

И.А. ДРОНОВ, студент гр. 8Э-52 (АлтГТУ им. И.И. Ползунова)  
А.С. САБЕЛЬНИКОВ, аспирант гр. 0ЭлЭ-31 (АлтГТУ им. И.И. Ползунова)  
Научный руководитель Б.С. КОМПАНЕЦ, к.т.н., доцент  
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова)  
г. Барнаул

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ**

В условиях ограниченности ресурсов промышленных предприятий актуальной задачей становится оптимизация затрат на обеспечение безопасности [3]. В данном исследовании рассматривается системный подход, сочетающий методологию оценки интегрированного риска человеко-машинных систем (ЧМС) и теорию принятия решений при ограниченных ресурсах [2]. Доказывается, что данный симбиоз методов не только повышает уровень безопасности, но и способствует достижению значительного эффекта энергосбережения и повышения энергоэффективности. Эффект достигается за счет предотвращения аварийных потерь энергии, оптимизации эксплуатации электроустановок и целенаправленного инвестирования в мероприятия с двойным эффектом.

Современное производство характеризуется широким использованием сложных человеко-машинных систем (ЧМС), ключевым элементом которых являются электроустановки (ЭУ). Взаимодействие человека и техники порождает совокупность рисков, что подтверждается значительным уровнем производственного травматизма. В условиях ограниченности финансовых ресурсов предприятия сталкиваются с проблемой их оптимального распределения для обеспечения безопасности. Хаотичные затраты на мероприятия по безопасности часто не приносят значительного эффекта.

Решение видится в системном подходе, который сочетает глубокий анализ рисков и целенаправленное управление ими. Однако, помимо прямой цели – защиты персонала и активов, – такой подход обладает значительным потенциалом для повышения энергоэффективности. Данное исследование рассматривает, применение метода оценки интегрированного риска и оптимизации решений, что позволяет достичь синергетического эффекта, заключающегося в одновременном снижении рисков и росте энергетической эффективности [1].

Концепция «интегрированного риска электроустановки», предложенная Костюковым и Черкасовой, объединяет все виды опасностей: электрическую, пожарную, электромагнитную [2]. Этот же комплексный

взгляд позволяет выявить не только прямые угрозы безопасности, но и скрытые каналы потерь энергии.

Восьмиэтапная процедура анализа, предлагаемая авторами [2], может быть адаптирована поиска, обнаружения и классификации потенциальных возможностей для повышения энергоэффективности:

1. Построение модели системы «Человек-Электроустановка-Среда» (Ч-ЭУ-С). На этом этапе проводится декомпозиция системы, где определяются не только элементы, представляющие опасность, но и ключевые потребители энергии. Уже здесь можно идентифицировать узлы с низким КПД или неоптимальными режимами работы, которые одновременно являются источниками повышенного тепловыделения (пожарный риск) и электромагнитных помех.

2. Идентификация опасностей. Помимо выявления угроз для персонала, этот этап включает систематизацию «энергетических опасностей» – ситуаций, ведущих к перерасходу электроэнергии. Например, несимметрия или несинусоидальность напряжений в сети не только приводят к перегреву оборудования и повышают риск возгорания (интегрированный риск), но и вызывают значительные потери активной мощности.

3. Прогнозирование возможного ущерба. Материальный ущерб от реализовавшихся опасностей включает в себя не только стоимость ремонта оборудования или выплаты по страхованию, но и стоимость бесцельно израсходованной электроэнергии. Аварийный режим работы, короткое замыкание или даже просто работа оборудования с перегрузкой – все это ведет к прямым финансовым потерям через счет за энергию.

4. Частотный анализ. Оценка вероятности событий с использованием теории нечетких множеств позволяет учесть «мягкие» факторы, такие как квалификация персонала. Неквалифицированные действия оператора часто приводят к выбору неоптимальных, энергозатратных режимов работы оборудования, что одновременно повышает и технологический риск, и потребление энергии.

Таким образом, методика Костюкова, изначально нацеленная на безопасность, предоставляет готовый инструментарий для комплексного аудита системы, выявляя области, где риски и энергопотери имеют общую причину.

Методология В.К. Недвига отвечает на ключевой вопрос: «Как оптимально распределить ограниченные ресурсы?». Алгоритм многокритериальной оптимизации позволяет выбрать мероприятия, которые дают максимальный эффект на вложенный рубль, причем этот эффект может быть комплексным – и в снижении риска, и в экономии энергии.

Алгоритм выглядит следующим образом:

1. Необходимо формирование перечня мероприятий. На основе данных интегрированной оценки риска формируется список не только защи-

ных мер (установка УЗО, термозащиты), но и энергосберегающих (модернизация на частотно-регулируемые приводы, установка компенсаторов реактивной мощности). Ключевой момент – многие мероприятия носят двойной характер. Например, замена перегруженного кабеля на кабель большего сечения. Безопасность – снижение температуры, уменьшение риска короткого замыкания и пожара. Энергетический эффект – снижение потерь активной мощности в линии.

