

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА РИСКА СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ СЕВЕРА

Д. т. н. Прохоров В. А.¹,
Прохоров Д. В.²
(Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова,
Институт физико-технических
проблем Севера им. В. П. Ларионова
СО РАН)

АННОТАЦИЯ. Выполнен анализ показателей риска применительно для децентрализованной системы энергетики Севера. На основе анализа ущербов при авариях систем энергетики обоснован и выбран их состав, предложена методика определения риска системы энергетики Севера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: авария, безопасность, низкая температура, отказ, риск, система энергетики Севера, ущерб.

Топливо-энергетический сектор играет важную роль в обеспечении жизнедеятельности населения в условиях Крайнего Севера. Особенностью энергоснабжения на Севере является очень низкая доля централизованного энергообеспечения в силу малой концентрации нагрузок, слабой промышленной и транспортной освоенности. Основными проблемами энергоснабжения децентрализованных потребителей являются дальний транспорт топлива с учетом ограниченности сроков сезонного завоза в труднодоступные районы. Низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, многозвенность процесса завоза топлива приводят к высоким потерям и многократному его удорожанию.

Специфика природно-климатических условий Севера выдвигает особые требования для комплексного решения проблемы безопасности человека и среды его обитания при возникновении аварий в системах энергоснабжения. Очевидно, что абсолютно безопасными системы энергетики (СЭ) Севера быть не могут. Следовательно, должен быть установлен такой уровень показателей безопасности в виде нормативных значений, выбранных для оценки безопасности объекта, превышение которых является недопустимым или неприемлемым. Анализ имеющихся нормативно-технических документов по безопасности показал, что они далеко не полны [1].

Одним из важнейших этапов решения рассматриваемой проблемы является выбор показателя и критерия безопасности, то есть определение признака или условий, в соответствии с которыми принимается решение относительно безопасности СЭ, особенно в условиях Крайнего Севера. Показатель безопасности эксплуа-

тации должен характеризовать эффективность функционирования и быть некоторой мерой, количественно оценивающей качество выполнения функции. Для прогнозирования сложных технических систем применяется показатель в виде риска [2, 3]. В этом случае критерий безопасности определяется как вероятностный риск, который должен быть меньше критического допустимого значения:

$$R < R_d$$

Пороговый критерий для индивидуального риска выявлен зарубежными психологами, установившими, что большинство людей субъективно ощущают себя в полной безопасности, если вероятность гибели составляет 10^{-6} на человека в год, то есть один шанс из миллиона. Значительная часть людей ощущает беспокойство и даже тревогу при вероятности их гибели 10^{-5} . Таким образом, величина индивидуального риска служит психологическим индикатором для человека и может являться уровнем приемлемо-допустимого риска, позволяющим оценить психологическое равновесие человека при угрозе его жизни. Вероятностный показатель «риск», как вероятность безотказной работы, эффективно характеризует безопасность таких однородных технических систем как автомобильный, водный, воздушный транспорт, где последствия аварий определяется гибелью людей. Однако вероятностный риск не может полностью оценить безопасность многосоставной СЭ в условиях Севера, где последствия в большей степени определяются экономико-социальными потерями.

Интегральным показателем, отражающим уровень безопасности сложных объектов при эксплуатации и учитывающим связи с внешним контуром, является ущерб [4]. Ущерб информативно и обобщенно характеризует эффективность функционирования системы в целом, учитывает изменения его параметров, определяет эксплуатационные требования. В этом случае показатель риска представляет собой произведение вероятности аварии объекта на ущерб:

$$R = Q_f \cdot Y,$$

где Q_f — вероятность отказа; Y — ущерб от отказа. Согласно общему определению риск принимается как

¹ 677000, г. Якутск, ул. Кулаковского, д.50

² 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, д.1

количественный показатель безопасности технических систем обеспечения жизнедеятельности, учитывающий, с одной стороны, частоту или вероятность возникновения отказа, с другой стороны, последствия отказа. Производство интенсивности аварий (или вероятности аварии) на ущерб позволяет оценить риск в денежных или натуральных единицах. Основное назначение стоимостных показателей (детерминированных и вероятностных) — установить единую универсальную меру для аварии, что является важным для СЭ в условиях Севера. В этом случае открывается возможность экономического подхода при выборе мероприятий, направленных на обеспечение необходимого уровня безопасности. Стоимостные показатели в принципе позволяют наиболее обоснованно использовать оптимизационный подход к принятию решений с одновременным учетом разнородных факторов. Следовательно, безопасность СЭ в условиях Севера, ее эксплуатационное состояние оценивается обобщенным показателем в виде риска.

