантам;

$\mathcal{Z}_{c1}, \mathcal{Z}_{c2}$ – приведенные затраты на производство работ на стройплощадке по вариантам;

ϕ – коэффициент учета изменения срока службы конструкций и материалов по сравнению с базовым вариантом;

\mathcal{E}_3 – экономия в сфере эксплуатации зданий за год их службы.

Сроки службы конструкций по вариантам принимаем для варианта 1 – 10 лет, для варианта 2 – 4 года ($\phi = 0,011$).

Эксплуатационные расходы (затраты на осмотры конструкций, текущие ремонты) за год также примерно одинаковы. Принимаем $\mathcal{E}_3 = 0$.

Экономический эффект определяем как разницу приведенных затрат по вариантам. Приведенные затраты определяем по формуле:

$$\mathcal{Z}_i = C_i \phi + E_n K_i, \quad (9)$$

где E_n – среднеотраслевой коэффициент эффективности капитальных вложений (принят 0,15).

В расчете на одну опору:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{2-1} &= 5\,063,548 - 22,935/0,011 = \\ &= 2\,978,548 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

На основании выполненных сметных расчетов можно утверждать, что экономический эффект от замены конструкций будет весьма значительным и составит 2 978 тысяч рублей. Это подтверждает выгодность внедрения мероприятий по замене и обновлению элементов конструкций в электрических системах.

Таблица 2. Показатели для расчета экономической эффективности

Показатели	Ед. изм.	Варианты	
		Полная замена опоры	Замена поврежденных элементов
1. Трудоемкость работ	чел-час	624,24	4,94
2. Себестоимость работ, в том числе:	тыс. руб.	5 063,548	22,935
– прямые затраты,	тыс. руб.	4 758,821	20,518
– материалы;		4 371,434	17,409
– основная зарплата рабочих;		142,476	1,146
– эксплуатация машины механизмов	тыс. руб.	200,437	1,625
– зарплата машинистов	тыс. руб.	44,473	0,336

Кроме того, при замене отдельных элементов значительно повышается надежность конструкций [17], что существенно снижает риск возникновения отказов в линии. В результате, страховые коэффициенты требуется пересмотреть и возможно предложить страхование на более длительный срок с тем же страховым тарифом. Такой подход позволит распределить сумму страхового взноса на более продолжительный период, обеспечивая стабильное финансирование и покрытие рисков в течение более длительного времени.

Таким образом, замена и модернизация конструкций электрических систем приводят к положительным экономическим и техническим результатам, повышают надежность и снижают риски аварийных отказов. Это подтверждает необходимость инвестиций в обновление электрических систем с целью обеспечения их долгосрочной устойчивости и безопасности. Внедрение системы страхования конструкций дополняет эти усилия, способствуя сокращению финансовых затрат на ремонт и восстановление, а также стимулируя улучшение мониторинга, обследования и планового ремонта линий электропередач со стороны владельцев системы. Такая система эффективно управляет рисками, связанными с отказами и авариями, и значительно способствует обеспечению надежности и безопасности электрической системы. В результате замены и модернизации конструкций, а также внедрения системы страхования, создается устойчивая и безопасная электрическая инфраструктура.

Выводы

1. Применение предложенной методики по оптимальному планированию реконструкции ВЛ позволит существенно повысить качество эксплуатации воздушных линий, своевременно выявить и устранить значительное количество несовершенств, спрогнозировать места возникновения аварий в случае увеличения климатических нагрузок и, таким образом, существенно повысить эксплуатационную надежность ВЛ.
2. Предложенные методы определения остаточного ресурса на строительные конструкции опор ВЛ позволяют не только получать данные о реальном техническом состоянии ВЛ, но и использовать в дальнейшем инструмент привлечения материальных средств для реконструкции и переоснащения ВЛ как страхование.
3. Разработано алгоритмическое описание задачи вычисления удельных затрат на обеспечение конструктивной безопасности и страховых тарифов.
4. Обоснована экономическая эффективность использования механизма страхования электросетевых конструкций для предупреждения и возмещения ущерба от обрушений конструкций. Годовой экономический эффект для предприятий электрических сетей с учетом всех видов ущербов составляет 2,98 млн рублей при замене элементов в отличие от полного восстановления опоры У220-2р+9, стоимость которой составляет 2,545 млн рублей.

