

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ОТДЕЛЬНО ВЗЯТЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А. И. Комаров

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург, Россия)

В статье рассмотрено понятие «живучесть». Кратко рассмотрены существующие методы оценки живучести. Обоснована необходимость повышения живучести сложных технических систем. Представлены возможные пути развития понятия «живучесть». Раскрыта актуальность дальнейшего исследования и совершенствования методик оценки живучести, надежности, безопасности и эффективности разнородных сложных технических систем; необходимости проведения на предварительном этапе детальной оценки всей совокупности исходных условий воздействующих факторов. Описаны преимущества рассмотренных методик оценки живучести. Разработана методика оценки живучести территории муниципального образования. Представлен расчет живучести виртуальной территории.

Ключевые слова: живучесть, территория, муниципальное образование, индекс критерий, потенциально опасный объект, прямой ущерб, косвенный ущерб, оценка, система, нагрузки, воздействия, расчеты.

ASSESSMENT OF THE VIABILITY OF INDIVIDUAL TERRITORIES IN EMERGENCY SITUATIONS

A. I. Komarov

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (Yekaterinburg, Russia)

The article discusses the concept of “survivability”. Existing methods for assessing survivability are briefly reviewed. The need to increase the survivability of complex technical systems is substantiated. Possible ways of developing the concept of “survivability” are presented. The relevance of further research and improvement of methods for assessing the survivability, reliability, safety and efficiency of diverse complex technical systems is revealed; the need to conduct a detailed assessment of the entire set of initial conditions of influencing factors at the preliminary stage. The advantages of the considered methods for assessing survivability are described. A methodology has been developed for assessing the survivability of a municipal territory. Calculation of the survivability of a virtual territory is presented.

Keywords: survivability, territory, municipality, criterion index, potentially dangerous object, direct damage, indirect damage, assessment, system, loads, impacts, calculations.

Введение

В современном мире большое количество внимания уделяется денежным потокам. Стабильность данных потоков, представленных товаром, в полной мере зависит от возможности объектов в цепочке товарооборота выполнять свою функцию. Цель по построению функционально живучей инфраструктуры невозможно решить путем обычного улучшения показателей надежности, отказоустойчивости и безопасности отдельных объектов. При учете влияния всех звеньев цепочки товарооборота возможно комплексно взглянуть на сложившуюся ситуацию на территории Муниципального образования и выделить наиболее слабые из них. Данные задачи могут быть решены при помощи оценки живучести территории.

Для проведения оценки живучести территории муниципальных образований в условиях чрезвычайных ситуаций в данной статье представлены: исследование по анализу существующих методик расчета живучести; методика оценки живучести территории муниципального образования; апробирование разработанной методики путем оценки живучести виртуальной территории.

Цель исследования - разработка методики оценки живучести территории муниципального образования.

Материал и методы исследования: методы теории надежности, теории вероятности и математической статистики, системного анализа, моделирование ситуаций.

Результаты исследования и их обсуждение: разработана методика оценки живучести территории муниципального образования; разработаны алгоритмы учета влияния на живучесть территории близлежащих к потенциально опасным объектам инфраструктур и объектов экономики.

Развитие понятия «живучесть»

С каждым годом понятие «живучесть» захватывает все большее внимание в различных исследованиях. Ареал применения понятия увеличивается с каждым годом: судостроение, военная техника, строительные конструкции, оборудование, программное обеспечение, территории и пр. Исследованием живучести, ее особенностями, способами определения и повышения занимаются как отечественные, так и зарубежные авторы.

Различные авторы предложили различные определения, в различной степени отражающие понятие живучести в различных отраслях общества. В таблице 1.1 представлены некоторые из определений данного понятия.

Таблица 1.1 – Определения понятия живучести

Автор, (год)	Определение
Wildavsky (1988)	Живучесть - это способность справляться с непредвиденными опасностями после их появления, восстанавливаться до исходного состояния.[48]
Hoiling, Schindler, Walker, Roughgarden (1997)	Живучесть - это буферная емкость или способность системы к поглощению возмущения или величины возмущения, которую возможно поглотить, прежде чем система изменит свою структуру. [30]
Horne and Orr (1997)	Живучесть является фундаментальным качеством людей, групп и организации и заключается в своевременном реагировании к значительным изменениям, которые нарушают ожидаемая картину событий, предотвращая регресс, полученный в ходе изменений. [33]

Продолжение таблицы 1.1

Mallak (1998)	Живучесть - это способность человека или системы оперативно разработать и реализовать позитивное адаптивное поведение, соответствующее текущей ситуации, получая минимальный стресс. [39]
Mileti (1999)	Местная живучесть к стихийным бедствиям означает, что система способна противостоять экстремальное природное явление без получения разрушительных потерь, ущерба, уменьшения производительности или качества жизни, не прибегая к большому количеству помощи от вне системных ресурсов. [41]
Comfort (1999)	Живучесть – это способность адаптировать существующие ресурсы и навыки для новых систем и условий. [28]
Paton, Smith, Violanti (2000)	Живучесть - это увеличение способности функционирования системы, достигнутые за счет проектных решений и намного превышающие ожидаемый уровень работы при экстремальных воздействиях, учитывая возможности человека и предыдущий опыт. [42]
Kendra and Wachtendorf (2003)	Живучесть - это способность реагировать на уникальные и исключительные события. [38]
Cardona (2003)	Живучесть - это емкость поврежденной экосистемы или сообщества, которая может поглотить негативные воздействия и оправиться от них. [25]
Pelling (2003)	Живучесть - это способность рабочего справиться или адаптироваться к стрессу. [43]
UNISDR (2005)	Живучесть - это возможности системы, сообщества или общества, потенциально подверженного опасности, адаптироваться, сопротивляясь или изменяя порядок, достичь и поддерживать приемлемый уровень функционирования и структуры. Это определяется по степени, в которой социальная система способна самоорганизовываться. [46]
Wreathall (2006)	Живучесть определяется как «способность организации (система), сохранить или быстро восстановить систему в стабильное состояние, позволяя продолжать операции во время и после крупного происшествия или при наличии постоянных значительных напряжений». [49]
Hollnagel (2014)	Живучесть - это внутренняя способность организации регулировать свое функционирование чтобы, во время или после изменений и нарушений, они могли выдержать необходимые события в ожидаемых и неожиданных условиях, сохраняя свое рабочее (исправное, идеальное) состояние. [32]

Можно отметить, что живучесть была определена двумя способами: как желаемый результат или как процесс, ведущий к желаемому результату [25]. Помимо этого, в данной таблице можно увидеть развитие понятия живучести, представленное иностранными авторами во временной зависимости.

На ранней стадии авторы думали о живучести как о процессе достижения результата с использованием механизмов, основанных на поглощении негативных воздействий, чтобы вернуться к нормальному функционированию в кратчайшие сроки.

Определение, предложенное Управлением Организации Объединенных Наций по уменьшению опасности бедствий [46], рассматривает живучесть уже с точки зрения предупреждения аварии за счет адаптации системы к неблагоприятному воздействию, через увеличение различных показателей системы. Это определение послужило развитию сегодняшнего понятия живучести, где немалое значение уделено человеку, как формирующему уровень живучести системы.

Основоположником сегодняшнего передового представления живучести во всем мире является **Hollnagel** [32]. Он разделил подходы увеличения безопасности на общий подход и подход живучести, акцентируя внимание, что в общем подходе устремлен фокус к наиболее подверженным неблагоприятным воздействиям элементам, которые могут спровоцировать аварию, т.е. первостепенной задачей является уменьшение возможных причин аварий. Увеличение безопасности в общем подходе достигается за счет различных мероприятий по снижению риска (установка защитных экранов, исполнение инструкций и т.п.). Первостепенной задачей подхода живучести является поддержание или улучшение безопасности, направленное на предупреждение возможных иницирующих событий, а не устранение их. Увеличение безопасности в подходе живучести достигается за счет различных мероприятий по отказу от риска (проектирование систем, рассчитанных не на рабочее значение, а на значение во время предельных нагрузок, обучение персонала и т.п.). Определение, выдвинутое Hollnagel'ом [32], выглядит как: живучесть - это внутренняя способность организации регулировать свое функционирование чтобы, во время или после изменений и нарушений, они могли выдержать необходимые события в ожидаемых и неожиданных условиях, сохраняя свое рабочее (исправное, идеальное) состояние.

Свойства живучести

Bruneau [23] предложил, что живучесть может быть представлена по четырем взаимосвязанным аспектам: техническая, организационная, социальная и экономическая.

Техническая живучесть относится к реакции и производительности физических систем на случившиеся аварии. Организационная живучесть относится к потенциалу и способности общества реагировать на чрезвычайные ситуации и действовать в рамках

данных ситуаций. Социальная живучесть означает способность снижать негативные социальные последствия потери критически важных услуг после аварий. Экономическая живучесть относится к способности сокращать прямые и косвенные экономические потери, полученные в результате аварий.

Кроме того, Bruneau [23] предполагает, что живучесть имеет четыре основных свойства:

- надежность;
- быстрота;
- избыточность;
- изобретательность.

При этом для каждого аспекта в каждом свойстве живучести Bruneau [23] выдвигает определения, применимые для полученных понятий. Данные определения представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Понятия свойств аспектов живучести

Характеристики	Надежность	Избыточность	Изобретательность	Быстрота
Техническая	Предотвращение ущерба и продолжение предоставления услуг	Системы резервного копирования / дублирования, оборудование и предметы снабжения	Диагностика и технологии и методологии обнаружения повреждений	Оптимизация времени восстановления до начального состояния
Организационная	Способность продолжения выполнения заданные функции	Резервное копирование ресурсов для выполнения текущей операции	Инструкции и ресурсы необходимые для ликвидации аварии	Минимизирование времени, необходимого для восстановления
Социальная	Недопущение жертв и паники в население	Иные способы получения продовольствия для населения	Инструкции и ресурсы для удовлетворения нужд населения	Оптимизация времени восстановления до начального состояния
Экономическая	Недопущение прямых и косвенных экономических потерь	Неиспользованный или избыточный экономический потенциал (например, запасы, поставщики)	Стабилизационные меры (например, изменение спроса, внешняя помощь)	Оптимизация времени восстановления до начального состояния

Физический смысл живучести

Математическая сторона вопроса наиболее полно, на сегодняшний момент, отражена **Alessio Caverzan** [24], где живучесть рассмотрена, как совокупность таких показателей, как быстрота, надежность, избыточность и изобретательность, в рамках живучести инфраструктуры.

