

Устойчивость функционирования ресурсоснабжающих предприятий

Г. Г. Гребенюк, Г. Н. Калянов, Л. А. Середа

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются предприятия, под управлением которых находятся инженерные системы производства и распределения ресурсов. В контексте особенностей этих предприятий и важности для жизнедеятельности современного общества делается вывод о необходимости повышения их эффективности при неблагоприятных воздействиях. Выполненный анализ показал, что организационная и инженерная компоненты предприятия тесно связаны, и отказ элементов одной из них неизбежно влияет на другую. Предложен комплексный подход к повышению устойчивости ресурсоснабжающего предприятия, заключающийся в совместном анализе ее организационной и инженерной компонент, определении ошибок в потоках данных процессов управления, поиске уязвимостей в сетевой системе распределения ресурсов, оценке их влияния на производительность и бесперебойность обеспечения услугами потребителей, формировании стратегий восстановления после негативного воздействия. Рассмотрен пример взаимного влияния организационной и инженерной компонент предприятия.

Ключевые слова: управление устойчивостью, ресурсоснабжающие предприятия, неблагоприятные воздействия, бизнес-процессы.

DOI 10.14357/20718632240307

EDN OEXBLE

Введение

Работа предприятий промышленности и сферы услуг, жизнедеятельность населения зависят от обеспечения их электроэнергией, водой, теплом, газом и другими ресурсами. Данные ресурсы производятся, передаются и распределяются инженерными системами, которые представляют собой разветвленные проводные или трубопроводные сети. Указанные системы находятся под управлением ресурсоснабжающих предприятий соответствующих видов деятельности [1]. Основным требованием к таким предприятиям является надежное и бесперебойное обеспечение услугами потребителей.

В силу своей структурной сложности, многочисленности входящих в них технических ком-

понентов, разнообразия и важности выполняемых функций инженерные системы распределения относятся к инфраструктурам, критическим для региона или поселения.

Инженерные системы распределения подвержены воздействию внутренних (техногенные аварии) и внешних (наводнения, ураганы, диверсии) угроз. Этому благоприятствует размещение инженерных сетей на большой территории и относительно легкая доступность к ним посторонних лиц. Указанные воздействия могут вызвать значительные негативные экономические, экологические и социальные последствия как для предприятия, так и для населения, проживающего в регионе его расположения.

Для предотвращения негативных последствий инженерные системы должны обладать

высокой устойчивостью к указанным угрозам. Исследованию устойчивости критических инфраструктур (КИ) в последнее время уделяется значительное внимание [2-6]. В [2] рассматривается надежностный подход к анализу устойчивости взаимосвязанных КИ с использованием показателей влияющих на них негативных воздействий, решается как прямая (оценка устойчивости), так и обратная (поиска критических узлов) задачи. В [3; 4] изучаются проблемы восстановления КИ после возникновения разрушительных событий, предлагаются подходы для формирования эффективных стратегий восстановления производительности. Проблемам количественной оценки устойчивости КИ на разных стадиях их функционирования в условиях возникновения отказов посвящены работы [5; 6].

Распространенный метод снижения последствий негативных воздействий (НВ) заключается в повышении надежности технических компонентов в рамках управления рисками и безопасностью. Однако этот метод становится недостаточно эффективным при увеличении числа потенциально уязвимых компонентов в больших системах, связанным с этим усложнением расчетов риска, многочисленностью и неопределенностью потенциальных угроз. Причем каждая угроза может повлиять на соответствующие только ей критические технические компоненты, тем самым навыполнение связанных с ними ключевых технологических операций может вызвать снижение производительности, отключение потребителей и др.

Инженерная устойчивость связана с работоспособностью, функциональностью и надежностью инженерного оборудования предприятия. Широко распространенной мерой оценки инженерной устойчивости является характер изменения функции производительности после и во время негативных воздействий по сравнению с ее докризисным значением. В [7] приводится определение инженерной устойчивости, как способности системы противостоять серьезному сбою в пределах приемлемых параметров деградации и восстанавливаться в течение приемлемого времени и с приемлемыми затратами. При этом, к повышению надежности технических компонентов предъявляются более слабые требования, чем при управлении рисками и

безопасностью, а основной упор делается на скорость восстановления, поиск уязвимостей для спектра вероятных угроз, создание сценариев реализации таких угроз, выбор для них стратегий восстановления.

