

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт дополнительного дистанционного образования (ИДДО)



Курсовая работа

по дисциплине: «Научные исследования в области техносферной безопасности»

Вариант 8

Тюмень, 2023

Тема 1. Основные приоритеты безопасного научно-технического развития России.

Приоритеты безопасного научно-технического развития России:

1. Существенное преимущество при отборе предложений имеют задачи, решение которых обеспечивает реализацию приоритетов научно-технологического развития, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации и ориентированных на создание технологий, имеющих широкое межотраслевое значение – «сквозных» технологий.
2. Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.
3. Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии.
4. Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных).
5. Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.
6. Противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства.

7. Обеспечение связанности территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.
8. Обеспечение возможности эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применения методов гуманитарных и социальных наук.

Тема 2. Анализ конструкционного риска.

Конструкционный риск – это риск, связанный с недостатками и дефектами конструкции, недостатками технологии производства и эксплуатационно-технической документации.

С учетом внешних воздействий конструкционные элементы могут быть разделены по категориям критичности (ответственности):

- конструкционные элементы высокой критичности – элементы, разрушение которых может привести к гибели людей, значительным повреждениям сооружения или значительному загрязнению окружающей среды;
- конструкционные элементы невысокой критичности – элементы, разрушение которых не повлечет за собой гибели людей, значительных повреждений сооружения или значительного загрязнения окружающей среды.

К конструкционным элементам высокой ответственности должны быть отнесены:

- конструктивные элементы юбки и сопряжения юбки с днищем кессона;
- стенки колонн в районах соединения их с днищем и верхними плитами перекрытия кессона;

- участки стен и перекрытий колонн, подверженные значительным сосредоточенным нагрузкам;
- конструктивные элементы, взаимодействующие со льдом;
- узлы соединения палубы с колонной;
- наружные стены, плиты перекрытия и днище кессона;
- водонепроницаемые внутренние стены;
- конструктивные элементы опор ответственного оборудования, а также оборудования, обеспечивающего безопасность, включая опоры райзеров;
- конструкции, повреждение или разрушение которых приводит к значительному загрязнению окружающей среды, включая райзеры.

К конструкционным элементам невысокой ответственности могут быть отнесены:

- внутренние конструкции, не участвующие в обеспечении общей прочности;
- конструктивные элементы опор оборудования, не отнесенные к элементам высокой ответственности.

При возникновении аварийных ситуаций (взрывы, разрушения, пожары, столкновения, обрушения, выбросы химически опасных веществ) в несущих конструкциях достигаются соответствующие предельные состояния. Эти предельные состояния могут изменяться на разных стадиях развития аварий как в направлении увеличения тяжести их последствий, так и в направлении локализации и прекращения развития.

При определении безопасности наиболее важных объектов должны быть рассмотрены следующие типы предельных состояний:

- пластическая деформация и формоизменение;
- кратковременное вязкое разрушение;
- замедленное или быстрое хрупкое разрушение;
- длительное статическое разрушение;
- циклическое (мало- и многоцикловое) разрушение;
- накопление деформаций ползучести;

- циклическое накопление деформаций;
- потеря устойчивости;
- возникновение опасных вибраций;
- износ сопряженных узлов;
- возникновение и развитие трещин однократного нагружения;
- возникновение и развитие трещин циклического нагружения;
- коррозионные, коррозионно-механические, кавитационные и эрозионные повреждения;
- образование течей;
- изменение структур и состояния несущих элементов.

Указанные выше предельные состояния определяют методы, структуру и критерии расчетного обоснования безопасности по комплексным подходам механики, физики и химии катастроф.

Согласно ГОСТ 27751-88, при расчете конструкции, ее элементов и основания рассматриваются предельные состояния следующих групп.

Первая группа включает предельные состояния, превышение которых ведет к полной непригодности всей конструкции к эксплуатации или к полной (или частичной) утрате несущей способности опорного основания платформы.

Вторая группа включает предельные состояния, превышение которых делает нормальную эксплуатацию опорного основания платформы невозможной.