2. Далее осуществляется оценка эффективности и затрат. Для каждого мероприятия производится двойная оценка. Рассчитывается, насколько снизится интегральный риск (например, на сколько уменьшится вероятность летального исхода или пожара), и одновременно оценивается потенциал энергосбережения (количество сэкономленных кВт·ч в год). Затраты также оцениваются комплексно.

3. В обобщенной системе критериев, помимо «безопасности» и «экономичности», появляется критерий «энергоэффективность». Требуется объединение критериев. Экспертным методом определяются веса каждого критерия. Для предприятия, стремящегося к «зеленым» стандартам, вес энергоэффективности может быть высоким. Для опасных производств приоритет останется за безопасностью, но даже в этом случае энергетический эффект становится значимым дополнительным аргументом.

4. Заключительным этапом проводится сравнительный анализ и выбор варианта, обеспечивающего наибольшую совокупную выгоду. Мероприятие, которое дает умеренное повышение безопасности, но при этом значительную экономию энергии, может оказаться предпочтительнее дорогостоящей меры, существенно снижающей маловероятный риск. Например, внедрение системы автоматического контроля изоляции, которая предотвращает возможность поражения током и одновременно снижает потери на утечки, часто оказывается более рациональной инвестицией, чем масштабная реконструкция щитового оборудования.

Применение методов А.Ф. Костюкова и В.К. Недвига создает замкнутый цикл управления, в котором безопасность и энергоэффективность взаимно усиливаются.

1. Предотвращение аварийных потерь энергии. Любая авария в электроустановке – это колоссальный и бесцельный расход энергии: энергия дуги короткого замыкания, пожар, работа аварийной вентиляции, простой технологического оборудования. Снижая вероятность аварии через целевые мероприятия, мы предотвращаем эти потери. Метод Костюкова помогает выявить наиболее вероятные и тяжелые сценарии, а метод Недвига – оптимально выделить ресурсы на их нейтрализацию.

2. Повышение надежности и оптимизация режимов работы. Мероприятия, выбранные на основе интегрированного подхода, часто ведут к оптимизации рабочих режимов оборудования. Например, компенсация ре-

---

активной мощности не только снижает нагрузку на кабели и аппараты (снижая тепловой износ и пожарный риск), но и уменьшает потери в сетях и нагрузку на трансформаторы, что напрямую экономит энергию и повышает коэффициент мощности.

3. Целенаправленное инвестирование. Вместо распыления средств на сиюминутные нужды предприятие получает стратегический инструмент для инвестиций. Финансируются именно те проекты, которые дают максимальную совокупную отдачу. Затраты на безопасность перестают быть чистыми издержками, а начинают частично или полностью окупаться за счет экономии энергоресурсов. Это кардинально меняет экономику проектов по безопасности и делает их более привлекательными для руководства предприятия.

Сочетание методологии интегрированной оценки риска А.Ф. Костюкова и теории принятия решений В.К. Недвига представляет собой мощный инструмент для промышленных предприятий, позволяющий решить двуединую задачу: повышение безопасности эксплуатации электроустановок и рост их энергоэффективности.

Подход позволяет преодолеть традиционный разрыв между службой охраны труда, ориентированной на безопасность любой ценой, и энергетической службой, нацеленной на снижение издержек. Интегрированный взгляд на систему «Человек-Электроустановка-Среда» выявляет общие корни проблем безопасности и энергопотерь. Последующее применение алгоритма многокритериальной оптимизации обеспечивает рациональное использование именно тех ограниченных финансовых средств, которые направляются на мероприятия с двойным положительным эффектом.

Таким образом, управление рисками перестает быть статьей расходов и превращается в инвестицию, которая не только сохраняет жизни и активы, но и приносит прямую экономическую выгоду за счет снижения затрат на энергию, формируя тем самым устойчивую и конкурентоспособную производственную систему.

#### Список литературы:

1. Недвига, В. К. Опасность при взаимодействии с электроустановками. Теория принятий решений / В. К. Недвига // Modern Science. – 2020. – № 11-3. – С. 447-451. – EDN MKLXNV.
2. Костюков, А. Ф. Анализ интегрированного риска электротехнических человеко-машинных систем / А. Ф. Костюков, Н. И. Черкасова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12(122). – С. 150-155. – EDN TAZKSH.
3. Шибирина, И. О. Актуальность и важность энергосбережения в современной промышленности. Оптимизация и повышение энергоэффективности / И. О. Шибирина, Н. Г. Чернышов // Энергосбережение и эффек-

**VIII Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

**20-21 ноября 2025 г.**

**405-5**

---

тивность в технических системах : Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов, Тамбов, 09–11 ноября 2020 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2020. – С. 111-114. – EDN BFKKCR.

Информация об авторах:

Дронов Илья Алексеевич, студент гр. 8Э-52, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, [iladronov1@gmail.com](mailto:iladronov1@gmail.com)

Сабельников Александр Сергеевич, аспирант гр. 0ЭЛЭ-31, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, [sabkvd@gmail.com](mailto:sabkvd@gmail.com)

Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., доцент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, [erp@altgtu.ru](mailto:erp@altgtu.ru)