Живучесть (R) определяется как функция, указывающая на способность поддерживать уровень функциональности или производительности для данного объекта инфраструктуры, в течение периода, определенного как контрольное время (TLC), которое обычно определяется владельцами или обществом [27].

Исходя из этого, живучесть - это функция, которая может изменяться во времени из-за внешних событий. Время восстановления (TRE) - это период, необходимый для восстановления системы (инфраструктуры) до желаемого уровня, при котором система близка к идеальному состоянию. Время восстановления является случайной величиной с высокой неопределенностью в зависимости от социально-экономической среды, в которой находится инфраструктура. При этом в живой инфраструктуре TRE должно быть меньше, чем TLC.

Cimellaro [27] предлагает рассчитать живучесть с помощью следующей формулы:

$$R = \int_{t_{0E}}^{t_{0E}+T_{RE}} \frac{Q(t)}{T_{RE}} dt, \quad (1)$$

где $Q(t)$ - нестационарный случайный процесс, представленный следующим образом:

$$Q(t) = 1 - L(I, T_{RE}) \cdot [H(t - t_{0E}) - H(t_{0E} + T_{RE})] \cdot f_{Rec}(t, t_{0E}, T_{RE}) \quad (2)$$

где $L(I, T_{RE})$ - функция потерь;

$f_{Rec}(t, t_{0E}, T_{RE})$ - функция восстановления;

$H()$ - функция Хевисайда,

t_{0E} - время произошедшего события E ,

I - его интенсивность.

Значения величин в этом уравнении меньше единицы, поскольку требуемая полная функциональность равна $100\% = 1$.

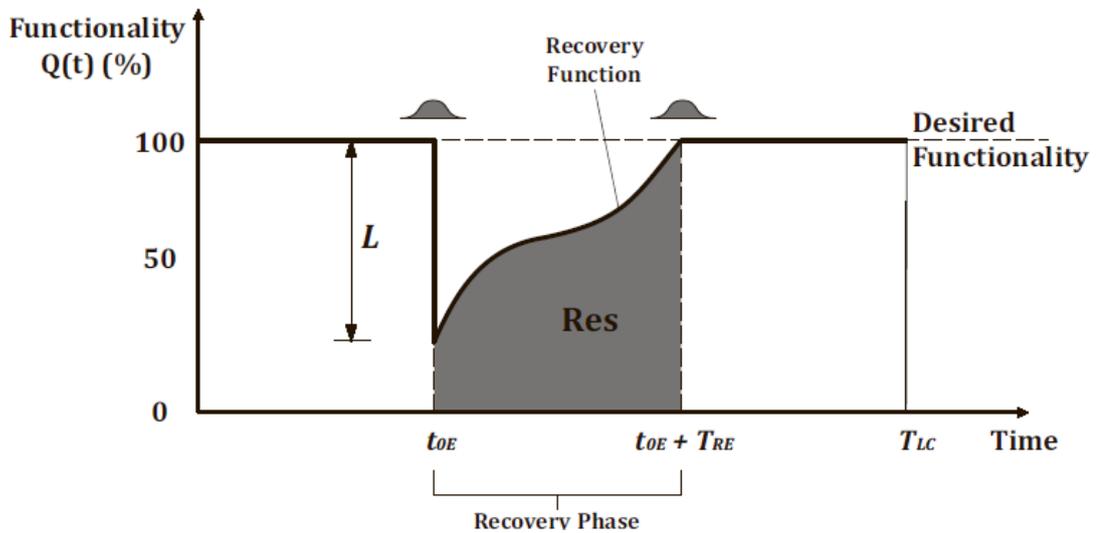


Рисунок 1.1 – Схематическое представление живучести за время восстановления (TRE)

В уравнении 1 живучесть рассчитывается со ссылкой на одно разрушающее событие E в момент времени t_{0E} и выделенная область нормализуется относительно времени восстановления T_{RE} , что представлено на рисунке 2.3.1.1.

Для того, чтобы принять во внимание долгосрочные или временные эффекты на живучесть в уравнение 1 должны быть изменены:

- интегральные пределы должны быть расширены с 0 до T_{LC} ;
- время нормализации должно быть установлено равным T_{LC} ,

как представлено на рисунке 1.3.1.2.

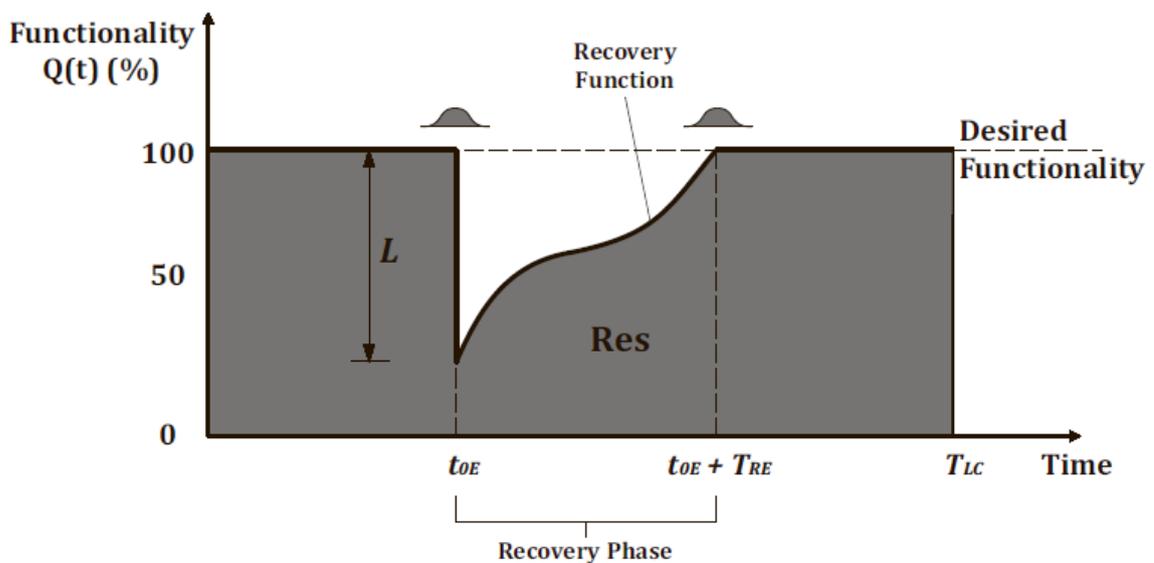


Рисунок 1.2 – Схематическое представление живучести за контрольное время (T_{LC})

Городские структуры и основные виды деятельности внутри данных структур могут иметь некоторое снижение функциональности в течение времени из-за проблем старения или ухудшения, вызванных внешними / экологическими факторами, что показано на рисунке 1.3.1.3.

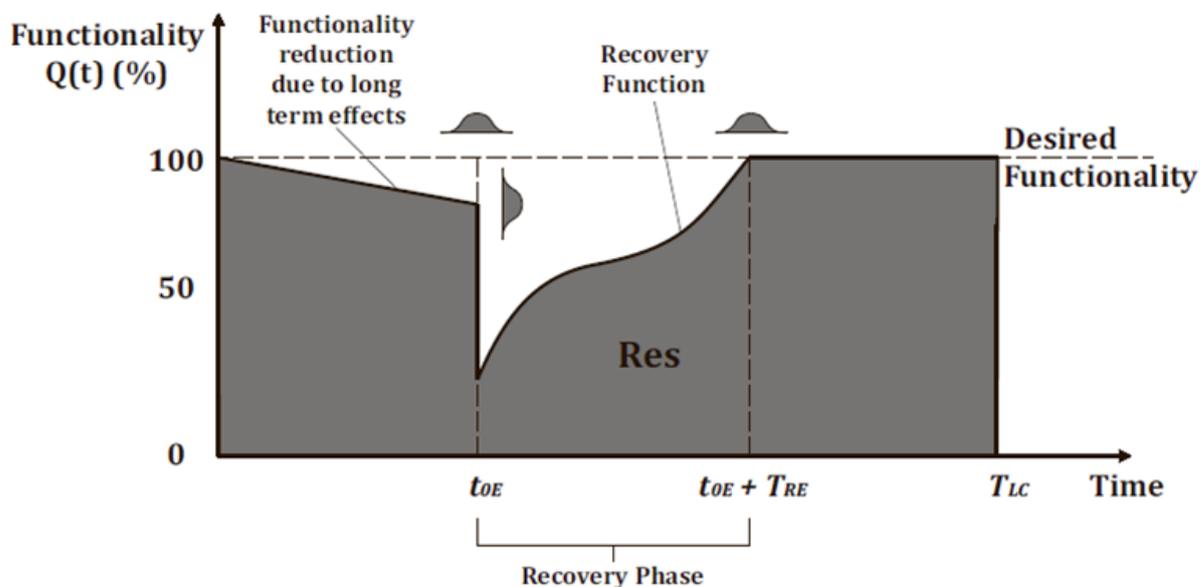


Рисунок 1.3 – Схематическое представление живучести с учетом деградации

Как уже упоминалось выше, Bruneau [233] определил четыре свойства, вдоль которых живучесть может быть улучшена: быстрота, надежность, избыточность и изобретательность.

Быстрота (θ) - это способность системы своевременно выполнять приоритетные задачи и достигать целей способных сдерживать ущербы и избежать сбоев в будущем.

Математически это представляет наклон кривой функциональности во времени, что выражено следующим уравнением и показано на рисунке 2.3.1.4:

$$\theta = \frac{dQ(t)}{dt}, \quad (3)$$

где $\frac{d}{dt}$ - дифференциальный оператор;

$Q(t)$ - функциональная функция.