Существуют два подхода определения экономического ущерба от отказов [5]. Первый (микромоделирование) основан на последовательном подсчете всех потерь и затрат, являющихся следствием отказа. Все потери и затраты тщательно определяются после аварийных ситуаций. Такие расчеты нужны для определения возможных предельных значений ущерба. Применяется в области страхования ущерба при авариях. По своей сути этот подход не может быть применен в задачах прогнозирования. Второй подход (макромоделирование) основан на использовании удельных характеристик ущерба, определяемых с той или иной степенью приближения, отнесенных в пределах типа технологического производства. Макромоделирование ущерба применяется, когда последствия отключения потребителей известны ориентировочно, основывается на достаточно ограниченных данных, позволяет получить приближенные значения ущерба. Макромоделирование ущерба применяется при обобщенных оценках. Для системных исследований прогнозирования СЭ макромоделирование ущерба является единственно возможным. При оценке ущерба в начале определяется его полный состав, выявляются все виды потерь и затрат. Затем определяется экономически каждый вид потерь или затрат ресурсов.

Определение возможного ущерба при аварийных ситуациях является трудной задачей для прогнозирования безопасности сложных технических систем. Утрата или ухудшение свойств объекта, имущества и вред окружающей среде принимаются за ущерб. Он может быть выражен в денежной форме и включать как прямые убытки, так и косвенные. В ряде случаев косвенные убытки во много раз превышают размер прямых убытков. Определение ущерба для СЭ Севера имеет свои особенности. Расчет риска при этом сводится к определению вероятности наступления тех или иных нежелательных событий, выбору достаточно адекватной модели возникновения ущербов и их ценовому выражению. Но применение такого подхода для практической оценки риска не всегда возможно. Отсутствие

прямых денежных эквивалентов таких факторов, как человеческая жизнь или экологический ландшафт, не позволяет представить в сопоставимом виде все возможные ущербы. В настоящее время общие методики количественной оценки рисков различных видов человеческой деятельности, как и рисков различных опасных природных явлений, практически отсутствуют. Это относится и к процедуре оценки вероятности возникновения опасного события, и к процедуре оценки величины ущерба. Из-за сложности, разнообразия и различных уровней ответственности составляющих сложной технической системы для каждого направления деятельности создаются модели и методики, которые имеют свои отличительные особенности. Поэтому для оценки безопасности применяются принципы макромоделирования, а полученные оценки неизбежно будут носить укрупненный, оценочный характер.

Величина ущербов зависит от комплекса обстоятельств. Классификация ущербов проводится по признаку субъектов: ущерб самой СЭ, ущерб потребителей, ущерб смежных звеньев. Отказы в СЭ сопровождаются комплексом негативных явлений, последствия которых носят экономический, социально-экономический и социальный характер. Нарушения функционирования СЭ приводит к остановке производства, сопровождается недоотпуском продукции и снижением ее качества. Социальный ущерб заключается в увеличении заболеваемости, снижения физического развития и общей продолжительности жизни, сокращения периода активной деятельности, ухудшения условий труда и отдыха населения, снижения возможности творческого развития личности. Косвенные убытки, учитывающие снижение прибыли и затрат от простоя на производстве, не учитываются. В состав прямого ущерба входят:

1. потери ресурсов при отказах;
2. затраты на уменьшение потерь ресурсов при отказах;
3. затраты на компенсации негативных последствий отказов.

К потерям ресурсов относятся уничтоженная часть средств производства, рабочего времени, готовой продукции. К затратам на уменьшение потерь ресурсов при отказах относятся создание резервов производственной мощности, мероприятий по защите окружающей среды.