Литература

1. Аэродинамика электросетевых конструкций / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим]. – Донецк : Компьютер Норд, 2000. – 336 с. – Текст : непосредственный.
2. Определение остаточного ресурса металлических опор ВЛ / Е. В. Горохов, Е. В. Шелихова, Я. В. Назим [и др.]. – Текст : непосредственный // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине ; под редакцией Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка : РИО ДонНАСА, 2008. – С. 66 – 80.
3. Оптимальное проектирование и экспериментальные исследования решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2022. – № 3 (20). – С. 30–36.
4. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа [и др.]. – Текст : непосредственный // MATEC Web of Conferences : 5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», October 16-17, 2016, Moscow, Russia. – 2016. – Volume 86, 04003. – P. 19–28.
5. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.]. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2010. – Том 6, № 2. – С. 113–130.
6. СТО 56947007-29.240.55.111-2011. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». Методические указания по оценке технического состояния ВЛ и остаточного ресурса компонентов ВЛ : утверждён и введён в действие Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 30.12.2011 № 817 : введен впервые : дата введения 2011-12-30 / разработчик ОАО «НТЦ электроэнергетики». – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 85 с. – Текст : непосредственный.
7. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г. Г. Азгальдов. – Москва : Стройиздат, 1989. – 272 с. – Текст : непосредственный.
8. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 81–97.
9. Бакаев, С. Н. Повышение надежности эксплуатации воздушных линий электропередач (комплекс работ и предложений по действующим ВЛ) / С. Н. Бакаев, Н. С. Смирнова, В. В. Моргай. –

References

1. Gorokhov, E. V.; Kazakevich, M. I.; Shapovalov, S. N.; Nazim Ya. V. Aerodynamics of electric grid structures. – Donetsk : Computer Nord, 2000. – 336 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Gorokhov, E. V.; Shelikhova, E. V.; Nazim, Ya. V. [et al.]. Determination of the residual resource of metal overhead poles. – Text : direct. – In: *Efficiency of energy construction and operation in Ukraine*; edited by E. V. Gorokhov and G. I. Grimud. – Makeevka : RIO DONNASA. – 2008. – P. 66–80. (in Russian)
3. Gorokhov, E. V.; Vasylev, V. N.; Bakaev, S. N. [et al.]. Optimal design and experimental studies of lattice metal structures of overhead power lines. – Text : direct. – In: Scientific and practical journal «Stroitel Donbassa». – 2022. – № 3 (20). – P. 30–36. (in Russian)
4. Pustogvar, A. P.; Tanasoglo, A. V.; Garanzha, I. M. [et al.]. Optimal design of lattice metal structures of overhead power lines. – Text : direct. – In: **MATEC Web of Conferences** : 5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», October 16–17, 2016, Moscow, Russia. – 2016. – Volume 86, 04003. – P. 19–28. (in Russian)
5. Gorokhov, E. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. N. [et al.]. Ways to improve the reliability of overhead lines, taking into account the coordination of the strength of elements in areas with increased icy-wind loads. – Text : direct – In: *Suchasne promislove ta civilne budivnitsvo*. – 2010. – Volume 6, No. 2. – P. 113–130. (in Russian)
6. STO 56947007- 29.240.55.111-2011 . The standard of the organization of JSC «FSK EES». Methodological guidelines for assessing the technical condition of overhead lines and the residual life of overhead line components. – Moscow : JSC «FSK EES», 2011. – 85 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Azgaldov, G. G. Qualimetry in architectural and construction design. – Moscow : Stroyizdat, 1989. – 272 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Gorokhov, E. V.; Bakaev, S. N.; Nazim, Ya. V. [et al.]. Analysis of the causes and consequences of accidents on the 330 kV overhead line sections of the Dzhankoy MPN of the Crimean electric power system of the NEC «Ukrenergo». – Text : direct. – In: *Metal construction*. – 2010. – Volume 16, No. 2. – P. 81–97. (in Russian)
9. Bakaev, S. N.; Smirnova, N. S.; Morgai, V. V. Improving the reliability of operation of overhead power lines (a set of works and proposals for existing overhead lines). – Text : direct. – In: *Metal structures*. – 2015. – Volume 21, No. 3. – P. 147–165. (in Russian)
10. Gorokhov E. V., Nazim Ya. V., Bakaev S. N. [et al.]. Full-scale illumination of 220-330 kV overhead lines in complex microclimatic conditions determined by the terrain. – Text : direct.– In: *Proceedings of the VII Ukrainian scientific and technical conference on metal structures*, 2000, Dnepropetrovsk. –

- Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2015. – Том 21, № 3. – С. 147–165.
10. Натурное освидетельствование ВЛ 220-330 кВ в сложных микроклиматических условиях, обусловленных рельефом местности / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Труды VII Украинской научно-технической конференции по металлическим конструкциям, 2000, Днепропетровск. – Днепропетровск : ОАО «ЗМК им. Бабушкина», 2000. – С. 195-198.
 11. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» : видання офіційне / Міністерство палива та енергетики України. – Київ : ГРІФРЕ, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України). – Текст : непосредственный.
 12. МЭК 60652(2002). Опоры воздушных линий электропередачи. Испытания механическими нагрузками = IEC 60652(2002). Loading tests on overhead line structures : взамен IEC 60652(1979) : перевод с английского : дата введения 2002-06-28 / разработчик ТС 1. – 2002. – 16 с. – Текст : непосредственный.
 13. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением выше 1кВ (к СНиП II-23-81*) / Энергосетьпроект Минэнерго СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 72 с. – Текст : непосредственный.
 14. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб : утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 3 декабря 2001 г. № 56. – Москва : Госгортехнадзор РФ, 2001. – 19 с. – Текст : непосредственный.
 15. Правила устройства электроустановок / Министерство энергетики Российской Федерации ; [9-е издание]. – Москва : Энергоатомиздат, 2019. – 115 с. – Текст : непосредственный.
 16. СОУ-Н ЕЕ 20.579:2009. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання : видання офіційне : затверджено наказом від 16.01.2009 р. № 12 : чинні від 2009-04-16 / розробник Українська науково-технічна електроенергетична асоціація «Аселенерго». – Київ : НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2009. – 94 с. – Текст : непосредственный.
 17. Турбин, С. В. Методика определения предельных нагрузок на металлические опоры ВЛ / С. В. Турбин, Н. С. Смирнова. – Текст : непосредственный // Многогранные гнутые стойки (МГС) : сборник докладов II международной конференции, 2007 г., Николаевка ; 1-е изд. – Днепропетровск : [б. и.], 2007. – С. 218–229.
 - Dnepropetrovsk : JSC «ZMK named after Babushkina», 2000. – P. 195–198. (in Russian)
 11. Rules for electrical installations. Chapter 2.5 «Overhead power transmission lines with voltage above 1 kV to 750 KV» : official publication / Ministry of fuel and energy of Ukraine. – Kiev : GRIFRE publ., 2006, III, 125 P. (regulatory document of the Ministry of fuel and energy of Ukraine). – Text : direct. (in Ukraine)
 12. MEC 60652(2002). Supports of overhead power transmission lines / developer TS 1. – 2002. – 16 p. – Text : direct. (in Russian)
 13. Manual on the design of steel structures for overhead transmission lines (TL) and open switchgear (OS) substations with a voltage above 1 kV (to SNiP II-23-81*) / Energosetproject of the Ministry of Energy of the USSR. – Moscow : Central Institute of Standard Design, 1989. – 72 p. – Text : direct. (in Russian)
 14. Safety rules for the operation of smoke and ventilation industrial pipes: approved by Resolution of Gosgortehnadzor of the Russian Federation no. 56 dated December 3, 2001. – Moscow : Gosgortehnadzor of the Russian Federation, 2001. – 19 p. – Text: direct. (in Russian)
 15. Rules for electrical installations / Ministry of Energy of the Russian Federation; [9th edition]. – Moscow : Energoatomizdat, 2019. – 115 p. – Text : direct. (in Russian)
 16. SOW-N EE 20.579:2009. Climate data for determining loads on overhead power lines. Methodology of processing: official publication / developer Ukrainian scientific and technical Electric Power Association «Aselenergo». – Kiev : NTSEU, OEP «GRIFRE», 2009. – 94 p. – Text : direct. (in Ukraine)
 17. Turbin, S. V.; Smirnova, N. S. Method for determining limit deviations on metal supports of overhead lines. – Text : direct. – In: *Polyhedral bent racks (PBR)* : collection of reports of the II international conference, 2007, Mykolaiv ; 1st Ed. – Dnepropetrovsk : [s. n.], 2007. – P. 218–229. (in Russian)
 18. Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. N.; Bakaev, S. N. [et al.]. Experimental studies of KGP-type fastening units to ensure the reliability of overhead lines. – Text: direct. – In: *Metal construction*. – 2010. – Volume 16, No. 3. – P. 199–208. (in Russian)
 19. Streletskiy, N. S. Fundamentals of statistical accounting of the coefficient of safety margin of structures. – Moscow : Stroyizdat, 1947. – 94 p. – Text : direct. (in Russian)
 20. Flyvbjerg, B.; Holm, M. S.; Buhl, S. L. Underestimating costs in public works projects: Error or lie? – Text : direct. – In: *Journal of the American Planning Association*. – 2018. – Volume 84(3). – P. 229–246. (in English)
 21. Stangenberg, F.; Breitenbucher, R.; Bruns O. T. [et al.]. Concepts of design of structures focused on service life. – Berlin : Springer-Verlag, 2009. – 723 p. – Text : direct. (in English)