Средняя оценка быстроты может быть определена как в уравнении 4, в случае, если общие ущербы L и время восстановления T_{RE} известны:

$$\theta = \frac{L}{T_{RE}} \quad (4)$$

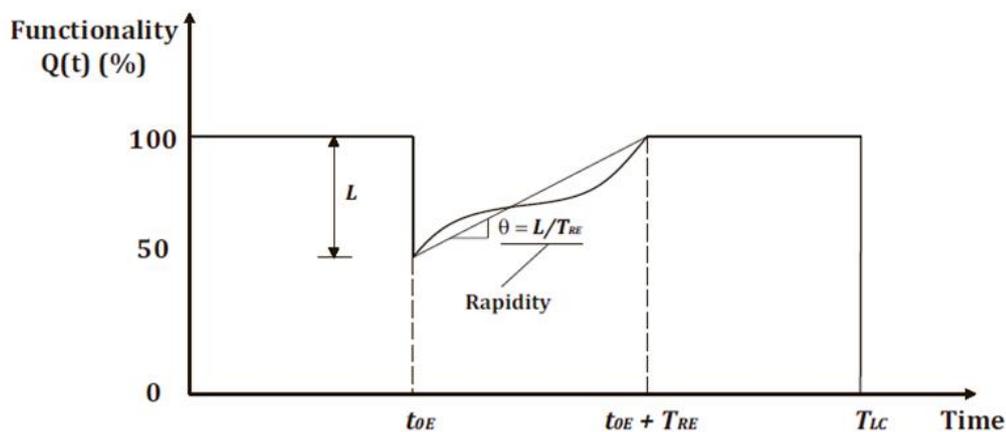


Рисунок 1.4 – Схематическое представление свойства быстроты

Надежность - это способность элементов, структуры или системы противостоять нагрузкам без непропорциональной деградации или потери функциональности.

Надежность может быть представлена следующим уравнением:

$$Robustness = 1 - \tilde{L}(m_L, \sigma_L), \quad (5)$$

где \tilde{L} - случайная величина, выраженная как функция среднего m_L и стандартного отклонения L . Более точным способом вычисления надежности является рассмотрение ее, как дисперсии потерь. Выражается непосредственно следующим образом:

$$Robustness = 1 - L(m_L + \alpha \cdot \sigma_L), \quad (6)$$

где α - весовой параметр стандартного отклонения, соответствующий конкретному уровню потерь.

В этом определении надежность может рассматриваться как способность сохранения изменчивости потерь в узкой полосе, как показано на рисунке 2.3.1.5.

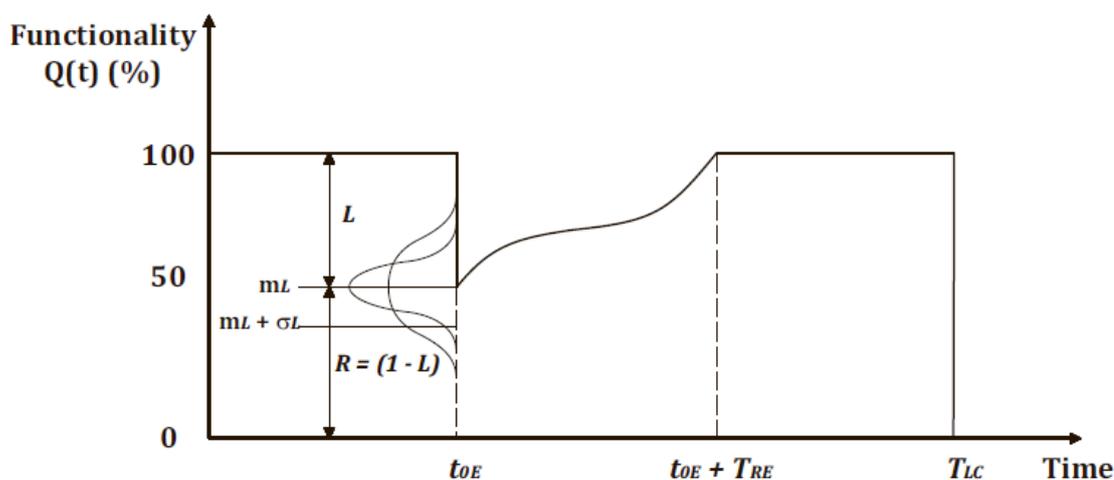


Рисунок 1.5 – Схематическое представление свойства надежности

Избыточность - это качество наличия альтернативных путей в структуре, с помощью которых внепроектные нагрузки могут быть переправлены, что позволяет структуре оставаться стабильной после отказа любого отдельного элемента [16].

Структурная избыточность определяется наличием несущих элементов или путей нагружения, которые могут выдержать дополнительные нагрузки в случае отказа. В случае сбоя одного или нескольких элементов оставшаяся структура может перераспределить нагрузки, таким образом предотвращая отказ всей системы. Избыточность зависит от геометрии конструкции и свойства отдельных несущих элементов [29]. Избыточность является очень важным атрибутом живучести, так как она предоставляет возможность использовать альтернативный ресурс, когда основные недостаточны или отсутствуют.

Четвертый и последний компонент, представленный национальным мультидисциплинарным научно-исследовательским центром по инженерным исследованиям землетрясений [46] - это изобретательность. Изобретательность - это способность выявлять проблемы, устанавливать приоритеты и мобилизовать ресурс, когда имеются условия, в которых существует угроза некоторому элементу, структуре, системе или другой единице анализа [22]. Изобретательность и избыточность тесно взаимосвязаны, например, изобретательность может создать избыточность, которой раньше не было. Изобретательность и надежность также взаимосвязаны и можно утверждать, что инвестирование в улучшение надежности в некоторых случаях может быть предпочтительным подходом для повышения живучести, так как это автоматически приводит к последующему сокращению времени восстановления.

Архетипы живучести

Основываясь на физическом представлении понятия живучести **Warren Vaneman** [47] обозначил, следующие архетипы живучести.

- Искусственное плато.
- Частичное поглощение.
- Постепенное ухудшение способности с последующим восстановлением.
- Ускоренное восстановление.

Warren Vaneman [47] обозначает четыре последовательных этапа сохранения/восстановления работоспособного состояния системы и на каждом из них определяет возможные решения увеличения этого показателя, тем самым уменьшая время восстановления.

В отличие от **Bruneau** [22], **Warren Vaneman** [47] предлагает рассматривать не свойства живучести, а этапы, формирующие ее в процессе эксплуатации системы. Этот подход является развитием подхода живучести, выдвинутым **Hollnagel**'ом [32].

Данные этапы формируют живучесть системы и выглядят следующим образом:

- избегание - активные или реактивные меры, принятые для уменьшения вероятности или влияния неблагоприятных условий или угроз на систему.
- надежность - конструктивная особенность системы, позволяющая противостоять функциональной деградации и повысить живучесть системы.
- восстановление - действия и конструктивные особенности, восстанавливающие утраченный функционал системы.
- реконструкция - действия и проектные решения показывающие, каким образом может быть заменена большая часть возможностей, а также время, необходимое для достижения данных решений.

Данные этапы и факторы, от которых они зависят, представлены в таблице 2.4.1.

Таблица 1.3 – Факторы влияния на этапы живучести

Избегание	Надежность	Восстановление	Реконструкция
Операционная гибкость	Физическая избыточность	Уменьшить сложности системы	Ремонтопригодность
Системная и процедурная гибкость	Функциональная избыточность	Ремонтопригодность	Возможность замены элементов на аналогичные
Независимость элементов системы	Распределенная	Реорганизация системы или систем системы	Логистическая платежеспособность (перенос производства на другие оборудования)
Расширяемость	Уменьшить сложности системы		

Кроме того, помимо прямого последовательного влияния данных этапов друг на друга, стоит отметить обратное влияние этих этапов.

Таким образом, мы увидели, что физическое представление живучести, является наработками ученых в течение 30 лет и применимо для большинства объектов, включая, и объекты инфраструктуры. Представленные функции популярно отображены на соответствующих графиках, благодаря которым предельно ясно передан их физический смысл. Четыре свойства, составляющих живучесть, раскрывают данное понятие, показывая

важность каждого из них, и в какой степени будет меняться живучесть при изменении конкретного показателя.

Представленные четыре свойства/этапа в некоторой степени разнятся у различных авторов, но при этом каждый автор в той или иной мере предложил инструменты, через которые можно менять уровень данных свойств, тем самым увеличивая живучесть всей системы одновременно несколькими путями.

Данные четыре свойства являются той ступенью (фундаментом) в развитии понятия живучести, когда была введена концепция Hollnagel'a о двух подходах к безопасности, в рамках которой живучесть рассматривается как предупреждение возможных иницирующих событий, а не устранение их. Увеличение безопасности в иностранном подходе достигается за счет различных мероприятий по отказу от риска.

Российский подход

Стремительное развитие понятия началось в 2014 году под предводительством Hollnagel'a. Его предложенная концепция о рассмотрении безопасности с точки зрения подхода живучести, побудила ученых поставить во главу стола человека, а не риск, в основном зависящий от оборудования и содержимого. По мнению ученых, именно человек принимает решения на всех этапах существования системы, начиная от управления конкретным оборудованием, заканчивая созданием политики организации, однако, не стоит рассматривать данный подход как панацею от всех аварий.

Принимая во внимание вышесказанное, российский подход к оценке живучести, основанный на отказе от риска с использованием механизмов основанных на поглощении негативных воздействий, не является неверным, и развитие данного вектора все также актуально. Для всестороннего анализа рассмотрим материалы наших соотечественников.

Одним из ведущих российских ученых, продвигающих методы оценки живучести является **Н.А. Махутов**. Перерабатывая материал, предложенный иностранными коллегами, в частности большое внимание уделяя работам **Shubert'a** [44], Махутов [13] выдвигает теорию индекс-критериев на Российскую сцену.

Работы Махутова представляют основные подходы к проведению количественной оценки живучести сложных технических систем (далее – СТС), в том числе, основанные на оценке соотношений прямых и косвенных рисков, соотношении вероятности катастрофических отказов для поврежденной и неповрежденной системы и энергетических критерий эскалации катастрофических сценариев.

В статье [13] авторы приводят 6 различных методов, применимых для оценки живучести, через: отношения вероятности отказов СТС, отношения нагрузки необходимой для разрушения СТС, надежность элементов СТС, соотношения рисков прямых и косвенных

ущербов, энергетические потоки внутри отдельных элементов системы и перераспределение нагрузки на другие элементы системы.

Наиболее актуальные на сегодняшний момент являются метод соотношения рисков прямых и косвенных ущербов (далее – метод «индекс живучести, основанный на соотношении рисков прямых и косвенных ущербов») и метод, учитывающий перераспределение нагрузок на другие элементы системы (далее – метод «живучесть сетевых систем»). Ввиду наибольшей актуальности рассмотрим выше обозначенные методы.

