

Научная статья

УДК 33.05

DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-03>

Расчет показателей готовности выездных бригад на основе модели комплексных аварий на объектах критической инфраструктуры

С.С. Михайлова¹, С.В. Мацевич², А.С. Захаров³, Д.А.Шарипов⁴, А.В.Петровский⁵

¹⁻⁴ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия)

^{3,5} МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)

¹ DMath@fa.ru, ² cvmac@mail.ru, ³ zakharov.as17@physics.msu.ru, ⁴ dasharipov@fa.ru,

⁵ houndsofhade@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях стремительного роста мегаполисов и увеличения нагрузки на энергетическую инфраструктуру актуальной становится проблема повышения эффективности работы выездных бригад энергетических компаний. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежности и бесперебойности энергоснабжения, что особенно важно в контексте указов и инициатив Президента Российской Федерации, направленных на защиту энергоресурсов и повышение устойчивости энергетической системы.

Цель. Разработать модель и методику для прогнозирования аварийных ситуаций и оценки готовности ремонтных бригад и ресурсов, что позволит диспетчерам ситуационных центров оперативно принимать решения и минимизировать время восстановления энергоснабжения.

Результаты. Предложена модель аварийной ситуации, учитывающая параметры объектов энергетической инфраструктуры, такие как вероятность аварии, сложность и состояние объекта, а также параметры ремонтных баз, включая состояние автотранспорта, уровень подготовки бригад и наличие необходимого оборудования. Формализована модель аварийной ситуации с учетом сложности и вероятного ущерба. На основе модели и результатов расчета вероятности аварийной ситуации введены показатели готовности ремонтной бригады.

Практическая значимость. Создание научно-обоснованной системы поддержки принятия решений для операторов дежурной смены способствует повышению оперативности и надежности работы энергетических компаний в условиях мегаполисов.

Ключевые слова

Объекты критической инфраструктуры, модель аварий, показатели готовности, прогнозирование, машинное обучение

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств Научного фонда Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Для цитирования

Михайлова С.С., Мацевич С.В., Захаров А.С., Шарипов Д.А., Петровский А.В. Расчет показателей готовности выездных бригад на основе модели комплексных аварий на объектах критической инфраструктуры // Нелинейный мир. 2025. Т. 23. № 3. С. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-03>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные мегаполисы переживают активное развитие, что сопровождается ростом нагрузки на городскую инфраструктуру, включая энергетические системы [1–4]. Электроэнергия – важнейший ресурс, обеспечивающий функционирование городов и безопасность населения [5–9]. В связи с этим проблемы обеспечения надежности и бесперебойности энергоснабжения приобретают особую значимость. Действующие законодательные акты подчеркивают [3–5] необходимость защиты энергоресурсов и повышения устойчивости энергетической инфраструктуры. Это требует внедрения современных технологий управления и контроля, направленных на минимизацию рисков аварий и оперативное восстановление энергоснабжения.

Ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы энергетических систем играют диспетчеры ситуационных центров энергетических компаний [10]. Они отвечают за координацию действий ремонтных бригад и восстановление энергетических объектов в случае аварий. Однако про-

цесс принятия решений диспетчерами осложняется множеством факторов, включая необходимость контроля состояния автопарка, уровня подготовки бригад, а также динамической обстановки на дорогах. В таких условиях важным инструментом для повышения эффективности работы диспетчеров становится система поддержки принятия решения (СППР) [11–14]. Частной задачей, решаемой СППР, является прогнозирование аварийных ситуаций и оценка готовности сил и средств для их ликвидации.

Таким образом, для сокращения времени восстановления энергоснабжения необходимо определить такие интегральные показатели, на основании которых диспетчер ситуационного центра сможет оперативно оценить состав сил и средств для ликвидации аварийной ситуации, основанные на исходных данных.

Ц е л ь р а б о т ы – разработать модель и методику для прогнозирования аварийных ситуаций и оценки готовности ремонтных бригад и ресурсов, что позволит диспетчерам ситуационных центров оперативно принимать решения и минимизировать время восстановления энергоснабжения.

Для достижения этой цели необходимо получить рациональные показатели эффективности ремонтной бригады по устранению аварий в зависимости от сложности аварии и степени возможного ущерба.

Модель аварийной ситуации

Рассмотрим следующую модель, состоящую из объектов энергетической инфраструктуры A и ремонтных баз B . Данная модель позволяет осуществить оценку возможностей ремонтной базы по ликвидации аварии на объектах энергетической инфраструктуры. Каждый объект a_i описывается определенным набором параметров (табл. 1).