Аварии в СЭ Севера сопровождаются значительными ущербами. Последствия большинства неблагоприятных событий не ограничиваются каким-либо одним видом ущерба. Например, при аварии в поселении Тикси-3, происшедшей 10 января 2014 года из-за поломки двух насосов системы водоснабжения, остановлена работа котельной. Подвоз воды населению и на объекты теплоснабжения осуществлялся водозонной техникой. Первопричиной аварии является отказ системы подачи воды в котельную, который способствовал промерзанию магистрального водовода протяженностью 7,5 км. Восстановление теплоснабжения объектов завершено 31 января 2014 года и для этой цели были осуществлены четыре специ-

альных авиарейса из г. Якутска. Кроме материальных потерь в виде выхода из строя различного оборудования, материалов, зданий системы энергоснабжения, значительную часть потерь занимают и расходы на восстановление. Восстановление замороженных трубопроводов, замена труб, утепление занимают много времени, труда и финансовых расходов. Качественно можно представить соотношение величины ущербов. Ущерб восстановления и социальной части в сотни и тысячи раз выше, чем стоимость двух насосов. Разберем еще одно характерное описание аварии с ущербом. В селе Тополиное 29 декабря 1998 года из-за поломки глубинного насоса на водозаборе произошло промерзание водовода, в результате остались без тепла 42 жилых дома, 34 объекта соцкультбыта и 5 административных зданий. Население составляет 1058 человек, в том числе 414 детей. Проведена эвакуация населения в п. Хандыга. В этом случае ущерб разделяется на конкретные материальную и социальную части. К материальной части ущерба относятся отказ насоса и водовода. К социальной части ущерба относятся остановка подачи тепла для 1058 человек. Социальные ущербы определяются не только снижением отпуска электроэнергии и понижением температуры в жилых зданиях, но и вынужденной эвакуацией жителей в другой населенный пункт и их содержанием в период ликвидации последствий от аварии. Ущерб восстановления и социальный ущерб в этом случае на несколько порядков больше, чем стоимость объекта первопричины отказа.

Интенсивность аварий чрезвычайного характера со значительными ущербами повышается при низких температурах. Восстановительные работы в условиях Севера в зимнее время являются продолжительными и требуют больших финансовых расходов. Потери от промерзания объектов и социальные потери на Севере на несколько порядков превышают материальные потери от первопричины отказа.

Анализ последствий аварий на Севере показывает, что гибель людей происходит очень редко и в первую очередь связывается с пожарами. В таких событиях причина в основном связана с функционированием СЭ и не связана с потребителями. Также следует отметить, что для небольших СЭ Севера экологические потери несравнимо малы по сравнению с основными экономическими потерями. Зачастую экологические потери происходят в процессе функционирования, а при авариях СЭ их доля незначительна и их можно не учитывать. Величины указанных ущербов СЭ Севера не сравниваются с потерями при авариях таких объектов, как шахты, нефтепроводы, отказы которых сопровождаются гибелью людей, большими экологическими загрязнениями. Также при подсчете ущерба обычно не учитываются моральные потери. Поэтому для целей сопоставления эффективности мер по повышению безопасности СЭ предлагается пренебречь этими эффектами при определении возможного предполагаемого ущерба.

Определение величины ущерба является сложной

неопределенной задачей. Во многих описаниях аварий в СЭ отсутствуют данные по определению величины ущерба. В СЭ Севера нет практики определения потерь от недополучения энергии, ущербов морального характера, утраты здоровья. На практике в основном определяется материальная часть ущерба. Одной из значимых частей ущерба энергоснабжения Севера является утрата здоровья. Нахождение людей в жилых домах при температуре от нуля до нормальной температуры при аварийных ситуациях является довольно частым событием. Нет сомнения, что население в этих случаях подвергается различным заболеваниям, однако, невозможно напрямую определить ущерб из-за различия по мощности и потребностям СЭ в различных населенных пунктах. Информация по составляющим ущерба в литературных источниках ограничена. Это объясняется тем, что получение информации сопряжено с очень сложным обследованием реальных потребителей. Методика стоимостного выражения негативного воздействия аварий на окружающую среду, ущерб здоровью и жизни населения, экономические потери в случаях эвакуации населения приведена в [6]. По данной методике ущерб от одного случая заболевания определяется по зависимости:

$$Y_3 = H_K \cdot K_{CЭ} \cdot T_6,$$

где H_K — норматив компенсации ущерба при заболевании (руб./сут.); $K_{CЭ}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий уровень социально-экономического развития территории; T_6 — средняя продолжительность болезни (сут.), см. таблицу.