В методе «соотношения рисков прямых и косвенных ущербов» автор под прямыми рисками принимает риски, которые непосредственно связаны с локальными повреждениями элементов системы в результате экстремальных иницирующих воздействий; под косвенными – риски, которые возникают в результате эскалации аварии и обусловлены отказом системы в целом. Данное высказывание можно представить в виде:

$$G_R = \frac{\sum_{i=1}^m R_{пр_i}}{\sum_{i=1}^m R_{пр_i} + \sum_{i=1}^n R_{кос_i}}, \quad (7)$$

где m – общее количество сценариев, в которых произошло иницирующие событие;

n – количество сценариев, в которых наблюдается развитие аварии с увеличением ущербов;

$R_{пр_i}$ – прямые риски;

$R_{кос_i}$ – косвенные риски.

Также как и в предыдущих методиках, в случае если $G_R \rightarrow 1$ – система абсолютно живучая, $G_R \rightarrow 0$ – система абсолютно неживучая, т.е. система живуча если косвенные риски не вносят вклад в общий риск ($R_{пр_i} \gg R_{кос_i}$).

Данный метод не привязан к характеристикам оборудования, что означает возможность более широкого применения, выходя за рамки оценки живучести СТС.

В методе «живучесть сетевых систем» автор указывает на необходимость учета способности системы перераспределять потоки энергий, вещества и информации (E, W, I) и продолжать выполнение задач после того, как отдельные элементы системы выходят из строя, ввиду того, что в результате отказа одного элемента сети вероятность отказа остальных элементов возрастает. Данное высказывание можно представить в виде (2).

$$G_{net} = \min_i P R > L | D_i, \quad (8)$$

где $PR > L|D_i$ – вероятность того, что несущая способность элемента будет выше эксплуатационной нагрузки, после удаления из системы одного из элементов и перераспределения проходивших через него потоков на оставшиеся элементы;

R - несущая способность системы;

L - эксплуатационная нагрузка на систему;

D_i – локальное повреждение системы, выражающееся в удалении i -го элемента.

Данный метод является наиболее комплексным, рассматривая все элементы системы, перестраивая ее каждый раз при изменении какого-либо параметра, тем самым получая наиболее точный, полный, учитывающий все возможные факторы результат. Подходит для разработки расчетных методик для типовых СТС, либо уникальных объектов требующих высокой точности результатов. Однако, использование данной методики для типовых СТС является затруднительным ввиду большого объема и сложность расчетов.

Методы Махутова все еще не получили полного раскрытия и не исчерпали весь потенциал, оставаясь актуальными и по сей день. В связи с этим, материал, представленный Махутовым, является плодородной почвой для дальнейшего развития.

Кроме того, все вышеперечисленные методы автор применяет только к оценке живучести СТС, при этом в случае развития, существует возможность применения данных методов к оценке живучести территорий, принимая за исходные данные зоны поражения и экономические потоки, проходящие вблизи потенциально опасных объектов (далее – ПОО).

Попытка выразить живучесть через понятие энтропии имеет целый пласт в области оценки живучести. Одними из исследователей, попытавшихся представить живучесть через энтропию, являются следующие авторы.

Деева В.С. и Слободян С.М. [12] предлагают подойти к оценке живучести через понятие «энтропии». Энтропия – измеримая мера вероятности возможного пребывания наблюдаемой системы в данном состоянии; мера беспорядка, хаоса. Данный вывод был сделан на основе анализа множества публикаций, где говорится снижении ресурса надёжности, вызванного влияниями естественных процессов изнашивания, приводящим к постепенным и внезапным отказам элементов в эксплуатации. Приводятся данные статистических исследований: для одиночных, мелких серий и крупносерийного оборудования все отказы по причинам отказов делятся на две устойчивые группы: ~30% отказов вызваны эксплуатационными причинами, ~70% - конструкционными и производственными дефектами.

Оценка живучести объекта путем наблюдения за количеством отказов, ведением статистики и последующих расчетов, определенно имеет логическое обоснование.

Действительно, по данным множества публикаций, а также статистики, чем дольше объект эксплуатируется, тем чаще встречаются отказы. Но, как известно, возраст объекта и степень износа не единственные причины отказов. В данной методике упускаются из виду человеческий фактор, который вносит весомый вклад в общий процент иницирующих событий.

Новый взгляд на человеческий фактор вносят **братья Федоровы** [14]. Они задаются вопросом влияния персонала на оценку живучести, вводя три типа потери живучести.

1. Объектная потеря живучести:

а) физическая (разрушение объекта, необходимость его ликвидации);

б) функциональная (потеря работоспособности из-за нарушения связей между элементами, прекращение энергопитания).

2. Управленческая потеря живучести:

а) физическая (разрушение элементов системы управления под воздействием теплового фактора, электромагнитного импульса или других причин);

б) функциональная (потеря работоспособности датчиков информации, каналов связи, вычислительной техники, как аппаратной, так и программной);

в) исполнительская (выход из строя исполнительных органов, прекращение их электропитания и т. д.).

3. Диспетчерская потеря живучести:

а) физическая (ранение или гибель операторов);

б) психическая (под действием тех или иных причин потеря способности объективно воспринимать текущую ситуацию и принимать правильные решения);

в) информационная (нарушение работы систем отображения информации или связи, что лишает оператора способности наблюдать за объектами и управлять ими).

В данной статье под понятием устойчивости авторы понимают отклонение элемента от состояния равновесия, которое может быть представлено как иницирующее событие внутри системы и привести к эскалации аварии. Значение амплитуды данного отклонения и характеризует живучесть, обозначая область допустимых отклонений, при которых маловероятна эскалация аварии. Хотя и автор в своей статье сужает «живучесть» в пределах ЭЭС, данный материал возможно применить ко всем СТС.

Двоглазов Д.М. [11], рассматривая живучесть СТС, вводит характеристику безотказности, привязывая ее к временному фактору, тем самым учитывая цикл старения оборудования.

Характеристику безотказности $P(t)$ – вероятность безотказности за интервал $(0 - t)$ от начала функционирования – в живучести следует интерпретировать как вероятность

целостности, сохранности компонента системы. $P(t)$ – убывающая функция от значений, близких к 1 (для высоконадежных изделий) к концу периода приработки. Далее она плавно уменьшается до 0 к моменту гибели компонента системы. Однако с момента приработки функция $P(t)$ локально возрастает до отмеченного значения по мере «выгорания» ненадежных компонентов. Статистически $P(t)$ определяется по формуле:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (9)$$

где N_0 – число изделий, поставленных на испытания;

$n(t)$ – число изделий, отказавших за время испытаний t .

Автор рассматривает модель управления предприятием сложной структуры, которая нацелена на функционирование в следующих условиях преднамеренных и случайных воздействий внешних рисков: от конкурентов, при возникновении чрезвычайных ситуаций, климатических регулярных воздействий. Замкнутые системы, описываемые линейными функциями строго, либо с некоторым допущением нелинейности, могут оказываться в тех или иных проявлениях неустойчивости чаще всего вследствие не внешних воздействий, а из-за изменений параметров, внутренних связей, т.е. вследствие внутренних причин.

Данная методика описывает понятие живучести, раскрывая его через время и рассматривая замкнутые системы, в которых большее значение на работоспособность системы оказывают внутрипроизводственные причины, а не внешние факторы.

Бобович Н.М. [9] предлагает рассматривать живучесть критически важных объектов информатизации (далее – КВОИ) с точки зрения определения производительности (пропускной способности) исследуемой системы путем анализа ее структуры и устойчивости структурных элементов к воздействию дестабилизирующих факторов.

Отнесение объекта информатизации к КВОИ осуществляется на основании критерия важности объекта информатизации, который выполняет функции информационной системы или обеспечивает предоставление значительного объема информационных услуг, в случае если последствия от нарушения (прекращения) функционирования объекта информатизации соответствуют показателям уровня ущерба в политической, экономической, социальной, информационной, иных сферах в соответствии с перечнем.

Функциональный ущерб и оценка состояния сложных функционально связанных объектов определены с помощью метода анализа случайных структур по производительности. Суть данного метода состоит в определении производительности (пропускной способности) исследуемой системы путем анализа ее структуры и устойчивости структурных элементов к воздействию дестабилизирующих факторов. При этом на первом

этапе определяется алгоритм расчета производительности исходной (неслучайной) структуры. Второй этап состоит в преобразовании полученного алгоритма в алгоритм расчета статистических характеристик производительности при заданных случайных воздействиях дестабилизирующих факторов на структуру системы. Для приведения производительности элементов к производительности исследуемой системы процесс ее функционирования представляется в виде совокупности технологических операций, выполняемых или обеспечиваемых элементами системы.

Метод, предложенный Бобовичем Н.М, описывает систему через совокупность структурных элементов, подверженных неблагоприятному воздействию, ввиду которого данные элементы могут выйти из строя, не учитывая при этом перераспределение нагрузки на соседние элементы. При этом к достоинствам метода следует отнести возможность включения в расчетные алгоритмы человека (пользователя, обслуживающий персонал) как элемента системы, необходимого для ее функционирования.

Вычужанин В.В., Бойко В.Д. и Рудниченко Н.Д. [10], предлагают рассматривать живучесть СТС с точки зрения взаимного влияния агрегатов друг на друга, что в свою очередь позволяет уменьшить время поиска неисправного агрегата и выявить взаимозависимость всех агрегатов от критичного элемента системы.

При рассмотрении сложной СТС автор вводит «межагрегатные» связи, которые в свою очередь обеспечивают взаимодействие элементов друг с другом. На практике такие связи представляют – трубопроводы, линии энергии и информации.

Методика, предложенная автором, представляет собой ориентированный граф, в котором дуги являются межагрегатными связями, а узлы элементами системы. Каждый узел имеет свой неопределенный показатель «важности», который отвечает за степень влияния данного элемента на живучесть системы, т.е. в случае аварии в данном элементе вероятность отказа системы является более высокой, нежели в элементе с меньшей «важностью». Импульс, распространяемый по системе, ослабляется в зависимости от веса дуг орграфа, т.е. в зависимости от защищенности межагрегатной связи импульс может $\rightarrow 0$, где импульс – эскалация инициирующего события.