Таблица 1. Параметры объектов энергетической инфраструктуры

Название	Значения	Описание
Приоритет ремонта – π	{1,2,3,4,5}	Объекты с первым приоритетом должны быть обслужены в первую очередь, затем со вторым приоритетом и т.д. Данный параметр необходим при решении логистических задач
Вероятность аварии – $p(t)$	[0,1]	Поскольку данная величина обладает достаточно низкой скоростью изменения, ее можно считать непрерывной в течение некоторого широкого промежутка времени (в частности, в течение 12 ч). Определяется по результатам прогноза исторических данных об авариях и дает частную оценку опасности возникновения аварии
Вероятность аварии на n объектах – $P(n, t)$	[0,1]	Комбинированная величина, позволяющая оценить вероятность аварии на n объектах одновременно. Формируется из частных вероятностей $p(t)$ и дает общую оценку опасности возникновения аварии
Сложность аварии – d	{1,2,3}	Показатель сложности аварии, определяющий силы и средства, необходимые для ее ликвидации. На рис. 1 показана зависимость времени ликвидации трех типов аварий от среднего опыта работы выездных бригад
Состояние объекта – $\sigma(t)$,	[0,100]	Процентный показатель состояния объекта инфраструктуры. Определяет вероятность возникновения аварии (рис. 2)
Ущерб – U	тыс. рублей	Цена ущерба из-за аварии. Применяется при оценке общего ущерба возникшей аварии, а также при оценке дополнительного ущерба, если аварию не удалось ликвидировать за доступное время

Данные параметры позволяют сформировать модель аварии на объекте энергетической инфраструктуры.

В качестве исходных данных расчета вероятности аварии $p(t)$ использовались синтетические данные о выходной мощности в течение 5 лет работы. Данные были предварительно обработаны: удалены выбросы и заполнены пропуски, выполнена нормализация для улучшения качества обучения моделей. В частности, была применена модель временных рядов (ARIMA, Exponential Smoothing) для выявления трендов и сезонности в данных и прогнозирования будущих значений мощности (рис. 3).

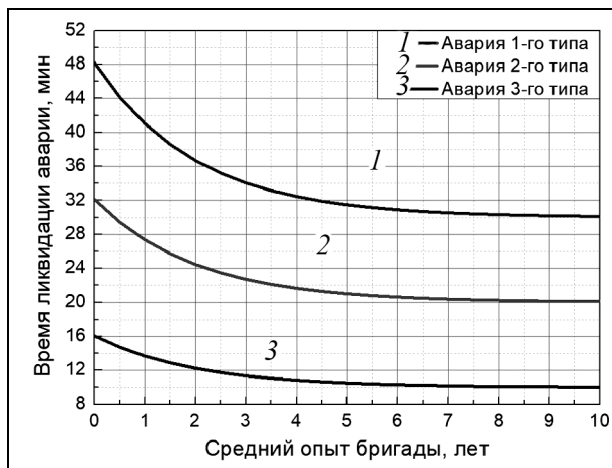


Рис. 1. Графики зависимости времени ликвидации трех типов аварий от среднего опыта работы выездных бригад

Fig. 1. Graphs of the dependence of the response time of three types of accidents on the average experience of field teams