Предельные состояния первой группы характеризуются:

а) переходом в изменяемую систему или потерей равновесия конструкции в качестве твердого тела вследствие ее скольжения, опрокидывания, затопления, разности осадок, разжижения или размыва грунтов, образования пластических шарниров (значительных пластических деформаций) в колоннах;

б) потерей несущей способности элементов конструкции или фундамента из-за: утраты прочности и устойчивости, коробления, колебания, хрупкого разрушения, усталости, воздействия пожаров или экстремальных воздействий окружающей среды;

в) другими явлениями, которые приводят к ситуации, в которой дальнейшая эксплуатация платформы невозможна (например, чрезмерные деформации палубных конструкций, случайные ударные нагрузки).

Первая группа предельных состояний по классификации DNV (Дет Норске Веритас) включает:

- основные предельные состояния ULS - сопоставимо с ULS по классификации DNV;
- предельные состояния прогрессирующего разрушения PLS - сопоставимо с PLS по классификации DNV;
- усталостные предельные состояния FLS - эквивалентно FLS по классификации DNV.

Основные предельные состояния оцениваются по прочности сооружения и его отдельных конструктивных элементов. При этом продольная рабочая арматура проектируется без учета работы растянутого бетона. Поперечная арматура принимается по условиям прочности в арматуре по наклонным сечениям.

В процессе проектирования проводятся проверки на действие осевых сил, моментов и поперечных сил, а также выполняются проверки устойчивости. Для плоскостных элементов предусматриваются проверки прочности железобетонных элементов в условиях плоского напряженного состояния.

Предельные состояния прогрессирующего разрушения устанавливаются при анализе разрушения сооружения в целом или его элементов, когда происходит последовательное исключение «лишних» связей. На каждом этапе расчета устанавливаются распределения усилий в конструкциях и определяются связи, подлежащие условному исключению на следующем этапе расчета. В результате фиксируются нагрузки, соответствующие разрушению конструкции.

Анализ усталости конструкций производится с учетом заданных параметров истории загрузки вследствие воздействия окружающей среды, включая:

- ожидаемую за весь период эксплуатации сооружения историю загрузки льдом (локальной и/или глобальной ледовой нагрузкой) в виде

последовательности групп циклов нагружения заданного уровня, а также параметров циклов в пределах группы;

- ожидаемую за период эксплуатации историю загрузки волнами в виде распределения общего числа волн по группам с различными высотами волн с определением для таких групп количества волновых циклов и их длительности, а также амплитуды циклической нагрузки и ее частоты.

Вторая группа предельных состояний эквивалентна предельным состояниям по эксплуатационной пригодности SLS по классификации DNV и включает:

- достижение неприемлемых деформаций конструкции или фундамента;
- достижение уровней движения и вибрации конструкции или фундамента, неприемлемых для нормальной эксплуатации оборудования персоналом;
- локальные повреждения (включая: коррозию, трещины, зоны пластических деформаций (текучести), разрушение и превышающие допустимые смещения соединений), которые вызывают уменьшение срока службы сооружения.

Тема 3. Механизмы управления стратегическими рисками.

Стратегические риски в природной и техногенной сферах приобретают в настоящее время стратегический характер в связи с глобальными изменениями среды обитания, развитием техносферы и увеличивающимися масштабами стихийных бедствий.

Основными рисками для России в данных сферах являются:

- риски развития опасных природных явлений (землетрясений, наводнений, ураганов, оползней, подтоплений, карста, лесных пожаров и т.п.);
- риски аварий и катастроф на потенциально опасных объектах;
- загрязнение окружающей среды;
- риски, связанные с глобальным изменением климата, деградацией окружающей среды, планетарные риски;
- истощение природных и биологических ресурсов.

Природно-техногенные риски являются слабо управляемыми не только в нашей стране, но и за рубежом. Это относится к сложностям надежного

прогнозирования, прежде всего геологических, метеорологических и ряда комплексных природных рисков. В этой связи особое внимание следует уделить пересмотру норм строительства и, особенно, правилам размещения зданий и инженерных сооружений в зонах, подверженных данным рискам.

Техногенные риски более управляемы, однако с учетом процесса старения основного оборудования и снижения профессионального уровня персонала в ближайшие годы следует ожидать увеличения частоты и масштабов последствий от аварий и катастроф на потенциально опасных объектах. Одним из путей управления рисками в природно-техногенной сфере может стать процедура паспортизации безопасности (комплексного риска) на территории региональных и муниципальных образований. Основная цель такой паспортизации, кроме сбора объективной информации, должна состоять в усилении заинтересованности региональных органов в проведении превентивных мероприятий и усилении их ответственности за принятие соответствующих мер.