Коэффициент структурной угрозы по связям для заданных межагрегатных связей вычисляется как отношение пораженных связей системы ко всем связям при поражении рассматриваемых межагрегатных связей и беспрепятственном распространении импульса по системе.

$$k_{ss}(e_{ij}) = \frac{i_s}{N_s}, \quad (10)$$

где i_s – число пораженных связей в результате импульса;

N_s - общее количество связей в графе;

$k_{ss}(e_{ij})$ – коэффициент структурной угрозы по связям для узла e_{ij} .

Коэффициент структурной угрозы по агрегатам для заданных межагрегатных связей вычисляется как отношение пораженных агрегатов системы ко всем агрегатам при поражении рассматриваемых межагрегатных связей и беспрепятственном распространении импульса по системе.

$$k_{sa}(e_{ij}) = \frac{i_a}{N_a}, \quad (11)$$

где i_a – число пораженных агрегатов в результате импульса;

N_a - общее количество агрегатов в графе;

$k_{sa}(e_{ij})$ – коэффициент структурной угрозы по связям для узла e_{ij} .

Исходя из данных коэффициентов, можно найти наиболее приоритетные (важные) агрегаты, усиление которых приведет к большему увеличению живучести системы, нежели усилению агрегатов с меньшей важностью.

Представленная методика для российской действительности является инновационной, так как суть ее стремиться обозначить наиболее важные для системы элементы для последующего усиления, тем самым уменьшая вероятность отказа системы и увеличивая ее живучесть.

Все вышеперечисленные методы российских авторов применяются только к оценке живучести СТС, при этом в случае развития некоторых методов, существует возможность их применения для оценки живучести территорий.

Разработка методики оценки живучести территории муниципального образования; роль живучести в системе управления риском

Как видно из предшествующего анализа российские ученые начали активную деятельность только после 2010, основываясь на трудах своих иностранных коллег. На сегодняшний момент понятие живучести рассмотрено с многих сторон, но единой методики, позволяющей учесть все факторы, разработано не было. Учитывая вышесказанное, определение живучести на нормативно-правовом уровне не существует, что в свою очередь является пробелом при разработке деклараций и паспортов безопасности объектов различного уровня.

На рисунке 2.1 представлена блок схема анализа опасности риска и оценки риска [4] с добавленным блоком по оценке живучести. Блок оценки живучести расположен согласно хронологической последовательности расчета рассматриваемого объекта.

В данной работе был выбран курс на развитие понятия живучесть территории. Для реализации данного направления была рассмотрена экономическая составляющая потенциально опасных объектов с привязкой их к инфраструктуре. В результате чего был получен задел на развитие понятия живучести в векторе территории.

Кроме того, движение в отношении развития понятия живучести территории в Российской Федерации отсутствует, поэтому данная тема является еще более актуальной, так как оперирование данными по живучести территории, может указать на наиболее важные объекты, повышении живучести которых максимально увеличит живучесть и тем самым уменьшит экономический риск целой территории.

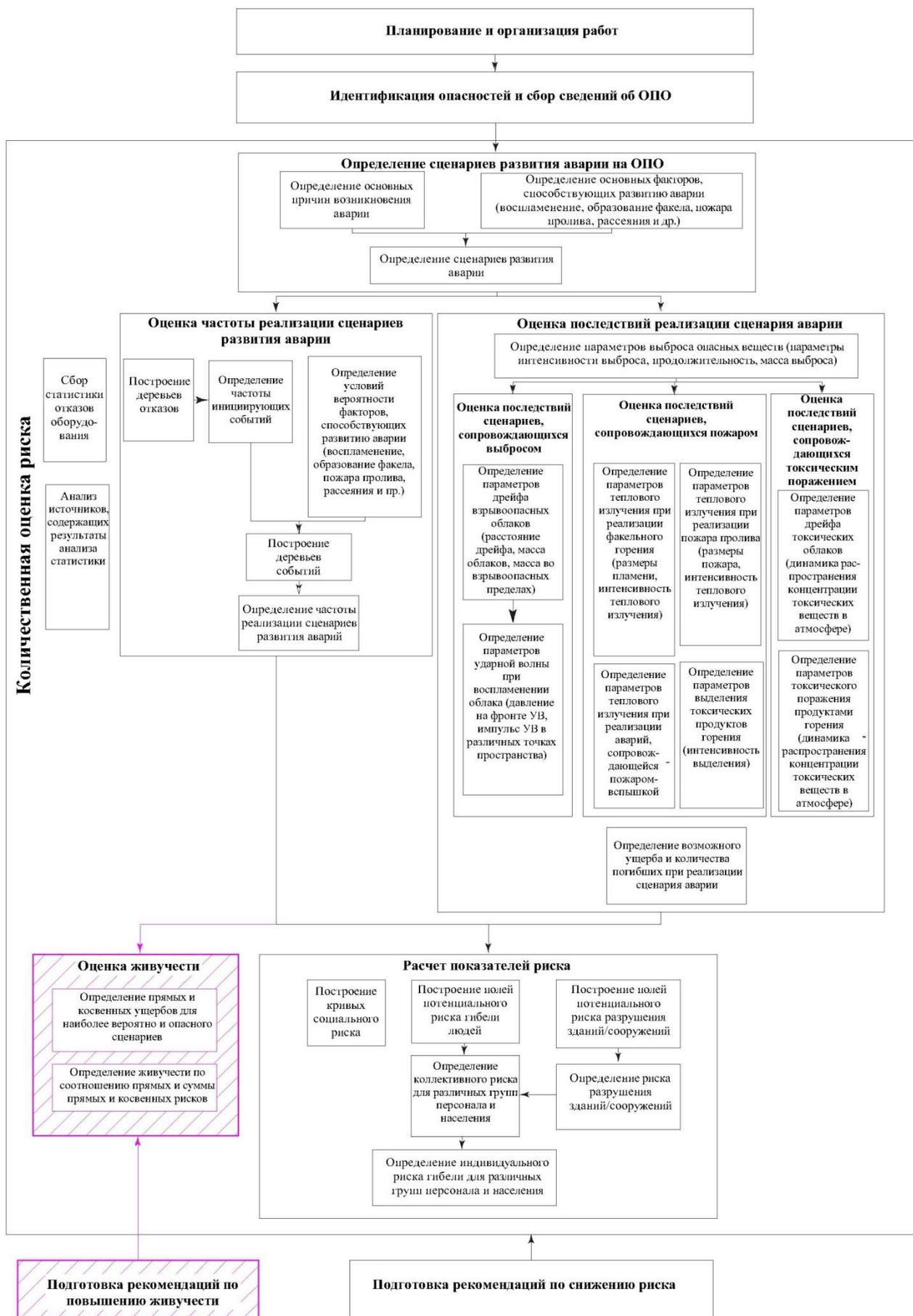


Рисунок 2.1 – Блок схема оценки риска и живучести

Теоретическое представление методики оценки живучести территории

После обзора, представленного в начале статьи, можно явно определить вектор движения понятия живучесть. Ввиду того, что на текущий момент понятие живучести территории не получило должного развития, в данной работе была осуществлена попытка представить понятие живучести территории в следующем виде.

Потенциально опасный объект - это объект, на котором расположены здания и сооружения повышенного уровня ответственности. ПОО представляют собой совокупность технологического оборудования, которое является сложной технической системой. При внешних воздействиях и запредельных нагрузках возможен отказ любого из элементов системы, что может привести к аварии или катастрофе. Для прогнозирования наступления аварии или катастрофы впоследствии отказа, вводится понятие живучести, которое показывает возможность функционирования системы при запредельных воздействиях.

Показатель живучести имеет непосредственную связь с экономической составляющей объекта, что в свою очередь вводит необходимость оценки показателя живучести, для уменьшения потерь вследствие ЧС. Под живучестью принято понимать способность организации регулировать свое функционирование чтобы, во время или после изменений и нарушений, была возможность выдержать необходимые события в ожидаемых и неожиданных условиях, сохраняя свое рабочее (исправное, идеальное) состояние [32].

Живучесть территории формируется из совокупности влияния ПОО, размещенных на рассматриваемой территории, на инфраструктуры и объекты экономики (далее – ОЭ); в полной мере зависит от степени попадания различных объектов в поражающие зоны, возникшие вследствие аварии на ПОО. Показатель живучести территории в свою очередь означает ее экономическую стабильность, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Живучесть территории в условиях экстремальных воздействий обеспечивается реализацией следующих основных принципов:

1. Предотвращение возникновения и развития аварий на территории при внешних воздействиях.
2. Продуманность и всесторонняя обоснованность градопланирования и используемых строительных конструкций, с точки зрения возможности функционирования в условиях экстремальных воздействий.
3. Обеспечение высоких качественных показателей отдельно взятых ПОО и их оборудования (повышенной надёжностью, прочностью, огнестойкостью, радиационной стойкостью и т.п.), позволяющего эксплуатировать ПОО при повышенных нагрузках.

4. Выполнение указаний согласно плану действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера субъекта Российской Федерации.

5. Подготовка населения, инфраструктур и экстренных служб к работе в условиях экстремальных воздействий.

Под территорией подразумеваем субъект Российской Федерации (далее – РФ). Субъектами РФ являются республики, края, области, города федерального значения, автономная область и автономные округа, которые составляют экономические районы РФ.

Наиболее важные для живучести территории рекомендации по градостроительному планированию выражены в следующем.

Магистральные улицы категоризованных городов должны прокладываться с учетом обеспечения выхода по ним из жилых и промышленных районов на загородные дороги не менее, чем по двум направлениям. Эти магистрали должны пересекаться с другими улицами в разных уровнях. В зонах возможных сильных разрушений пересечения должны дублироваться другими проездами на расстоянии не менее 50 м от проезда или путепровода.

Энергетические сооружения и электрические сети должны обеспечивать бесперебойность электроснабжения. Сети размещаются вне зон возможных разрушений, энергосистемы закольцовываются. Линии электропередач должны проходить по разным трассам, закольцовываться и подключаться к нескольким источникам.

Для случаев разрушения сооружений напорного фронта должны быть определены параметры волны прорыва и границы зоны возможного затопления в нижнем бьефе в условиях нормального и сниженного подпорных уровней водохранилища.