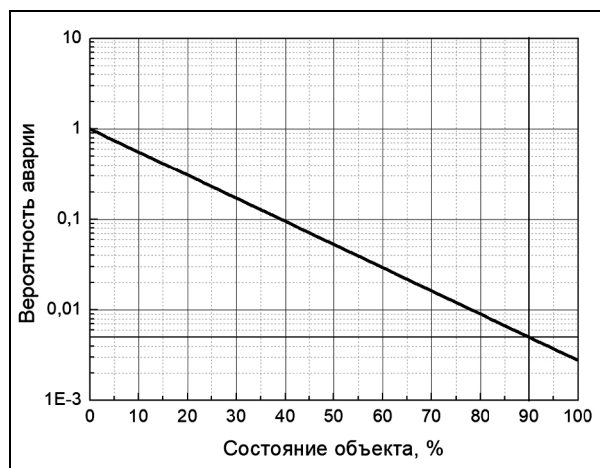


Рис. 2. График зависимости вероятности возникновения аварии от состояния объекта

Fig. 2. Diagram of accident occurrence probability versus facility condition

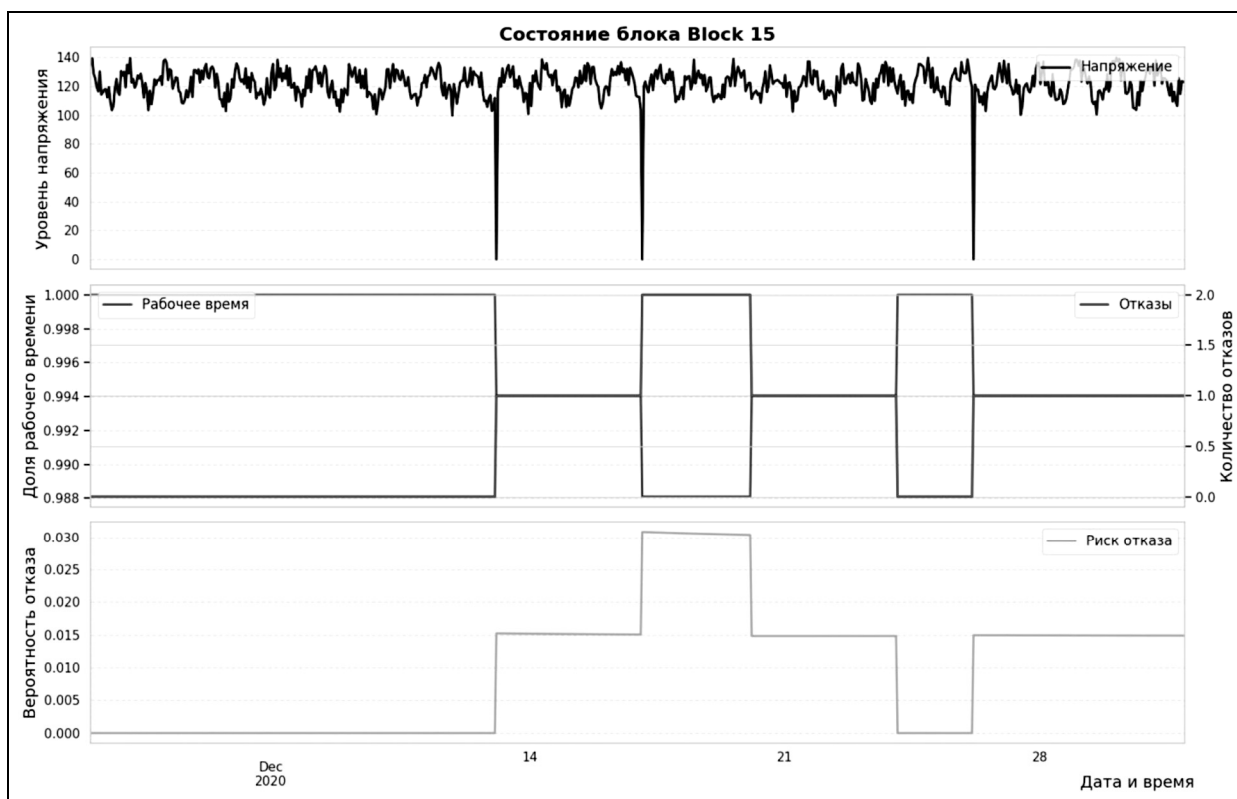


Рис. 3. Временные ряды выходной мощности

Fig. 3. Time series of output power

Верхний график на рис. 3 демонстрирует динамику уровня напряжения блока № 15 за последние 30 дней, где стабильные показатели (ровные участки) соответствуют нормальной работе, а резкие отклонения и нулевые значения – потенциальным сбоям. Визуализация позволяет отслеживать корреляцию между колебаниями напряжения и расчетным риском отказа, выделяя периоды повышенной уязвимости системы.

Прогнозирование осуществлялось на основании рекуррентной нейронной сети. Обучение проводилось на исторических данных за первые 4 года, а последний год данных использовался для валидации и оценки качества прогнозов. Для оценки моделей применялись метрики точности

(ассигасу), полноты (recall), а также калибровочная кривая для оценки качества прогнозирования вероятности.

Расчет оценка вероятности аварии на одном объекте (рис. 4) осуществляется на основании формулы

$$p(t) = \exp\left(-\frac{\sigma(t)}{\lambda}\right),$$

где λ – параметр надежности объекта, описывающий количество дней между техническим обслуживанием.