В тоже время, инженерная устойчивость напрямую зависит от управления предприятием, проводимой им политики в области материально-технического, кадрового и других видов обеспечения, применяемых процессов контроля и управления или бизнес-процессов (БП), то есть от *организационной устойчивости*. Согласно [8] организационная устойчивость – это способность организации противостоять сбоям и неожиданным событиям благодаря стратегической осведомленности и связанному оперативному управлению внутренними и внешними потрясениями. При этом, статическая устойчивость предприятия основана на готовности и превентивных мерах, направленных на минимизацию вероятности угроз, а динамическая устойчивость опирается на способность управлять сбоями и неблагоприятными событиями для сокращения негативных последствий и максимизации скорости восстановления организации к желаемому состоянию.

Техническое состояние и режим работы компонентов контролируются и определяются соответствующими БП предприятия. Так, обеспечение надлежащего технического состояния и требуемых режимов работы технических компонентов в нормальных условиях эксплуатации контролируется бизнес-процессами проведения технического обслуживания и ремонта и оперативно-диспетчерского управления.

Ошибки в БП, возникающие по внутренним (например, из-за неполноты БП) или внешним (например, при аритмичности поставок ресурса, кибератаках) причинам опосредованно (через технические компоненты) также значительно влияют на производительность [9].

Современный подход к снижению последствий негативных воздействий в системе распределения услуг лежит в повышении устойчивости ресурсоснабжающего предприятия в целом.

Устойчивость предприятия, как организационно-технической системы, определяется его способностью и скоростью, с которой предприятие может вернуться к своему нормальному

уровню производительности после аварийного события [10] и должна рассматриваться во взаимодействии инженерной и организационной видов устойчивости. При исследовании БП также может быть продуктивным сценарный подход к анализу возможных угроз.

В настоящее время БП, как правило, не ориентированы на управление аварийными процессами, выходящими за рамки условий, оговоренных в нормативной документации, и часто выполняются в ручном режиме, исходя из целесообразности действий в текущей ситуации. Исключением являются мероприятия, проводимые МЧС и отраженные в документах, посвященных гражданской обороне, например, в [11]. Однако в этих материалах не затрагиваются вопросы анализа комплексной устойчивости предприятия.

В статье рассматриваются комплексный подход к повышению устойчивости ресурсоснабжающего предприятия, вопросы взаимодействия организационной и технической компонентов, предложения по расширению бизнес-процессов в условиях негативных воздействий.

1. Анализ взаимодействия организационной и технической компонент управления предприятием

В настоящее время, как правило, организационная и инженерные компоненты устойчивости к негативным воздействиям рассматриваются отдельно без учета их взаимного влияния.

Взаимодействие организационной и технической компонент управления предприятием в виде многослойной модели отражено на Рис. 1. Верхний слой представляет собой уровень БП предприятия, где кружками обозначены различные бизнес-функции. На нижнем слое изображена сеть распределения ресурсов, узлами которой являются объекты преобразования ресурсов (например, подстанции, напорные станции, компенсаторы и т.д.), а связями – проводные или трубопроводные линии распределения, связывающие описанные узлы. Нижний слой управляется БП верхнего слоя. Взаимодействие этих слоев осуществляется через сеть связи (на среднем слое) следующим образом: информация о параметрах и техническом состоянии с датчиков технических компонентов поступает на слой

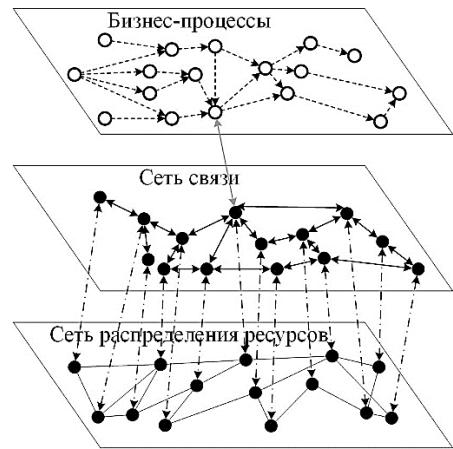


Рис.1. Многослойная модель взаимодействия организационной и технической компонентов предприятия

БП, эти данные используются бизнес-функциями оперативно-диспетчерского управления, которые формируют управляющие команды для нижнего слоя. Отметим, что отказы и повреждения компонентов каждого из представленных слоев (бизнес-функций, элементов сетей связи и распределения ресурса) неизбежно влияют на функционирование компонентов остальных слоев.