На железных дорогах следует предусматривать устройство обходов и веток для возможности проезда вне категоризованных городов. Базы - стоянки резерва и пункты подвижного состава должны располагаться вне зон возможных разрушений и затопления.

Основные принципы увеличения живучести территории в ЧС сводятся к следующему.

1. Повышение живучести территории достигается за счет эффективного градостроительного планирования, в том числе грамотным расположением ПОО, транспортных и инженерных сетей, учетом географических характеристик местности.

2. Территорий, полностью гарантированных от риска возникновения ЧС не существует. Отсюда следует принцип максимально необходимого повышения живучести за счет обеспечения надежности и безопасности инженерных систем и технологического оборудования ПОО и инженерных сетей на всех стадиях существования от разработки до вывода из эксплуатации и осуществления необходимых защитных мероприятий.

3. Деятельности по повышению живучести территории должна быть присуща превентивность, что означает, что приоритет в этой деятельности должен отдаваться мероприятиям, направленным на уменьшение риска возникновения причин неблагоприятных воздействий.

4. Повышение живучести территории должно отвечать требованиям эффективности и экономической целесообразности, что означает учет всех факторов, влияющих на живучесть ПОО, инфраструктур, экстренных служб.

Основываясь на индекс-критерии живучести, предложенным Ioni Oana-Mihaela [34], живучесть территории можно записать в виде формулы:

$$G = \frac{\sum R_{\text{пр}}}{\sum (R_{\text{пр}} + R_{\text{кос}})}, \quad (12)$$

где R – риск, представленный в виде:

$$R_i = U_i \cdot p_i, \quad (13)$$

где p_i – вероятность i -го сценария для рассматриваемого ПОО;

$U_{\text{пр}}$ – прямой ущерб объекту, расположенному в зоне поражения аварии на ПОО, представленный в виде:

$$U_{\text{пр}} = \sum D_{\text{инфр}} + D_{\text{пoo}} + \sum (\alpha_i L_i T_i + D_i), \quad (14)$$

где $D_{\text{инфр}}$ – денежная величина, необходимая для возобновления работы (восстановления) инфраструктуры, пострадавшей в ходе аварии. Значение показателя берется исходя из стоимости работ, материалов, поврежденных конструкций, а также сырья;

$D_{\text{пoo}}$ – денежная величина, необходимая для возобновления работы (восстановления) объекта, на котором возникла авария (ПОО). Значение показателя берется исходя из стоимости работ, материалов, поврежденных конструкций, а также сырья;

$U_{\text{кос}}$ – косвенный ущерб объектам, попавшим в зону влияния вследствие аварии на ПОО, представленный в виде:

$$U_{\text{кос}} = \sum (\alpha_i L_i T_i), \quad (15)$$

где L_i – оборот предприятия в день. Значение показателя берется из годовых финансовых отчетов, поделенное на 365 дней;

α_i – коэффициент взаимозаменяемости объекта зависит от избыточности объектов рассматриваемого типа, его влияния на другие объекты, а также от доли поражения элементов в конкретном объекте. Определяется экспертным методом;

D_i – денежная величина, необходимая для возобновления работы (восстановления) i -го объекта. Значение показателя берется исходя из стоимости работ, материалов, поврежденных конструкций, а также сырья;

T_i – наибольший индекс восстановления для i -го объекта и (или) инфраструктуры, представленный в виде:

$$T_i = \gamma_i n_i \quad (16)$$

где n_i – наибольшее количество дней, необходимых для возобновления работы поврежденных элементов i -го объекта и (или) инфраструктуры. Значение показателя берется исходя из регламентов предприятия и (или) инфраструктуры, статистических данных;

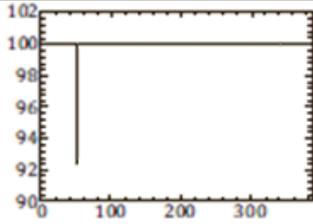
γ_i – коэффициент, учитывающий характер восстановления производительности i -го объекта и (или) инфраструктуры.

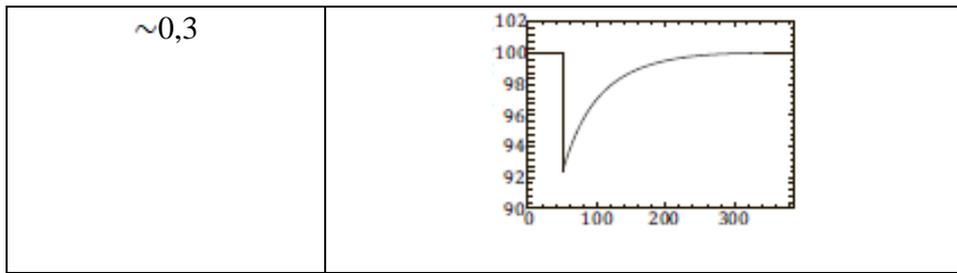
Коэффициент γ_i основан на функции восстановления, предложенной Chang, Cimellaro и Kafali [26, 27, 35], и зависит от ее характера. Данный коэффициент варьируется от 0 до 1. Значения коэффициентов в соответствии с графиками функции представлены в таблице 2.1.

При этом, возможен вариант экспресс-расчета, при котором рассматривается только один сценарий аварии (например, наиболее опасный), тогда формула (12) упрощается до соотношения прямых и суммы прямых и косвенных ущербов:

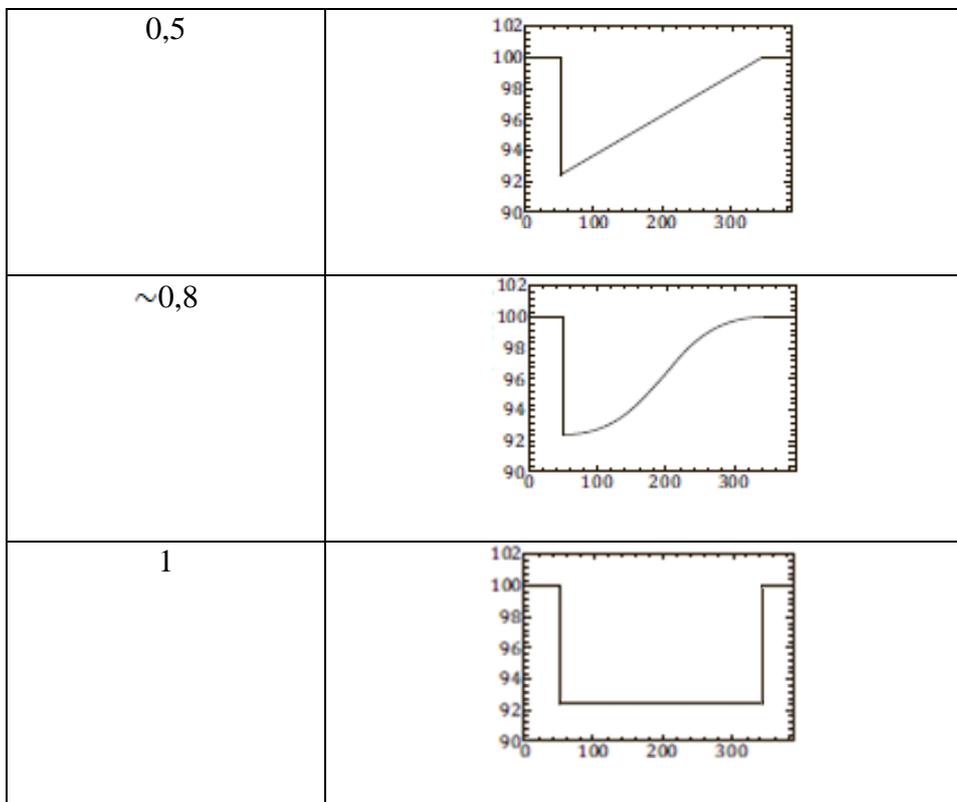
$$G = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр}} + U_{\text{кос}}} \quad (17)$$

Таблица 2.1 – Соответствие значений коэффициента γ_i с функцией восстановления

Значение коэффициента γ_i	Характер функции восстановления
0	



Продолжение таблицы 2.1



Расчет живучести виртуальной территории

Рассмотрим следующий пример, представленный на рисунке 2.1.

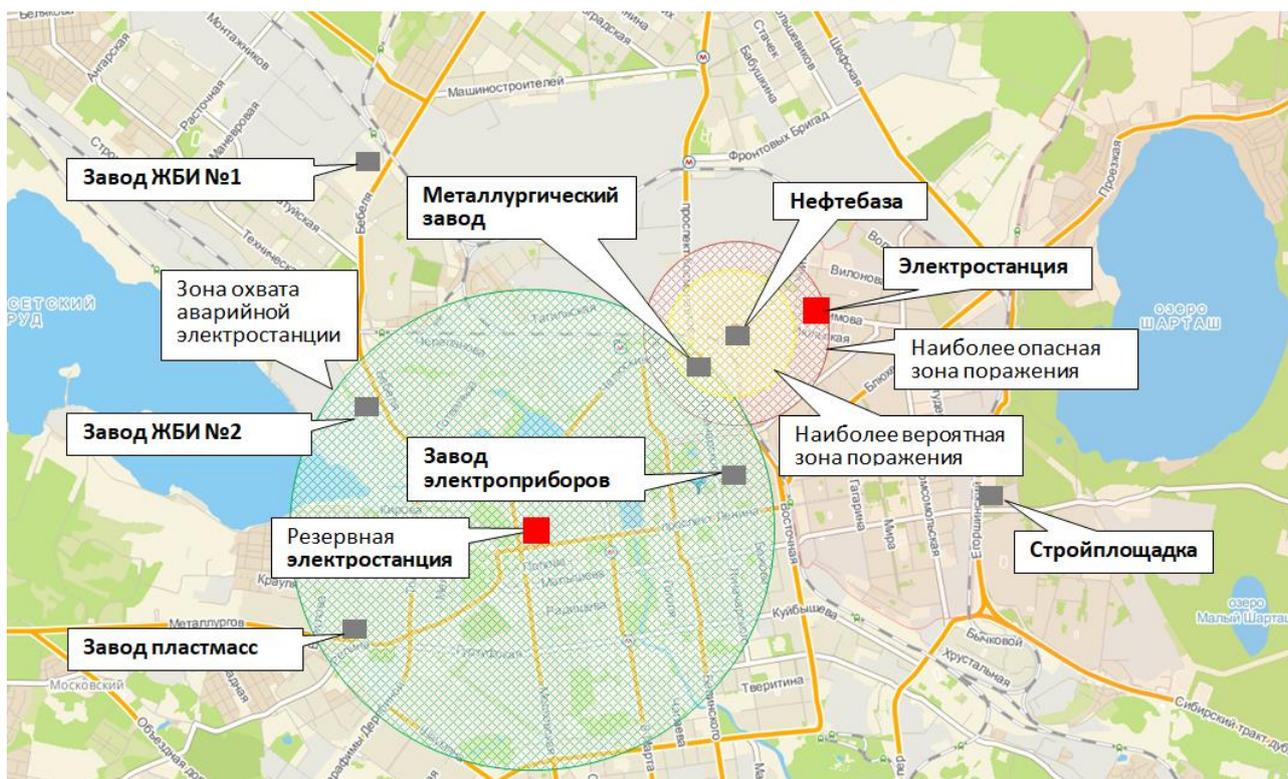


Рисунок 2.1 – Зоны поражения, нанесенные на идеальную модель

В рамках данного примера рассмотрены наиболее вероятный и наиболее опасный сценарии, в результате расчета по которым обозначены границы области значительных повреждений. Под значительными повреждениями будем принимать остановку функционирования объектов, попавших в эти границы.