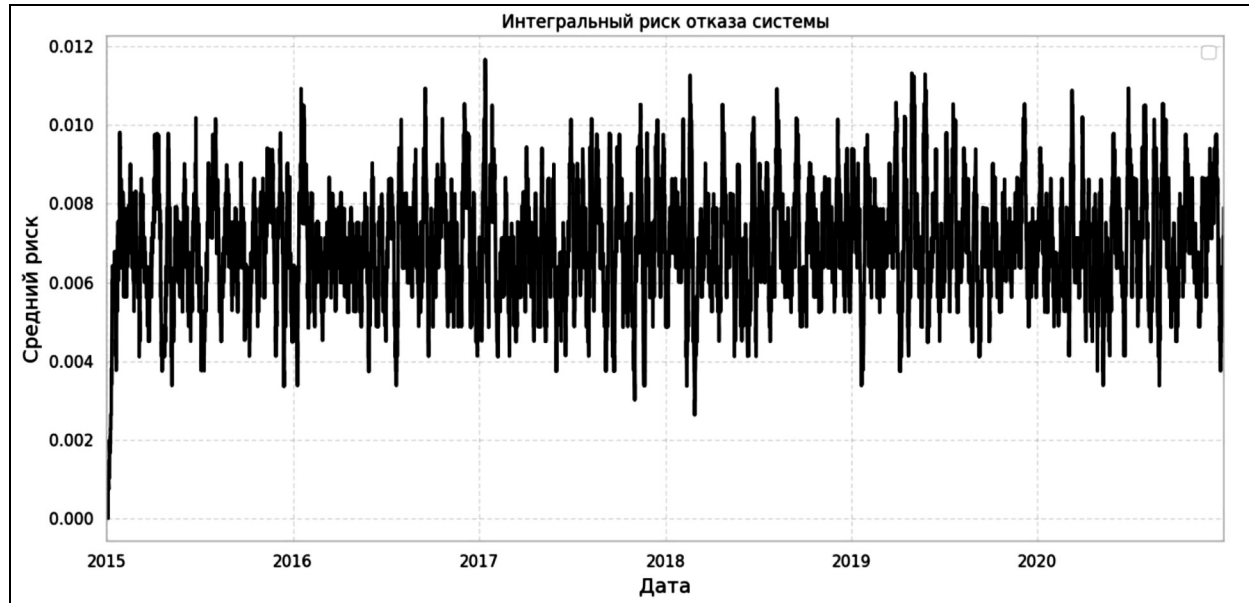


Рис. 4. Графическое представление вероятности аварийной ситуации

Fig. 4. Graphical representation of the probability of an emergency

На рис. 4 отображен усредненный риск отказа всей системы, рассчитанный как среднее арифметическое индивидуальных рисков сорока блоков за пятилетие работы. Пиковые значения указывают на периоды синхронного ухудшения состояния компонентов, характерные для каскадных отказов или внештатных нагрузок, что позволяет прогнозировать системные кризисы. Плавные колебания кривой отражают взаимозависимость блоков, а резкие скачки — критическое накопление отказов, требующее оперативного вмешательства.

Расчет вероятности $P(x, t)$ имеет следующий нетривиальный вид (пусть $q(t)=1-p$):

$$\begin{aligned} P(0, t) &= \prod_{i=1}^N p_i(t) = P(t), \\ P(1, t) &= \sum_{i=1}^N q_i(t) \prod_{j \neq i} p_j(t) = \sum_{i=1}^N \frac{q_i(t)}{p_i(t)} P(t) = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i P, \\ P(2, t) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j > i}^N q_i(t) q_j(t) \prod_{j \neq i} p_j(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j > i}^N \frac{q_i(t) q_j(t)}{p_i(t) p_j(t)} P = \sum_{i < j}^N \epsilon_{ij} P, \\ P(3, t) &= \sum_{i < j < k}^N \frac{q_i(t) q_j(t) q_k(t)}{p_i(t) p_j(t) p_k(t)} P = \sum_{i < j}^N \theta_{ijk} P. \end{aligned}$$

Как видно из приведенных выражений, расчет вероятностей для большего количества аварий значительно усложняется и требует больше времени. Поэтому в рамках данной работы предлагается ограничиться расчет вероятностей аварии не более чем на трех объектах. Важную особенность в таком случае будет представлять анализ тренда вероятности аварии. До тех пор, пока вероятность аварии на двух объектах будет больше вероятности аварии на трех объектах (отсутствие тренда), можно ограничиться данным количеством информации.

Каждая ремонтная база b_i описывается определенным набором параметров (табл. 2).

Таблица 2. Параметры ремонтных баз

Название	Значения	Описание
Автотранспорт – C	$\{N, \Omega, f\}$	Автопарк характеризуется списком автотранспорта, имеющегося на ремонтной базе. Каждый тип автотранспорта c_i при этом обладает ключевыми параметрами, такими как N – количество автотранспорта данного типа, Ω – техническое состояние, %, f – расход топлива, л/км
Выездные бригады – K	$\{\text{ФИО}, e\}$	Каждый представитель ремонтной бригады описывается его ФИО и опытом работы e , а каждая бригада k – средним опытом работы $\langle e \rangle$. Чем выше опыт работы бригады, тем быстрее они ликвидируют аварию
Ремонтный ресурс базы – S	$\{s_0, s_1, s_2, s_3\}$	Детальное описание ремонтного ресурса каждой ремонтной базы является крайне сложной задачей, поэтому для упрощения ремонтный ресурс разделен по сложности аварии: s_0 – для всех типов аварий, s_1 – для ликвидации аварии первого типа, s_2 – второго типа, s_3 – третьего типа. При этом $s_i \in [0, 100]$