Сформулируем постановку задачи как разработку комплексного подхода к повышению устойчивости сетевого предприятия при негативных воздействиях на основе данных об отключаемых потребителях (производительности).

При исследовании устойчивости предприятия рассматриваются те же стадии, которые характерны для различных состояний инженерных систем при, до и после действия негативных воздействий: поглощение, оценка последствий, восстановление и адаптация. На Рис. 2 приведены графики производительности предприятия, ее изменение до, во время, и после негативных воздействий.

Опишем стадии функционирования предприятия. Его производительность обозначена на Рис. 2 жирной непрерывной линией.

Стадия «погложение» (I) на интервале времени (t_0, t_1) инициируется наступлением негативных воздействий в момент времени t_0 . Воздействие приводит к деградации, и связанная с этим потеря производительности частично

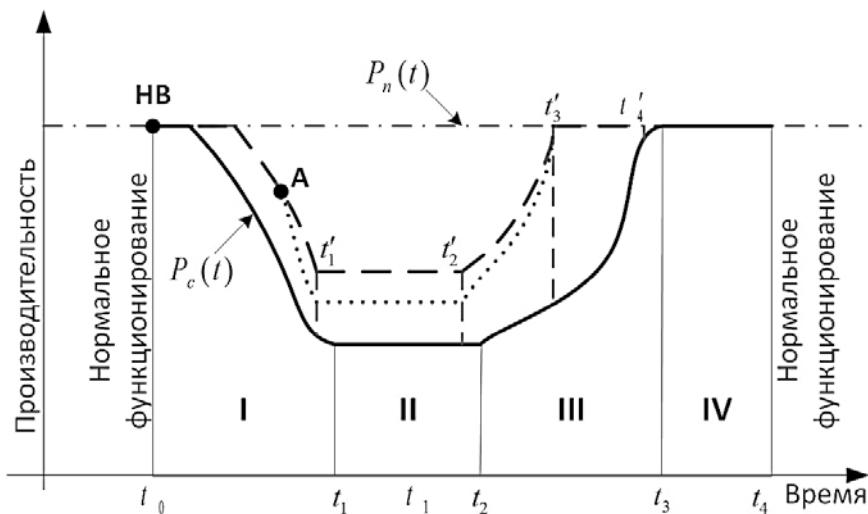


Рис. 2. Стадии и графики изменения производительности предприятия при негативных воздействиях

компенсируется надежностью оборудования, включая резервирование, дополнительными мощностями производства ресурса и т.д.

Стадия «оценка последствий» (II) наступает после окончания деградации системы. На этой стадии создаются условия для восстановительных работ на поврежденном оборудовании: выполняется разбор завалов, тушение пожаров и т.д. Также на этой стадии оцениваются масштабы повреждения инженерного оборудования. На Рис. 2 этой стадии соответствует кривая производительности на интервале (t_1, t_2) .

После окончания стадии II в момент времени t_2 наступает стадия «восстановление», на которой разрабатываются стратегии восстановления производительности. Эти стратегии содержат информацию о сроках проведения ремонтных работ, их последовательности, необходимых ресурсах, оборудовании и технике, распределении по ремонтным участкам собственного и привлекаемого персонала и др. Затем по заданным критериям выбирается наилучшая стратегия, и выполняются ремонтно-восстановительные работы. Как видно из рис. 2, на этой стадии на интервале времени (t_2, t_3) производительность возвращается к допустимому уровню.

После завершения восстановления система переходит в стадию «адаптация» (IV). Выполняется сбор, обработка, накопление и детальный анализ информации о произошедшем негативном воздействии: последствиях, деятельности

персонала и аварийных бригад и др. В результате проведенного анализа устраняются старые и выявляются новые уязвимости в организационной и технической компонентах, осуществляется корректировка БП предприятия, планируются и выполняются мероприятия по повышению его устойчивости. Интервал стадии адаптации соответствует выполнению основных мероприятий. В этом смысле интервал (t_3, t_4) является условным, так как проводимая на этой стадии деятельность может осуществляться и после его завершения.

На Рис. 2 пунктирной линией обозначена кривая производительности в условиях негативных воздействий после проведения мероприятий, запланированных при адаптации. В этом случае при возникновении негативных воздействий на стадии поглощения (t_0, t_1') потеря производительности меньше, чем на аналогичной стадии (t_0, t_1) , восстановление на интервале (t_2', t_3') также происходит с большей скоростью. Далее будет показано, что устойчивость предприятия после проведенных мероприятий возрастает.