С учетом особенностей данных факторов стратегических рисков, специальное внимание должно быть уделено разработке концепции экономического управления рисками особенно в части создания национальной системы возмещения ущербов от чрезвычайных ситуаций в природно-техногенной сфере. В качестве первого шага, в частности, может рассматриваться недавно принятая Концепция развития страхования в РФ, в которой особое внимание уделено развитию обязательных видов страхования природных рисков в сочетании с созданием централизованных гарантийных фондов.

Несмотря на значительный запас энергетических ресурсов, отставание в темпах реформирования базовых отраслей энергетики, низкий уровень инновационных процессов и ряд других факторов могут создать угрозу энергетической безопасности на национальном уровне.

Для среднесрочного прогноза характерно появление политического экстремизма в качестве значимого фактора, однако существенного влияния он может достичь только в сочетании с усилением социальных и экономических угроз.

Не исключено появление локальных очагов межнациональных конфликтов, но особую озабоченность вызывает проблема терроризма, поскольку новые промышленные объекты могут стать источниками повышенного интереса со стороны соответствующих групп, особенно если Россия даже косвенно будет поддерживать международные антитеррористические акции.

Тема 4. Критериальная база техногенной безопасности.

Критериями безопасности техносферы являются ограничения воздействий на человека вредных и опасных негативных факторов:

1. Предельно допустимые уровни (ПДУ) нежелательных воздействий на человека различного рода потоков энергии (механической, электромагнитной, тепловой, ионизирующей);
2. Предельные дозы (ПД) нежелательных воздействий, полученных организмом человека за время активного влияния на него негативных техногенных факторов (электромагнитных, ионизирующих);
3. Предельно допустимые концентрации (ПДК) нежелательных для человека токсических и (или) загрязняющих веществ;
4. Предельно допустимые выбросы (ПДВ) в атмосферу, а также предельно допустимые сбросы (ПДС) в гидросферу, нежелательных для человека и окружающей природной среды объемов токсических и (или) загрязняющих веществ;
5. Предельно допустимое время воздействия на человека негативных факторов техносферы без угрозы для его безопасности;
6. Предельно допустимый риск воздействия негативных факторов техносферы без ущерба для безопасности человека и состояния окружающей природной среды.

Основной смысл критериев безопасности заключается в сохранении здоровья и жизни человека путем ограждения его от вредных и опасных факторов техносферы.

Критерии комфортности направлены на обеспечение нормального, комфортного самочувствия человека независимо от характера его деятельности. Важным обстоятельством, служащим основанием для отнесения того или иного

параметра к числу критериев комфортности, является тот факт, что нормальная жизнедеятельность человека при полном отсутствии этого параметра вообще невозможна, поскольку такова физиология и структура человеческого организма.

В качестве важнейших критериев комфортности для человека выступают следующие параметры его среды обитания:

1. Энергобаланс человека с окружающей средой, включающий в себя энергозатраты на выполнение трудовой деятельности и тепловые параметры, определяемые различными видами теплообмена.

2. Параметры микроклимата среды обитания человека, тесно связанные с его энергобалансом. Комфортное состояние жизненного пространства помещений и территорий по показателям микроклимата достигается соблюдением нормативных требований. В качестве критериев комфортности устанавливают значения температуры воздуха в помещениях, его влажности и подвижности.

3. Параметры освещения среды обитания человека, включающие в свой состав уровень освещенности, спектральный состав и уровень пульсации освещения, контрастность объекта наблюдения, пространственное расположение и яркость источников света и т.д.

4. Эргономические параметры среды обитания, характеризующие степень приспособленности форм и размеров окружающих предметов в техносфере к размерам тела человека, удобство длительного пользования следующими объектами: элементами городской инфраструктуры, зданиями и постройками, внутренним интерьером помещений, мебелью и посудой, производственным оборудованием, технологическими приспособлениями, рабочими инструментами, транспортными средствами и т.д.

5. Параметры переработки информации человеком, характеризующие, прежде всего физиологические возможности человеческого организма к восприятию и осмыслению поступающих из внешней среды информационных сигналов, а также формированию адекватной ответной реакции на них. Определяющими факторами являются объем и скорость предъявляемой

информации, форма и частота следования информационных сигналов, сложность переработки информации человеком, необходимая скорость и форма ответной реакции на внешние воздействия и т.д.