Поскольку процесс возникновения и ликвидации аварий имеет динамический характер, введем дискретный шаг по времени. Пусть $\Delta t = 15$ мин – промежуток времени проверки возникновения аварии на объекте, $dt = 1$ мин – шаг моделирования. Условие успешной ликвидации аварии представляет собой нахождение вектора W :

$$W = W(C_0, K_0, S_0, T_{\text{общ}}),$$

где C_0 – количество и тип автотранспорта, необходимого для ликвидации аварии; K_0 – состав выездной бригады, необходимый для ликвидации аварии; S_0 – перечень средств, необходимых для ликвидации аварии; $T_{\text{общ}}$ – время, за которое выездная бригада прибудет на место аварии и ликвидирует ее.

Формализация задачи оптимизации сил и средств ремонтной базы в таком случае будет выглядеть следующим образом:

$$M : \tau_{\text{opt}} = \min \tau(L(C(N, \Omega, f), t, R)),$$

где τ_{opt} – оптимальное время в пути до места аварии; L – маршрут от ремонтной базы до места аварии, зависящий от выбранного автотранспорта C , текущего времени t и эффективности алгоритма поиска кратчайшего пути R .

Дополнительным условием является оптимизация времени ликвидации аварии, которое можно представить в виде

$$\tau_{\text{рем}} = F(C(N, \Omega, f), K(k, e), S(s_0, s_1, s_2, s_3), d) + G(\sigma, \pi).$$

Формализация показателей готовности

Для решения задачи обеспечения ОДС информацией о возможностях ремонтной базы и автотранспорта по ликвидации аварии необходимо ввести показатель готовности автотранспорта ω , равный

$$\omega = \frac{N_{\text{усп}}}{N_{\text{общ}}},$$

где $N_{\text{усп}}$ – количество успешно ликвидированных аварий; $N_{\text{общ}}$ – общее число возникших аварий.

Данный показатель демонстрирует способность ремонтной базы обеспечить автотранспортом выездные бригады для успешной ликвидации аварии. Для предоставления более полной и наглядной информации предлагается использование *трех показателей готовности*:

ω_1 – готовность к ликвидации аварии 1-го уровня сложности на любом объекте в текущем районе;

ω_2 – готовность к ликвидации аварий 2-го уровня сложности на любом объекте в текущем районе;

ω_3 – готовность к ликвидации аварий 3-го уровня сложности на любом объекте в текущем районе.

Для наглядной визуализации данной информации предлагается ввести цветовую дифференциацию показателей готовности. Поскольку расчет параметров надежности осуществляется за счет проведения имитационного моделирования стационарных случаев возникновения аварии – без рассмотрения эволюции системы во времени, данные параметры могут быть рассчитаны при необходимости.

Таблица 3. Описание цветовой индикации информации о готовности автотранспорта

Цвет	Диапазон значений	Описание
Зеленый	$> 99,995\%$	Автотранспорта на ремонтной базе достаточно для успешной ликвидации аварий
Желтый	$95\% - 99,995\%$	Автотранспорта на ремонтной базе достаточно для ликвидации аварий с заданной степенью вероятности
Красный	$< 95\%$	Автотранспорта на ремонтной базе недостаточно для ликвидации аварий с заданной степенью вероятности

Поскольку каждая авария имеет вероятность возникновения $p(t)$, из которой может быть рассчитана вероятность возникновения N аварий, то в качестве дополнительных индикаторов предлагается ввести прогнозные показатели готовности автотранспорта χ :

$$\chi = \frac{N_{\text{усп}}}{N_{\text{общ}}}.$$

При этом χ_1 – готовность автотранспорта к ликвидации аварий 1-го уровня сложности в текущем районе, число объектов $N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$; χ_2 – готовность автотранспорта к ликвидации аварий 2-го уровня сложности в текущем районе, количество объектов $N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$; χ_3 – готовность автотранспорта к ликвидации аварий 3-го уровня сложности в текущем районе, количество объектов $N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$.

Прогноз вероятности $p(t)$ делается на момент времени $t + \Delta t$, где Δt – заданный горизонт прогноза.