2. Изменения БП для повышения устойчивости предприятия

В соответствии с приведенной в [12] классификацией, процессы управления ресурсоснабжающим предприятием разделяются на следующие группы.

1) Основные БП – процессы производства и доставки ресурса потребителю.

2) Вспомогательные БП – процессы обеспечения бесперебойности производства и доставки ресурса (обеспечение непрерывности бизнеса), например, мониторинг процессов производства и доставки ресурса потребителю, планирование технического обслуживания и ремонтов инженерной сети, диагностика инженерной сети, техническое обслуживание и ремонт.

3) Обеспечивающие БП: обеспечение складскими, кадровыми, информационными и финансовыми ресурсами.

В условиях негативных воздействий для повышения устойчивости ресурсоснабжающих предприятий возникает необходимость в создании новых и/или модификации существующих процессов. Так, один из основных процессов – оперативно-диспетчерского управления – должен быть расширен операциями обеспечения следующей функциональности:

- подготовка к изменению режимов работы технических компонент, используемых для снижения допустимых мощностей и нагрузок во время и после негативных воздействий;

- выполнение аварийных отключений и др.

Также в условиях негативных воздействий возникает необходимость в модификации вспомогательных процессов, а именно, добавление и/или расширение следующих БП путем включения в них новых функций, например:

- управление техническим обслуживанием и ремонтом, определяющее состояние работоспособности технических компонент до негативных воздействий (за счет дополнительной функциональности повышения надежности уязвимых компонент с целью предотвращения опасных последствий);

- определение и оценка критических уязвимостей в организационной и инженерной компонентах;

- прогнозирование возникновения негативных воздействий, их интенсивности и территориального распределения;

- формирование сценариев реакции БП на угрозы со стороны негативных воздействий, моделирование и верификация этих сценариев;

- планирование мероприятий по ликвидации последствий негативных воздействий и др.

Помимо модификации и/или включения новых функций во вспомогательные процессы также необходима реорганизация обеспечивающих процессов. К таким процессам относятся:

- обеспечение ресурсами, включая состав и резерв ресурсов на складе;

- обучение персонала, аварийных бригад и привлекаемых сил способам действий при возникновении негативных воздействий, к реагированию и восстановлению системы;

- разработка нормативно-методического обеспечения деятельности при возникновении и ликвидации последствий негативных воздействий;

- документирование извлеченного опыта, полученного в результате управления конкретным инцидентом или кризисом и др.

Целью такой реорганизации БП является достижение резкого сокращения времени выполнения, что часто требует значительного увеличения объемов складских ресурсов.

Например, процесс обучения персонала предприятия мерам противодействия негативным воздействиям, ликвидации последствий аварий и восстановления нарушенного производства содержит такие же функции, как и аналогичные образовательные процессы: подготовка расписаний, организация лекций и семинаров, контроль приобретенных знаний и т.п. При этом на ходе этого БП должны появиться новые образовательные программы, преподаватели требуемой специализации и т.д.

С другой стороны, процесс обеспечения ресурсами (например, трубами нужной маркировки) в сценарии, связанном с негативными воздействиями, должен предусматривать обеспечение поставки их в большем объеме, в том числе новыми поставщиками, а также сокращение времени ремонта (например, за счет привлечения дополнительных бригад).

Разработка новых и расширение функциональности существующих БП способствует сохранению непрерывности бизнес-услуг предприятия в условиях негативных воздействий. Для верификации этих новых функций и сценариев могут быть применены методы тестирования, а также статического и динамического анализа БП, описанные в [13].

Вместе с тем, при негативных воздействиях могут возникать и новые виды ошибок, влияющих на восстановление. В частности, ошибки, связанные с разрушением/повреждением объектов, в результате которого бизнес-функции не могут быть выполнены. Здесь в зависимости от масштаба воздействий для незначительных повреждений могут быть применены две группы методов, а именно, анализ потоков данных БП [14] и/или поиск альтернативных путей доставки ресурса по графу сети [15]. Для серьезных разрушений необходимо восстановление БП.

Например, в случае повреждения не только инженерной инфраструктуры, но и офисного здания, некоторые функции просто не смогут быть выполнены из-за отсутствия рабочего места (такая ситуация может быть отнесена к ошибкам в потоках данных [13]), поэтому необходимо обеспечить резервирование рабочих мест.