К числу затрат, связанных с населением, относятся затраты на эвакуацию. В общем случае эти затраты определяются по зависимости [6]

$$Y_{эв} = T_{эв} N_{эв} C_{эв},$$

где $N_{эв}$ — число эвакуируемых; $T_{эв}$ — длительность эвакуации; $C_{эв}$ — удельные затраты на еду, размещение и транспорт одного эвакуируемого (руб./чел. сут.).

Суммарный социально-экономический ущерб при авариях в СЭ населенных пунктов на Севере можно приближенно определить как сумму трех составляющих: ущерба от недоотпущенной энергии потребителям, ущерба от возможного заболевания, затрат на эвакуацию населения:

$$Y_3 = (C_{KBЭ} \cdot w + H_K + C_{эв}) \cdot T \cdot N \cdot K_{CЭ},$$

где $C_{KBЭ}$ — стоимость кВт/ч; w — количество те-

Таблица. Нормативы ущерба по группам населения для болезней органов дыхания при средней продолжительности болезни 10,5 суток (руб./чел.*сут.) в ценах 1989 г.

I (подростки и взрослые)	II (дети до 14 лет)	III (пенсионеры)
6,48	3,53	2,68

плоэнергии, рассчитанное на одного человека (кВт/(чел.сутки); H_k — норматив компенсации ущерба при заболевании (руб./сут.); $C_{эв}$ — удельные затраты на еду, размещение и транспорт одного эвакуируемого (руб./чел.*сут.); $K_{сэ}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий уровень социально-экономического развития территории; T — длительность восстановления теплоснабжения (час); N — количество жителей, попавших в зону аварии.

Выводы

Определение социально-экономической составляющей возможных ущербов является важной частью предложенной методики нахождения риска. Для оценки безопасности СЭ значение приемлемого риска определяется из условия сбалансированности двух видов затрат: на мероприятия по снижению риска и на возможный вероятностный ущерб (R) при данном уровне риска, то есть минимизируя сумму этих затрат [7]:

$$\sum Z_i \rightarrow \min,$$

На основе минимизации этих затрат, управляя риском, решается проблема повышения безопасности системы путем проведения различных мероприятий по повышению безопасности и надежности составля-

ющих систем, введения различной защиты. Одним из путей повышения надежности систем является введение различного уровня резервов.

Литература

1. Попырин Л. С. Безопасность объектов теплоэнергетики/ Теплоэнергетика, 1995, №9. С.20–26.
2. Махутов Н. А., Шокин Ю. И., Лепихин А. М. и др. Задачи механики катастроф и безопасности технических систем: препринт. — Красноярск: изд. ВЦ СО РАН. — 1991. — №10. — 36 с.
3. Харисов Г.Х. Обоснование затрат, выделяемых на предотвращение гибели людей при несчастных случаях, авариях, катастрофах, стихийных бедствиях / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — Вып. 8. — 1993. — С. 73.
4. Прохоров В. А. Оценка параметров безопасности эксплуатации нефтехранилищ в условиях Севера. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 142 с.
5. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / Г.Ф. Ковалев, Е. В. Сеннова, М.Б. Чельцов и др./ Под ред. Н. И. Воропая. — Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. — 434 с.
6. Лесных В.В. Анализ риска и механизмов возмещения ущерба от аварий на объектах энергетики. — Новосибирск: Наука, 1999. — 251 с.
7. Системные исследования проблем энергетики / Л. С. Беляева, Б. Г. Санеев, С. П. Филиппов и др. Под ред. Н. И. Воропая. — Новосибирск: Наука, 2000. — 558 с.