Дополнительно каждая ремонтная база должна обладать показателем готовности к ликвидации аварии, выражающемся в способности обеспечить заданное количество выездных бригад необходимым снаряжением для ликвидации аварий. Этот показатель определяется так:

$$\psi = \frac{N_{\text{усп}}}{N_{\text{общ}}}.$$

При этом ψ_1 – готовность ремонтной базы к ликвидации аварий 1-го уровня сложности в текущем районе, количество объектов $N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$; ψ_2 – готовность ремонтной базы к ликвидации аварий 2-го уровня сложности в текущем районе, количество объектов

$N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$; ψ_3 – готовность ремонтной базы к ликвидации аварий 3-го уровня сложности в текущем районе, количество объектов $N = \operatorname{argmax} P(N, t)$ при условии $N \geq 1$.

Прогноз вероятности $p(t)$ делается на момент времени $t + \Delta t$, где Δt – заданный горизонт прогноза.

Пример визуализации информации о готовности ремонтной базы и автотранспорта представлен на рис. 5, а, б соответственно для случаев полной готовности и частичной готовности.

	ω	X	ψ		ω	X	ψ
1	■	■	■	1	■	■	■
2	■	■	■	2	■	□	□
3	■	■	■	3	□	□	■
а)				б)			

Рис. 5. Визуализации информации о готовности ремонтной базы и автотранспорта для случаев полной готовности (а) и частичной готовности (б)

Fig. 5. Visualization of information on the readiness of the repair base and vehicles for cases of full readiness (a) and partial readiness (b)

Заключение

Представленная в статье модель позволяет учитывать текущее состояние энергетических объектов и прогноз вероятности возникновения аварийных ситуаций. Предложенные показатели готовности бригад и ремонтных баз позволяют оперативно оценивать возможности для ликвидации аварий для заблаговременного принятия решений диспетчером ситуационного центра.

В дальнейшей перспективе планируется использование показателей готовности при разработке СППР, которая будет интегрирована в ситуационные центры энергетических компаний для дальнейшего повышения эффективности управления аварийными ситуациями, что позволит обеспечить надежность и бесперебойность энергоснабжения в мегаполисах.

Список источников

1. Утц С.А., Федоров Ю.Г., Ярош Д.Н. О развитии требований к схеме электроснабжения мегаполисов и перспективе применения технологий Smart Grid // Сб. докл. конф. «Электроэнергетика глазами молодежи». Т. 1. Екатеринбург. 2012. С. 56–61.
2. Кучеров Ю.Н., Утц С.А., Ярош Д.Н. Современные тенденции развития электроснабжения мегаполисов с целью повышения управляемости режимов работы энергосистемы // Электричество. 2017. № 6. С. 4–15.
3. Майоров А.В., Шунтов А.В., Васин В.П. Анализ надежности системы электроснабжения 20 кВ в мегаполисе // Электричество. 2017. № 1. С. 22–29.
4. Вороний Н.И., Курбацкий В.Г., Томин Н.В., Панасецкий Д.А. Совершенствование системы мониторинга и управления электрическими сетями мегаполисов // Энергетик. 2016. № 8. С. 3–9.
5. Энергоэффективный мегаполис. Smart City «Новая Москва» / Под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского. М.: ИД «Энергия». 2015. 76 с.
6. Вороний Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Изв. РАН. Сер.: Энергетика. 2014. № 1. С. 64–73.
7. Вороний Н.И., Стычинский З.А., Шушпанов И.Н. и др. Модель режимной надежности «активных» распределительных электрических сетей // Изв. РАН. Сер.: Энергетика. 2013. № 6. С. 70–79.
8. Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution, US State Department of Energy. Washington. July 2003. 36 p.
9. European Smart Grid technology platform: Vision and strategy for Europe's networks of the future. European Commission. Brussels. 2006. 23 p.
10. McDonald J. Adaptive intelligent power systems: Active distribution networks. Energy Policy. 2008. V. 36. № 6. P. 4346–4351.
11. Судаков В.А., Тимошенко А.В., Соколов К.С., Мацевич С. В. Алгоритм поддержки принятия решения оператором радиолокационной станции мониторинга космического пространства в условиях нештатной ситуации на основе гибридной функции // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 4. С. 145–157. DOI 10.24412/2410-9916-2024-4-145-157. EDN DEPPJD.
12. Мацевич С.В., Владко У.А., Зюзина А.Д. и др. Применение показателя когнитивной нагрузки графического элемента для обоснования требований к системе визуализации РЛС дальнего обнаружения // Научная визуализация. 2024. Т. 16. № 3. С. 87–96. DOI 10.26583/sv.16.3.09. EDN IOQBVG.
13. Timoshenko A.V., Razin'kov S.N., Savchuk A.M. et al. Ensuring Flight Safety in Aviation through Damage Risk Management in the Aviation System. Russ. Aeronaut. 2024. V. 67. P. 741–748. <https://doi.org/10.3103/S1068799824040019>.
14. Захаров А.С., Шаманов В.В., Перлов А.Ю., Соколов К.С., Поздышев В.Ю. Многопараметрическая оптимизация процесса проектирования РЛС мониторинга космического пространства на основе онтологического анализа зависимости