Согласно данному примеру, произошел взрыв опасного вещества (далее – ОВ), размещенного на нефтебазе.

При наиболее опасном сценарии в границы области значительных повреждений попадают следующие объекты: электростанция, обслуживающая всю территорию, и металлургический завод.

При наиболее вероятном сценарии в границы области значительных повреждений попадает завод по производству запчастей электроники.

В данном примере рассмотрены следующие объекты, не попавшие в границы области значительных повреждений:

- Резервная электростанция
- Завод электроприборов
- Завод пластмасс
- Завод ЖБИ №1

- Завод ЖБИ №2
- Стройплощадка

Выше перечисленные объекты имеют следующие взаимосвязи:

- электростанция обеспечивает объекты, расположенные на территории МО, электроэнергией, критически необходимой для выпуска продукции (в отсутствии поставок происходит остановка производства, т.е. функциональность производства = 0);
- нефтебаза снабжает сырьем завод пластмасс;
- металлургический завод снабжает сырьем завод электроприборов, необходимым для выпуска продукции;
- резервная электростанция обеспечивает объекты, расположенные в зоне своего охвата электроэнергией, критически необходимой для выпуска продукции;
- заводы ЖБИ снабжает стройплощадку сырьем необходимым для продолжения строительства;

Исходные данные для расчета идеального примера аварии на нефтебазе представлены в таблице 2.2. Будем считать, что заводы ЖБИ полностью экспортируют свой товар на стройплощадку, из-за чего денежные потери от простоя производства отсутствуют.

Таблица 2.2 – Исходные данные

	D , млн.руб	α	γ	n , дн	L , $\frac{\text{млн.руб.}}{\text{дн.}}$
нефтебаза	7	1	0,8	20	0,5
электростанция	10	1	0,5	30	
металлургический завод	8	1	1	10	0,1
завод пластмасс	-	1	-	-	1
завод электроприборов	-	1	-	-	0,6
завод ЖБИ № 1	-	1	-	-	0,5
завод ЖБИ № 1	-	1	-	-	0,5
стройплощадка	-	0,5	-	-	3

Расчет живучести в границах заданной территории при реализации наиболее вероятного сценария:

$$G = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр}} + U_{\text{кос}}} = \frac{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}}}{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}} + \sum(\alpha_i \gamma_i L_i n_i)} = \frac{0 + 15 + 9}{0 + 15 + 9 + 6} = 0,800$$

$$U_{\text{пр.неф}} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 20 + 7 = 15$$

$$U_{\text{пр.м.з.}} = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10 + 8 = 9$$

$$U_{\text{кос.з.з.}} = 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 10 = 6$$

$$U_{\text{кос.п.з.}} = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$

$$U_{\text{кос.б.з1}} = 1 \cdot 0 \cdot 0 = 0$$

$$U_{\text{кос.б.з2}} = 1 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 = 0$$

$$U_{\text{кос.с.п}} = 0 \cdot 3 \cdot 0 = 0$$

Расчет живучести в границах заданной территории при реализации наиболее опасного сценария:

$$G = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр}} + U_{\text{кос}}} = \frac{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}}}{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}} + \sum(\alpha_i \gamma_i L_i n_i)} = \frac{10 + 15 + 9}{10 + 15 + 9 + 44,5} = 0,433$$

$$U_{\text{пр.неф}} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 20 + 7 = 15$$

$$U_{\text{пр.м.з.}} = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10 + 8 = 9$$

$$U_{\text{кос.з.з.}} = 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 10 = 6$$

$$U_{\text{кос.п.з.}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 20 = 16$$

$$U_{\text{кос.б.з1}} = 1 \cdot 0 \cdot 0,5 \cdot 30 = 0$$

$$U_{\text{кос.б.з2}} = 1 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0 = 0$$

$$U_{\text{кос.с.п}} = 0,5 \cdot 3 \cdot 0,5 \cdot 30 = 22,5$$

Косвенный ущерб, полученный в результате простоя заводов ЖБИ, учитывается только при расчете косвенного ущерба стройплощадки.

В случае отсутствия резервной электростанции была бы следующая живучесть: (20)

$$G = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр}} + U_{\text{кос}}} = \frac{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}}}{D_{\text{инфр}} + U_{\text{пр.неф}} + U_{\text{пр.м.з.}} + \sum(\alpha_i \gamma_i L_i n_i)} = \frac{10+15+9,5}{10+15+9,5+84} = 0,291$$

$$U_{\text{пр.неф}} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 20 + 7 = 15$$

$$U_{\text{пр.м.з.}} = 1 \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 30 + 8 = 9,5$$

$$U_{\text{кос.з.з.}} = 1 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 30 = 9$$

$$U_{\text{кос.п.з.}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 30 = 15$$

$$U_{\text{кос.б.з1}} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 30 = 7,5$$

$$U_{\text{кос.б.з2}} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 30 = 7,5$$

$$U_{\text{кос.с.п}} = 1 \cdot 3 \cdot 0,5 \cdot 30 = 45$$

Примем, что наиболее вероятный сценарий происходит с вероятностью (частотой сценария в год) 10^{-5} , наиболее опасный с вероятностью 10^{-7} , выход из строя аварийной электростанции с вероятностью 10^{-3} .

Определим живучесть территории, обозначенную на рисунке 2.2:

$$G = \frac{\sum R_{\text{пр}}}{\sum (R_{\text{пр}} + R_{\text{кос}})}$$

$$= \frac{U_{\text{пр.вер}} p_{\text{вер}} + U_{\text{пр.опс}} p_{\text{опс}} + U_{\text{пр.опс.а.з}} p_{\text{опс}} \cdot p_{\text{в.а.з}}}{(U_{\text{пр.вер}} + U_{\text{кос.вер}}) p_{\text{вер}} + (U_{\text{пр.опс}} + U_{\text{кос.опс}}) p_{\text{опс}} + (U_{\text{пр.опс.а.з}} + U_{\text{кос.опс.а.з}}) p_{\text{опс}} \cdot p_{\text{в.а.з}}}$$

$$= \frac{24 \cdot 10^{-5} + 34 \cdot 10^{-7} + 34,5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^{-5} + 68,5 \cdot 10^{-7} + 118,5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3}} = \frac{24,34035 \cdot 10^{-5}}{30,686185 \cdot 10^{-5}} = 0,79$$

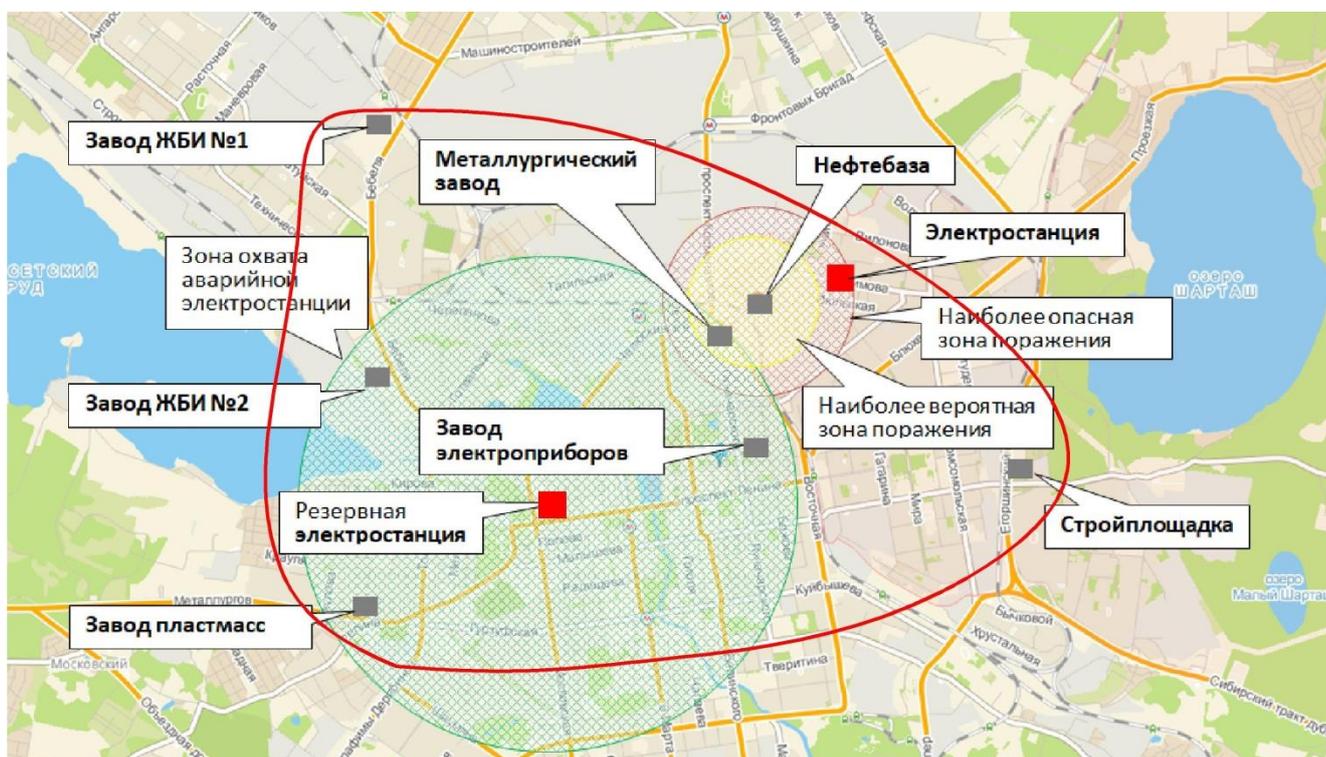


Рисунок 2.2 – Границы территории, для которой определена живучесть

Границы территории определяются, исходя из объектов экономики, которые находятся в зоне влияния аварии на нефтебазе.