18. Экспериментальные исследования узлов крепления типа КГП для обеспечения надежности ВЛ / Я. В. Назим, В. Н., Васильев, С. Н. Бакаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 3. – С. 199–208.
19. Стрелецкий, Н. С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений / Н. С. Стрелецкий. – Москва : Стройиздат, 1947. – 94 с. – Текст : непосредственный.
20. Flyvbjerg, B. Underestimating costs in public works projects: Error or lie? / B. Flyvbjerg, M. S. Holm, S. L. Buhl. – Текст : непосредственный // Journal of the American Planning Association. – 2018. – Volume 84(3). – P. 229–246.
21. Lifetime-oriented structural design concepts / F. Stangenberg, R. Breitenbücher, O. T. Bruhns [et al.]. – Berlin : Springer-Verlag, 2009. – 723 p. – Текст : непосредственный.
22. O'Connor, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering / Patrick D. T. O'Connor, Andre Kleynner ; fourth edition. – Chichester : Wiley, 2002. – 548 p. – Текст : непосредственный
23. Rausand, M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications / M. Rausand, A. Høyland ; second edition. – Hoboken, NJ : Wiley-Interscience, 2004. – 672 p. – Текст : непосредственный.
24. Waeyenbergh, G. A framework for maintenance concept development / G. Waeyenbergh, L. Pintelon. – Текст : непосредственный // Production Economics. – 2002. – Volume 77. – P. 299–313.
22. O'Connor, Patrick D. T.; Kleiner, Andre. Practical Reliability Engineering ; fourth edition. – Chichester : Wiley, 2002. - 548 p. – Text : direct. (in English)
23. Rausand, M.; Heyland, A. Theory of reliability of systems: models, statistical methods and applications ; second edition. – Hoboken, New Jersey : Wiley-Interscience, 2004. – 672 p. – Text : direct. (in English)
24. Weyenberg, G.; Pintelon L. The basis for the development of the concept of maintenance. – Text : direct. – In: The economics of production. – 2002. – Volume 77. – P. 299–313. (in English)

Горохов Евгений Васильевич – доктор технических наук, профессор, президент ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», заведующий кафедрой металлических конструкций и сооружений. Иностраный член Российской Академии архитектуры и строительных наук, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины, Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Смирнова Наталья Сергеевна – старший преподаватель кафедры металлических конструкций и сооружения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, обеспечение безотказности воздушных линий электропередачи на основе теории управления рисками.

Шелихова Елена Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры экономики, экспертизы и управления недвижимостью ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка эффективности инженерных решений в строительстве; экономика эксплуатации строительных объектов.

Горохов Євген Васильович – доктор технічних наук, професор, президент ФДБОУ ВП «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», завідувач кафедри металевих конструкцій і споруд. Іноземний член Російської Академії архітектури і будівельних наук, академік Академії Вищої школи і Академії будівництва України, Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі і споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні навантаження на будівельні конструкції.

Смирнова Наталія Сергіївна – старший викладач кафедри металевих конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, забезпечення безвідмовності повітряних ліній електропередавання на основі теорії управління ризиками.

Шеліхова Олена Вікторівна – кандидат технічних наук; доцент кафедри економіки, експертизи і управління нерухомістю ФДБОУ ВП «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка ефективності інженерних рішень у будівництві; економіка експлуатації будівельних об'єктів.

Gorokhov Yevgen – D. Sc. (Eng.), Professor; President of FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», the Head of the Metal Structures and Constructions Department. Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, academician of the Academy of Higher Education and the Academy of Civil Engineering of Ukraine, Member of the International Committee of study of wind effects on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

Smirnova Natalia – is a senior lecturer, at Metal Structure and Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: operational reliability and longevity of power supply structures, and protection of overhead power transmission lines on the basis of the theory of risk management.

Shelikhova Helen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Economics, Expertise and Real Estate Management Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: an estimation of efficiency of engineering decisions in building; economy of operation of construction sites.