стей функциональных характеристик от множества технических решений // Радиотехника. 2024. Т. 88. № 10. С. 110–117. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202410-12/>

15. Феклин В.Г., Захаров А.С., Ястребов И.Д., Савчук А.М. Повышение полноты доведения информации при обрыве линий связи центра мониторинга космического пространства на основе модифицированного алгоритма Дейкстры // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2024. Т. 26. № 6. С. 107–113. DOI 10.18127/j19998554-202406-13. EDN RQYAXW.

Информация об авторах

Светлана Сергеевна Михайлова – д.э.н., зав. кафедрой математики и анализа данных факультета информационных технологий и анализа больших данных
SPIN-код: 9697-3928

Александр Сергеевич Захаров – науч. сотрудник кафедры искусственного интеллекта факультета информационных технологий и анализа больших данных
SPIN-код: 8991-7365

Сергей Вячеславович Мацевич – ассистент кафедры искусственного интеллекта факультета информационных технологий и анализа больших данных
SPIN-код: 5888-0320

Данила Алексеевич Шарипов – ассистент кафедры математики и анализа данных факультета информационных технологий и анализа больших данных
SPIN-код: 2122-1238

Александр Владимирович Петровский – студент института информационных технологий РТУ МИРЭА
SPIN-код: не представлен

Статья поступила в редакцию 29.05.2025

Одобрена после рецензирования 10.06.2025

Принята к публикации 30.06.2025

ВНИМАНИЕ!

В Издательстве «Радиотехника» вы можете приобрести архивную электронную версию любого выпущенного нами печатного журнала.

Приобретение непосредственно через Издательство освободит вас от дополнительных расходов.

ООО Издательство Радиотехника

101000, г. Москва, Подсосенский переулок, д.14, стр.2

+7(495)625-92-41, +7(495)621-48-37

<http://www.radiotec.ru>

info@radiotec.ru

Original article

Calculation of readiness indicators of field crews based on the model of complex accidents at critical infrastructure facilities

S.S. Mikhailova¹, S.V. Matseevich², A.S. Zakharov³, D.A. Sharipov⁴, A.V. Petrovsky⁵

^{1–4} Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia)

^{3,5} MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)

¹ DMath@fa.ru, ² cvmac@mail.ru, ³ zakharov.as17@physics.msu.ru, ⁴ dasharipov@fa.ru,

⁵ houndsofhade@yandex.ru

Abstract

The paper shows the problem of improving the efficiency of field crews of energy companies in the context of rapid growth of megacities and increasing the load on the energy infrastructure. The relevance of the study is due to the need to ensure the reliability and continuity of energy supply, which is especially important in the context of decrees and initiatives of the President of the Russian Federation aimed at protecting energy resources and improving the sustainability of the energy system. Development of a model and methodology for predicting emergency situations and assessing the readiness of repair crews and resources, which will allow dispatchers of situation centers to make decisions promptly and minimize the time to restore power supply. The paper proposes a model of an emergency situation that takes into account the parameters of energy infrastructure facilities, such as the probability of an accident, complexity and condition of the facility, as well as the parameters of repair bases, including the condition of vehicles, the level of training of crews and the availability of necessary equipment. The model of an emergency situation is formalized, taking into account the complexity and probable damage. On the basis of the model and the results of calculating the probability of an emergency situation, the indicators of the readiness of the repair team are introduced. The practical significance of the work consists in the creation of a science-based decision support system for operators of the duty shift, which contributes to improving the efficiency and reliability of energy companies in megacities.

Keywords

Critical infrastructure objects, accident model, availability indicators, forecasting, machine learning

For citation

Mikhailova S.S., Matseevich S.V., Zakharov A.S., Sharipov D.A., Petrovsky A.V. Calculation of readiness indicators of field crews based on the model of complex accidents at critical infrastructure facilities. *Nonlinear World*. 2025. V. 23. № 3. P. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202503-03> (In Russian)