Живучесть территории МО определяется по формуле (20):

$$G = \frac{(S - S_i - S_{i+1} - \dots - S_{i+n}) \cdot 1 + S_i \cdot G_i + S_{i+1} \cdot G_{i+1} + \dots + S_{i+n} \cdot G_{i+n}}{S} \quad (22)$$

где S – площадь территории МО;

S_i – площадь области живучести вблизи i -го объекта;

G_i – живучесть территории вблизи i -го объекта.

Заключение

В рамках данной работы разработана методика, позволяющая провести количественную оценку живучести территории муниципального образования, характеризующую экономическую стабильность рассматриваемой территории.

Живучесть территории формируется из совокупности влияния ПОО, размещенных на рассматриваемой территории, на инфраструктуры и ОЭ; в полной мере зависит от степени попадания различных объектов в поражающие зоны, возникшие вследствие аварии на ПОО.

В основу методики лег индекс критерий соотношения прямых и суммы прямых с косвенными ущербов. Ввиду того, что индекс критерий разработан непосредственно для оценки живучести СТС, при оценке живучести территории обнаружилось особенности расчета транспортных инфраструктур, а именно: резкие положительные скачки живучести непосредственно вблизи градоформирующих предприятий. Данные скачки связаны с тем, что прямые ущербы на пустом участке пути во много раз меньше косвенных, чем в случае аварии вблизи градоформирующего предприятия.

Несмотря на выявленные особенности методики, можно выявить следующие ее преимущества:

- простота расчета;
- доступность исходных данных (экономические отчеты предприятий за год);
- возможность определения наименее живучего участка территории, для его первостепенного улучшения.

Полученная методика является универсальной и может быть применена к оценке живучести территорий любого статуса и размера, на которых расположены ПОО.

Список литературы

1. Федеральный закон от 30.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 29.07.2018 г.).
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Утверждено Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 г. № 96 (ред. от 26.11.2015).
3. РБ «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности». Утверждено Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29.06.2016 г. № 272.
4. РБ «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Утверждено Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 г. № 144.
5. РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. Утверждено Приказом Госатомнадзора России от 31.01.1996 г. №100.
6. ГОСТ Р 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные и чрезвычайные ситуации. Термины и определения. Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 26.12.1994 г. № 362.
7. Программный комплекс ТОХИ+ Risk версии 4.3.0. ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». URL: <http://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxirisk-5>.
8. Аверьянов, В. Т. Выбор показателя устойчивости пожаро- и взрывоопасного объекта к воздействию воздушной ударной волны аварийного взрыва / В. Т. Аверьянов // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2014. – № 2. – С. 7-14. – EDN STAHWX.
9. Бобович, Н. М. Методы оценки ущербов в задачах количественного анализа живучести критически важных объектов информатизации / Н. М. Бобович, В. В.

- Маликов // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2014. – № 4(82). – С. 59-65. – EDN YZJLHN.
10. Вычужанин, В. В. Метод оценки влияния состояния межагрегатных связей на структурную живучесть сложных технических систем / В. В. Вычужанин, В. Д. Бойко, Н. Д. Рудниченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 3(25). – С. 105-112. – EDN SFNHWJ.
 11. Двоеглазов, Д. М. Живучесть и устойчивость предприятий сложной структуры в условиях воздействия внешних рисков, алгоритмы управления и модели адаптации рисков / Д. М. Двоеглазов // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 1(26). – С. 63. – DOI 10.15862/72TVN115. – EDN UBGSDL.
 12. Деева, В. С. Энтропийный подход к оценке живучести средств контроля / В. С. Деева, С. М. Слободян // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4(126). – С. 121-128. – EDN TPFVJZ.
 13. Махутов, Н. А. Оценка живучести сложных технических систем / Н. А. Махутов, В. П. Петров, Д. О. Резников // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 3. – С. 47-66. – EDN MEGOYJ.
 14. Федоров, В. К. Энтропийные аспекты эффективности, устойчивости и живучести электроэнергетических систем / В. К. Федоров, И. В. Федоров // Омский научный вестник. – 2013. – № 1(117). – С. 187-193. – EDN QJIPTH.
 15. Черкесов Г. Н., Можаяев А. С., Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем, качество и надежность изделий, № 3 (15), Знание, 1991, С. 3-64.
 16. ASCE and FEMA, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA (Series). Federal Emergency Management Agency, 2000.
 17. Azadeh A. and Sheikhalishahi M., “An Efficient Taguchi Approach for the Performance Optimization of Health, Safety, Environment and Ergonomics in Generation Companies,” Saf. Health Work, vol. 6, no. 2, pp. 77–84, Jun. 2015.
 18. Azadeh A., Motevali Haghighi S., Salehi V., “Identification of managerial shaping factors in a petrochemical plant by resilience engineering and data envelopment analysis,” J. Loss Prev. Process Ind., vol. 36, pp. 158–166, Jul. 2015.
 19. Azadeh A., Salehi V., Ashjari B., and Saberi M., “Performance evaluation of integrated resilience engineering factors by data envelopment analysis: The case of a petrochemical plant,” Process Saf. Environ. Prot., vol. 92, no. 3, pp. 231–241, May 2014.
 20. Battles J. and King H., “TeamSTEPPS® Teamwork Perceptions Questionnaire (T-TPQ) Manual,” Am. Inst. Res., pp. 23–25, 2010.

21. Bergström J., van-Winsen R., Henriqson E., On the rationale of resilience in the domain of safety: A literature review, *Reliability Engineering & System Safety*, 2015
22. Bruneau, M. and Reinhorn, A., Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities. *Earthquake Spectra*, 23(1):41–62., 2007.
23. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., and von Winterfeldt, D., A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4):733–752., 2003.
24. Caverzan A., Solomos G., Review on resilience in literature and standards for critical built-infrastructure, Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2014.
25. Cardona, D. O., The notions of disaster risk: Conceptual framework for integrated management. Technical report, Inter-American Development Bank, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales, Manizales, 2003.
26. Chang, S. E. and Shinozuka, M., Measuring improvements in the disaster resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 20(3):739–755, 2004.
27. Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M., and Bruneau, M., Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering Structures*, 32(11):3639– 3649, 2010.
28. Comfort, L. *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*. Pergamon Press, 1999.
29. Frangopol, D. and Curley, J., Effects of damage and redundancy on structural reliability. *Journal of Structural Engineering*, 113(7):1533– 1549, 1987.
30. Hoiling, C., Schindler, D., Walker, B. W., and Roughgarden, J., Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. *Biodiversity loss: economic and ecological issues*, page 44, 1997.
31. Hollnagel E. and Woods D. D., “Epilogue: Resilience engineering precepts,” *Resil. Eng. Precepts*, January, pp. 347–358, 2006.
32. Hollnagel, E. *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*. Farnham, UK: Ashgate, 2014.
33. Horne, J. F. and Orr, J. E., Assessing behaviors that create resilient organizations. *Employment Relations Today*, 24(4):29–39, 1997.
34. Ioni Oana-Mihaela, Taranu N., Rominu S., Banu C., “Risk-based assessment of structural robustness”, *Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX), Fasc. 2*, 2010.
35. Kafali, C. and Grigoriu, M., Rehabilitation decision analysis. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR'05)*, 2005.

36. Kalungi P. and Tanyimboh T. T., "Redundancy model for water distribution systems," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 82, no. 3, pp. 275–286, 2003.
37. Kazuo Furuta, *Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, Resilience Engineering A New Horizon of Systems Safety*, pp 435-454, 2014.
38. Kendra, J. M. and Wachtendorf, T.. Elements of resilience after the world trade center disaster: Reconstituting new york city's emergency operations centre. *Disasters*, 27(1):37–53., 2003.
39. Mallak, L., Measuring resilience in health care provider organizations. *Health Manpow Manage*, 24(4-5):148–152, 1998.
40. Marzo Serugendo G., "Robustness and dependability of selforganizing systems: a safety engineering perspective," in *Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems*, Proceedings, no. 5873, pp. 254–268, 2009.
41. Mileti, D. S., *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States*. National Academies Press, 1999.
42. Paton, D., Smith, L., and Violanti, J., Disaster response: risk, vulnerability and resilience. *Disaster prevention and Management*, 9(3):173–180., 2000.
43. Pelling, M., *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. Earthscan LLC., 2003.
44. Schubert M., and Faber M., "Robustness of Infrastructures Subject to Rare Events.". 10th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Tokyo, Japan, 2007.
45. Shigeru Haga *Safety Management and Resilient Work Performance at the "Sharp End"*, College of Contemporary Psychology, Rikkyo University 2014.
46. UNISDR., *Building the resilience of nations and communities to disasters*. Technical report, United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction – Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction, Kobe, Hyogo, Japan, 2005.
47. Vaneman W., *Designing Resiliency into a System of Systems*, System of Systems Engineering Community Information Exchange (SoSECIE), Naval Postgraduate School Monterey, CA, 2014.
48. Wildavsky, A., *Searching for safety*, volume 10. Transaction publishers, 1988.
49. Wreathall J., "Properties of Resilient Organizations: An Initial View," in *Resilience engineering: Concepts and precepts*, Ashgate, Aldershot, UK, pp. 275–288, 2006.
50. Xyrichis A. and Ream E., "Teamwork: A concept analysis," *J. Adv. Nurs.*, vol. 61, no. 2, pp. 232–241, Jan. 2008.