3. Модели повышения устойчивости инженерной системы распределения

3.1. Модели поиска уязвимостей

Кратко рассмотрим распространенные модели поиска уязвимостей, которые может использовать предприятие для повышения устойчивости в период нормальной эксплуатации или на стадии адаптации.

Уязвимости и связанные с ними отказы определяются для конкретных потенциальных угроз. Поэтому рассмотрим модели поиска уязвимостей на примере угрозы преднамеренного воздействия, которые могут быть использованы и при поиске уязвимостей других видов угроз. Для этой угрозы могут применяться топологические или аналитические модели. В первом типе используется графовая модель сети и алгоритмы

поиска, основанные на характеристиках графа таких, как степень вершины, центральность, диаметр графа и др. Во втором типе моделей используется аналитическое описание процессов потокораспределения, содержащее реальные характеристики сети (сопротивление, длины участков, ограничения пропускной способности и др.).

Повышение надежности компонентов и безопасности инженерной системы осуществляется в рамках управления рисками, используемого также при анализе устойчивости. Схема управления рисками представлена на Рис. 3.

Результат «укрепления» (Рис. 3) представлен на графике Рис. 2 в виде пунктирной линии на этапах поглощения и оценки последствий. «Укрепление» происходит посредством внесения изменений в инженерную систему: избыточности, обновлений, переключений и др.

Поиск уязвимостей для таких угроз, как стихийные бедствия типа ураганов, землетрясений, наводнений и др. проводится в зоне, подверженной их воздействию. Эти уязвимости зависят от многих факторов, таких как направление и сила ветра, стойкость конструкций и др., большая часть которых связана с географическим положением предприятия и может определяться на основе статистики природных явлений. Данные вопросы выходят за рамки статьи, поэтому будем считать, что множество поврежденных сетевых объектов известно, и требуется определить стратегию восстановления.

3.2. Модели формирования стратегии восстановления

Существует несколько подходов к формированию стратегии восстановления инженерной инфраструктуры, которая должна определять состав, порядок и сроки ремонта поврежденных и отказавших сетевых элементов (узлов и линий) - выявленных уязвимостей в согласовании

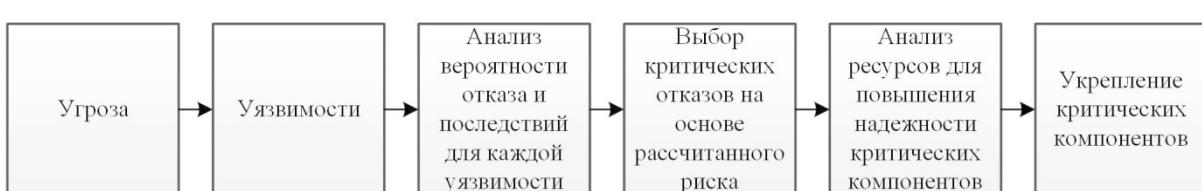


Рис. 3. Схема управления рисками

с располагаемыми финансовыми, материальными (механизмы) и людскими (ремонтные бригады) ресурсами. Сформированная стратегия должна быть наилучшей в смысле используемого критерия. Чаще всего таковым является стоимость работ, тогда остальные располагаемые ресурсы и время восстановления выступают как ограничения.

К настоящему времени определены различные стратегии восстановления. Так в [3] определяются приоритетные для восстановления поврежденные компоненты и предлагается многокритериальная модель оптимизации показателя устойчивости и времени восстановления, в которой используется смешанно-целочисленное программирование. В [4] с использованием решетчатой структуры рассмотрены три широко применяемые стратегии: восстановление от периферии (PR), восстановление на основе веса узла (PRNW) и локализованное восстановление (LR). Вес узла, как правило, связывается со значимостью подключенных к нему потребителей (больницы, заводы, школы и др.), которых этот узел обеспечивает ресурсом.