REFERENCES

1. Utc S.A., Fedorov Yu.G., Yarosh D.N. O razvitii trebovaniy k skheme elektrosnabzheniya megapolisov i perspektive primeneniya tekhnologiy Smart Grid. Sb. dokl. konf. «Elektroenergetika glazami molodezhi». T. 1. Ekaterinburg. 2012. S. 56–61 (In Russian).
2. Kuchеров Yu.N., Utc S.A., Yarosh D.N. Sovremennye tendencii razvitiya elektrosnabzheniya megapolisov s cel'yu povysheniya upravlyaemosti rezhimov raboty energosistemy. *Elektrichestvo*. 2017. № 6. S. 4–15 (In Russian).
3. Majorov A.V., Shuntov A.V., Vasin V.P. Analiz nadezhnosti sistemy elektrosnabzheniya 20 kV v megapolise. *Elektrichestvo*. 2017. № 1. S. 22–29 (In Russian).
4. Voropaj N.I., Kurbackij V.G., Tomin N.V., Panaseckij D.A. Sovershenstvovanie sistemy monitoringa i upravleniya elektricheskimi setyami megapolisov. *Energetik*. 2016. № 8. S. 3–9 (In Russian).
5. Energoeffektivnyy megapolis. Smart City «Novaya Moskva». Pod red. V.V. Bushueva, P.A. Livinskogo. M.: ID «Energiya». 2015. 76 s. (In Russian).
6. Voropaj N.I., Stennikov V.A. Integrirovannye intellektual'nye energeticheskie sistemy. *Izv. RAN. Ser.: Energetika*. 2014. № 1. S. 64–73 (In Russian).
7. Voropaj N.I., Stychinski Z.A., Shushpanov I.N. i dr. Model' rezhimnoj nadezhnosti «aktivnyh» raspredelitel'nyh elektricheskikh setej. *Izv. RAN. Ser.: Energetika*. 2013. № 6. S. 70–79 (In Russian).
8. Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution, US State Department of Energy. Washington. July 2003. 36 p.
9. European Smart Grid technology platform: Vision and strategy for Europe's networks of the future. European Commission. Brussels. 2006. 23 p.
10. McDonald J. Adaptive intelligent power systems: Active distribution networks. *Energy Policy*. 2008. V. 36. № 6. P. 4346–4351.
11. Sudakov V.A., Timoshenko A.V., Sokolov K.S., Maceevich S. V. Algoritm podderzhki prinyatiya resheniya operatorom radiokacionnoj stancii monitoringa kosmicheskogo prostranstva v usloviyah neshtatnoj situacii na osnove gibridnoj funkicii. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2024. № 4. S. 145–157. DOI 10.24412/2410-9916-2024-4-145-157. EDN DEPPJD (In Russian).
12. Maceevich S.V., Vladko U.A., Zyuzina A.D. i dr. Primenenie pokazatelya kognitivnoj nagruzki graficheskogo elementa dlya obosnovaniya trebovaniy k sisteme vizualizacii RLS dal'nego obnaruzheniya. *Nauchnaya vizualizaciya*. 2024. T. 16. № 3. S. 87–96. DOI 10.26583/sv.16.3.09. EDN IOQBGV (In Russian).
13. Timoshenko A.V., Razin'kov S.N., Savchuk A.M. et al. Ensuring Flight Safety in Aviation through Damage Risk Management in the Aviation System. *Russ. Aeronaut*. 2024. V. 67. P. 741–748. <https://doi.org/10.3103/S1068799824040019>.
14. Zakharov A.S., Shamanov V.V., Perlov A.Yu., Sokolov K.S., Pozdyshev V.Yu. Mnogoparametricheskaya optimizaciya processa proektirovaniya RLS monitoringa kosmicheskogo prostranstva na osnove ontologicheskogo analiza zavisimostej funkcional'nyh

harakteristik ot mnozhestva tekhnicheskikh reshenij. Radiotekhnika. 2024. T. 88. № 10. S. 110–117. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202410-12> (In Russian)

15. *Feklin V.G., Zaharov A.S., Yastrebov I.D., Savchuk A.M.* Povyshenie polnoty dovedeniya informacii pri obryve linij svyazi centra monitoringa kosmicheskogo prostranstva na osnove modifitsirovannogo algoritma Dejkstry. Nejrokompyutery: razrabotka, primenenie. 2024. T. 26. № 6. S. 107–113. DOI 10.18127/j19998554-202406-13. EDN RQYaXW (In Russian).

Information about the authors

Svetlana S. Mikhailova – Dr. Sc. (Econ.), Head of the Department of Mathematics and Data Analysis, Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

Sergey V. Matseevich – Assistant of the Artificial Intelligence Department of the Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

Aleksandr S. Zakharov – Research Scientist of the Artificial Intelligence Department of the Faculty of Information Technologies and Big Data Analytics

Danila A. Sharipov – Assistant of the Department of Mathematics and Data Analysis, Faculty of Information Technologies and Big Data Analysis

Aleksandr V. Petrovsky – Student

The article was submitted 29.05.2025

Approved after reviewing 10.06.2025

Accepted for publication 30.06.2025