6. Параметры труда и отдыха человека, обеспечивающие поддержание его нормального здоровья, активности и длительной продолжительности жизни, высокой эффективности трудовой деятельности. Они включают в себя работоспособность человека в течение рабочего дня и рабочей недели, продолжительность рабочего времени, гарантированные периоды отдыха в течение рабочего дня и рабочей недели, продолжительность ежегодных отпусков и т.д.

Возможны следующие состояния взаимодействия человека и техносферы:

- комфортное (оптимальное), когда потоки вещества, энергии и информации соответствуют оптимальным условиям взаимодействия: создают оптимальные условия деятельности и отдыха, гарантируют сохранение здоровья человека и целостности компонент среды обитания;

- допустимое, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека. Допустимое взаимодействие гарантирует невозможность возникновения и развития необратимых негативных процессов у человека и в среде обитания;

- опасное, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном воздействии заболевания, или приводят к деградации природной среды;

- чрезвычайно опасное, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать разрушения в природной среде.

Тема 5. Поиск оптимальной стратегии эксплуатации объекта с учетом стоимости защитных мероприятий и ожидаемых ущербов.

Выбор оптимальной стратегии эксплуатации и защиты критически важного объекта производится с учетом стоимости мер, направленных на обеспечение

защищенности объекта, и ущербов, ожидаемых в случае реализации рассматриваемой стратегии.

Выбор оптимальной стратегии осуществляется с помощью специальных графовых моделей, называемых деревьями решений, включающих случайные узлы, характеризующие состояние случайных переменных задачи, и узлы решений, определяющие выбор вариантов мер, направленных на достижение оптимального результата, т.е. в данном случае, на минимизацию общих затрат.

Решение поставленной задачи схематично представлено на рис. 1, на котором изображены узел решения ζ по выбору стратегии эксплуатации ζ_i рассматриваемого объекта и узел конечных состояний объекта ES.

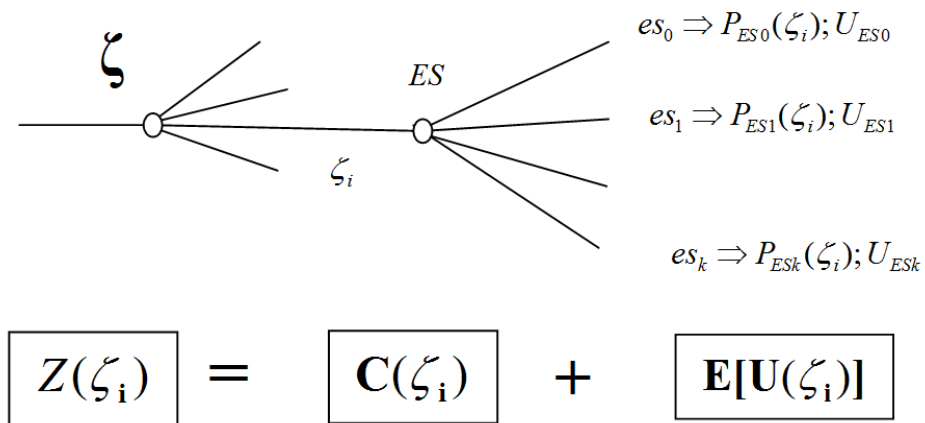


Рис. 1. Дерево решений задачи по поиску оптимальной стратегии эксплуатации КВО.

$$Z(\zeta_i) = C(\zeta_i) + E[U_{\zeta_i}]. \quad (1)$$

В простейшей постановке рассматривается одно поврежденное состояние системы φ , которому соответствуют ущерб U_φ и вероятность реализации этого состояния P_φ . Под ожидаемым ущербом понимается величина

$$E[U_{\zeta_i}] = P_\varphi(\zeta_i) \cdot U_\varphi. \quad (2)$$

Важно отметить, что вероятность аварии P_φ рассматривается как функция стратегии эксплуатации $\zeta_i: P_\varphi = P_\varphi(\zeta_i)$.