Согласно стратегии PR, восстановление начинается с выбора изолированного узла с наибольшим весом, соседнего с функциональным узлом, то есть с узлом, получающим ресурс, и ремонта связывающей их линии. Так как соседних функциональных узлов в решетке может быть больше одного, то выбор линий для восстановления происходит случайным образом. После того как все изолированные узлы одного веса оказались подключенными, на следующем шаге выбирается другой изолированный узел с наибольшим весом, соседний с функциональным узлом сети и выполняется ремонт связывающей их линии и т.д. В стратегии PRNW преимущество в восстановлении отдается линиям, которые связывают в первую очередь изолированный узел с наибольшим весом с функциональным узлом сети, и связям этого узла с другими значимыми узлами. Выбор линий (для восстановления) с соседним функциональным узлом также происходит случайным образом. В стратегии LR восстановление начинается с выбора корневого узла и восстановления его связей. Связи остальных узлов восстанавливаются в порядке удаления этих узлов от корневого

узла, независимо от их веса. В этих стратегиях используется постепенное пошаговое восстановление линий от присоединенных на предыдущем шаге, ранее изолированных узлов, к узлам, присоединяемым линиями, восстановленными на текущем шаге.

3.3. Показатель устойчивости

Для выбора наилучшей стратегии необходимо сформулировать показатель количественной оценки устойчивости. За последние годы было предложено несколько показателей устойчивости [5; 6] с учетом таких аспектов, как: надежность, восстанавливаемость, адаптивность и др. В данной работе используется интегральная метрика устойчивости [6], согласно которой показатель устойчивости Φ для графика на Рис. 2 вычисляется как:

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_4} P_c(t) dt / \int_{t_0}^{t_4} P_n(t) dt,$$

где $P_c(t)$ – реальная (текущая) производительность сети на интервале времени t_0-t_4 , $P_n(t)$ – производительность при нормальном функционировании сети.

Показатель рассчитывается для каждого варианта стратегии, и из них выбирается тот, для которого значение показателя наибольшее. Если это значение не соответствует желаемому, то необходимо изменить ограничения на ресурсы (число ремонтных бригад, технических средств, финансов и др.).

Штриховая линия на стадии восстановления (Рис. 2) соответствует изменению производительности при реализации наилучшей стратегии. Очевидно, что значение показателя устойчивости Φ для графика производительности $P_c(t)$, полученного при выполнении мероприятий (пунктирная линия) по «укреплению» и восстановлению, значительно выше по сравнению исходным графиком (сплошная линия).

4. Пример взаимного влияния организационной и инженерной компонент

В качестве примера рассмотрим влияние увеличения интенсивности отказов электрического оборудования, например, трансформаторов, проводных линий и др. в условиях НВ и вызванное этим снижение запасов этого оборудования

на складах. Такая ситуация может возникнуть в результате ошибки в бизнес-процессе закупок (отсутствие его реакции на повышение интенсивности отказов при НВ). Невозможность замены важного оборудования вызывает снижение объемов поставляемых услуг потребителям (производительности системы). Приведенная на Рис. 2 пунктирная линия иллюстрирует возникшую ситуацию, где точка А соответствует отсутствию на складе необходимого для замены оборудования. В случае, когда ошибка в БП была выявлена и исправлена до наступления НВ, происходит меньшая потеря производительности, что показано на Рис. 2 штриховой линией.

Заключение

Устойчивость ресурсоснабжающего предприятия должна рассматриваться как комплексная проблема, вытекающая из сложного характера организационного и технического взаимодействия. Разработаны принципы повышения устойчивости предприятия, включающие анализ организационной и инженерной устойчивости, анализ ошибок в потоках данных, поиск уязвимостей в сетевой системе распределения ресурсов, разработку сценариев восстановления, предложения по адаптации бизнес-процессов и оценку влияния негативных воздействий на устойчивость.

Указанные принципы могут использоваться для оценки эффективности имеющихся у предприятия средств для предотвращения негативных последствий НВ. На основе оценки устойчивости должны формироваться рекомендации по повышению мер противодействия неблагоприятным факторам.

Литература

1. Grebenuk G.G., Lubkov N.V. Methodological Aspects of Territorially Dispersed Clusters Functionality Analysis // Proceedings of the 12th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). Moscow: IEEE. – 2019. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8910989>. doi: 10.1109/MLSD.2019.8910989.
2. Гребенюк Г.Г., Лубков Н.В. Надежностный подход к анализу устойчивости инженерной инфраструктуры // Управление большими системами. 2022. Вып. 99. с. 157-181. doi: 10.25728/ubs.2022.99.7.
3. Almoghathawi Y., González A.D., Barker K Exploring Recovery Strategies for Optimal Interdependent Infrastructure Network Resilience // Networks and Spatial Economics. 2021. Vol. 21, pp. 229–260. doi: 21.10.1007/s11067-020-09515-4.
4. Afrin T., Yodo N. Resilience-Based Recovery Assessments of Networked Infrastructure Systems under Localized Attacks // Infrastructures. – 2019. Vol. 4, Issue 1, pp. 11-28. doi: 4.11.10.3390/infrastructures4010011.
5. Panteli M., Mancarella P., Trakas D. N., Kyriakides E., Hatzigergiou N. D. Metrics and Quantification of Operational and Infrastructure Resilience in Power Systems // IEEE Transactions on Power Systems. 2017. Vol. 32, No. 6, pp. 4732-4742. doi: 10.1109/TPWRS.2017.2664141.
6. Ouyang M., Dueñas-Osorio L., Min X. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems // Struct. Saf. 2012. Vol. 36-37, pp. 23–31. doi: 10.1016/j.strusafe.2011.12.004.
7. Nan, Cen, and Sansavini, Giovanni A quantitative method for assessing the resilience of infrastructure systems // Reliability Engineering & System Safety. 2017. Vol. 157, pp.35-53. doi: 10.1016/j.ress.2016.08.013
8. Alessandro Annarelli, Fabio Nonino Strategic and operational management of organizational resilience: Current state of research and future directions // Omega. – 2016. Vol. 62, pp. 1-18. doi: 10.1016/j.omega.2015.08.004.
9. Mo Y., Chabukswar R., Sinopoli B. Detecting integrity attacks on SCADA systems // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2014. - Vol. 22(4), pp. 1396-1407. doi: 10.1109/TCST.2013.2280899.
10. Sheffi Y The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage. Cambridge: The MIT Press, edition 1, - 352 p.
11. СП 165.1325800.2014. Свод правил. Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/3847/> (дата обращения 10.04.2024).
12. Калянов Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов. М.: СИНТЕГ, 2000. 212 с.
13. Богачева Д.Н., Гребенюк Г.Г., Калянов Г.Н., Ковалёв С.П., Лукинова О.В., Рошин А.А., Середа Л.А. Влияние ошибок бизнес-процессов на работоспособность инженерной инфраструктуры // Тр. 26-й российской научно-практической конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями». М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2023. Т. 1. С. 40-46.
14. Grebenyuk G.G., Kalyanov G.N., Kovalyov S.P., Lukinova O.V., Roschin A.A., Sereda L.A. The Impact of Errors in Business Processes on the Operability of Engineering Infrastructure // Proceedings of the 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). Moscow: IEEE. – 2023. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10303790>. doi: 10.1109/MLSD58227.2023.10303790.
15. Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов. М.: Горячая линия - Телеком, 2023. 296 с.

Гребенюк Георгий Григорьевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: управление социально-экономическими системами. E-mail: gggrebenuk@gmail.com

Калинов Георгий Николаевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: управление социально-экономическими системами. E-mail: kalyanov@ipu.ru

Середа Леонид Анатольевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, Россия. Научный сотрудник. Область научных интересов: управление социально-экономическими системами. E-mail: lsereda123@gmail.com

Operation Sustainability of Resource Supply Enterprises Resource Supply Enterprises Resilience Management

G. G. Grebenyuk, G. N. Kalyanov, L. A. Sereda

Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article considers enterprises that manage engineering systems for the production and distribution of resources. In the context of the characteristics of these enterprises and their importance for the functioning of modern society, it is concluded that it is necessary to increase their efficiency in the event of adverse impacts. The analysis showed that organizational and engineering components of the enterprise are closely related, and the failure of elements of one of the components inevitably affects the other. An integrated approach to increasing the sustainability of a resource supply enterprise is proposed. This approach includes a joint analysis of the organizational and engineering components of resilience, identifying errors in the data flows of management processes, searching for vulnerabilities in the network resource distribution system, assessing their impact on the performance and uninterrupted provision of services to consumers, as well as developing recovery strategies after negative impacts. An example of the mutual influence of the organizational and engineering components of an enterprise is considered.

Keywords: resilience management, resource supplying enterprises, adverse impacts, business processes.

DOI 10.14357/20718632240307

EDN OEXBLE

References

1. Grebenyuk, G. G., and Lubkov, N.V. 2019. Methodological Aspects of Territorially Dispersed Clusters Functionality Analysis. Proceedings of Twelfth International Conference Management of large-scale system development (MLSD). Moscow, Russia. doi: 10.1109/MLSD.2019.8910989.
2. Grebenyuk, G.G., and Lubkov, N.V. 2022. Nadezhnostnij podhod k analizu ustoychivosti inzhenernoj infrastruktury [Reliability approach to the analysis of the Stability of engineering infrastructure]. Upravlenie bolshimi sistemami [Large-scale Systems Control] 99: 157-181. doi: 10.25728/ubs.2022.99.7.
3. Almoghathawi, Yasser, Gonzalez, Andres, and Barker, Kash. 2021. Exploring Recovery Strategies for Optimal Interdependent Infrastructure Network Resilience. Networks and Spatial Economics. 21:229-260. doi: 21.10.1007/s11067-020-09515-4.
4. Afrin, Tanzina, and Yodo, Nita. 2019. Resilience-Based Recovery Assessments of Networked Infrastructure Systems under Localized Attacks. Infrastructures. 4(1):11-28. doi: 4.11.10.3390/infrastructures4010011.
5. Panteli, Mathaios, Mancarella, Pierluigi, Trakas, Dimitris, Kyriakides, Elias, and Hatzigargyriou, Nikos. 2017. Metrics and Quantification of Operational and Infrastructure Resilience in Power Systems. IEEE Transactions on Power Systems. 32(6):4732-4742. doi: 10.1109/TPWRS.2017.2664141.

6. Min, Ouyang, Dueñas-Osorio, Leonardo, and Min, Xing. 2012. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Structural Safety*. 36:23-31. doi: 10.1016/j.strusafe.2011.12.004.
7. Nan, Cen, and Sansavini, Giovanni. 2017. A quantitative method for assessing the resilience of infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 157:35-53. doi: 10.1016/j.ress.2016.08.013.
8. Alessandro, Annarelli, and Fabio, Nonino. 2016. Strategic and operational management of organizational resilience: Current state of research and future directions. *Omega*. 62:1-18. doi: 10.1016/j.omega.2015.08.004.
9. Mo, Yilin, Chabukswar, Rohan, and Sinopoli, Bruno. 2014. Detecting integrity attacks on SCADA systems. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*. 22(4):1396-1407. doi: 10.1109/TCST.2013.2280899.
10. Sheffi, Yossi. 2013. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge: The MIT Press, edition 1. 352 p.
11. SP 165.1325800.2014. Svod pravil. Inzhenerno-tehnicheskie meropriyatiya po grazhdanskoj oborone [Set of rules. Engineering and technical measures for civil defense]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/3847/> (accessed April 10, 2024).
12. Kalynov, G. N. 2000. *Teoriya i praktika reorganizacii biznes-brocessov* [Theory and practice of business process reorganization]. Moscow: SINTEG. 212 p.
13. Bogacheva, D.N., Grebenyuk, G.G., Kalynov, G. N., Kovalev, S.P., Lukinova, O.V., Roschin, A. A. and Sereda, L. A. 2023. *Vliyanie oshibok bizness-processov na rabotosposobnost inzhenernoj infrastruktury* [The impact of business process errors on the performance of engineering infrastructure]. *Trudy 26-oj rossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Inzhiniring predpriyatiij i upravlenie znaniyami"* [Proceedings of the 26th Russian scientific and practical conference “Enterprise Engineering and Knowledge Management”]. Moscow. 1:40-46.
14. Grebenyuk, G. G., Kalyanov, G. N., Kovalyov, S. P., Lukinova, O. V., Roschin, A. A. and Sereda, L. A. 2023. The Impact of Errors in Business Processes on the Operability of Engineering Infrastructure. *Proceedings of 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD)*. Moscow, Russian Federation. doi: 10.1109/MLSD58227.2023.10303790.
15. Kalynov, G. N. 2023. *Teoriya biznes-brocessov* [Business Process Theory]. Moscow: Hotline - Telecom. 296 p.

Grebenuk Georgy G. Dr. Sc. in Engineering, Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Ulitsa Profsoyuznaya, 65, Moscow, 117997, Russia. E-mail: gggrebenuk@gmail.com.

Kalyanov Georgy N. Dr. Sc. in Engineering, Professor, Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Ulitsa Profsoyuznaya, 65, Moscow, 117997, Russia. E-mail: kalyanov@ipu.ru.

Sereda Leonid A. Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Ulitsa Profsoyuznaya, 65, Moscow, 117997, Russia. E-mail: lsereda123@gmail.com