Выбор стратегии эксплуатации предполагает решение оптимизационной задачи по минимизации выражения суммарных затрат:

$$\min_{\zeta_i} Z(\zeta_i) = \min_{\zeta_i} \{C(\zeta_i) + E[U_{\zeta_i}]\} \quad (3)$$

Ввиду огромной социальной значимости стабильной работы критически важных объектов, минимизация ожидаемых суммарных затрат должна проводиться при наличии определенных ограничений, обеспечивающих определенный уровень надежности функционирования объекта. Таким ограничением, например, может быть непревышение годовой вероятностью аварии на объекте $\Delta P_\varphi(\zeta_i)$ определенного допустимого уровня $[\Delta P_\varphi]$. В такой постановке задача поиска оптимальной стратегии может быть записана как:

$$\min_{\zeta_i} Z(\zeta_i) = \min_{\zeta_i} \{C(\zeta_i) + E[U_{\zeta_i}]\} \quad (4)$$

Кроме того, могут накладываться и другие ограничения, например, на допустимую величину ожидаемого ущерба, периодичность и качество проводимых инспекций и др.

В случае если учитывается возможность реализации различных поврежденных состояний $es_0, es_1, es_2 \dots es_n$, которые реализуются с вероятностями $P_{es0}(\zeta_i), P_{es1}(\zeta_i), P_{es2}(\zeta_i) \dots P_{esk}(\zeta_i)$ и сопровождаются ущербами $U_{es0}, U_{es1}, U_{es2} \dots U_{esk}$,

величина ожидаемых ущербов может быть подсчитана как $E[U_{\zeta_i}] = \sum_{j=0}^n P_{esj}(\zeta_i) \cdot U_{esj}$

(5)

Тогда суммарные издержки могут быть записаны в виде

$$Z(\zeta_i) = C(\zeta_i) + \sum_{j=0}^n P_{esj}(\zeta_i) \cdot U_{esj} \quad (6)$$

При этом приходится искать баланс между двумя противоречащими друг другу целями: снижение эксплуатационных издержек и снижение ожидаемых ущербов (рис. 2). На рис. 3 представлены поверхности предельных состояний для системы при двух стратегиях эксплуатации ζ^* и ζ^{**} . Очевидно, что переход от стратегии ζ^* к стратегии ζ^{**} будет сопровождаться ростом эксплуатационных затрат, но компенсироваться снижением ожидаемых ущербов.

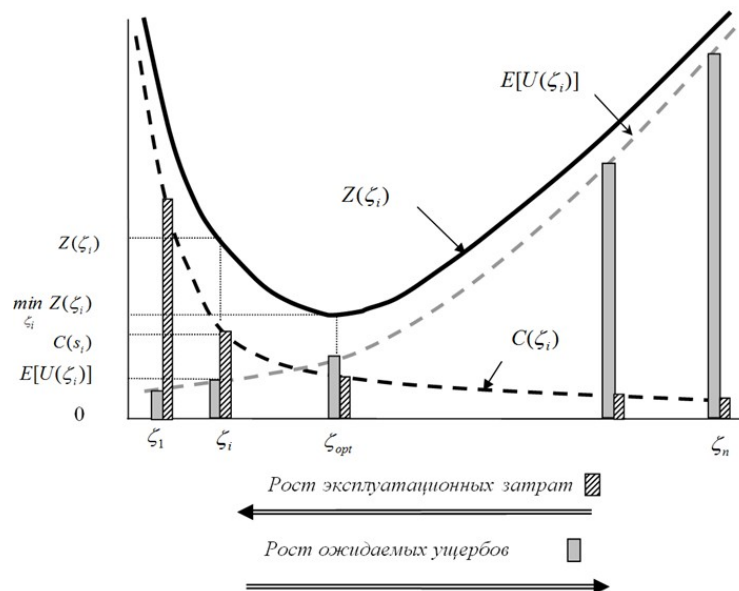


Рис. 2. Поиск оптимальной стратегии защиты объекта

Поскольку срок эксплуатации критически важного объекта может составлять десятки лет, в ходе которых осуществляются эксплуатационные затраты, то при выборе оптимальной стратегии необходимо проводить приведение платежей, совершаемых в различные моменты времени к одному (начальному) моменту. Для этого используется техника дисконтирования, позволяющая пересчитать в текущих ценах Π_0 величину платежа Π , осуществляемого на i -том году эксплуатации объекта

$$\Pi_0 = \Pi \frac{1}{(1+r)^i}$$

Здесь r - коэффициент дисконтирования, который может быть равен, например, банковской процентной ставке).

Как уже было отмечено, стратегия эксплуатации и защиты объекта должна включать проведение инспекций, ремонт поврежденных элементов и создание систем аварийной защиты. Следует подчеркнуть, что стратегия обеспечения безопасности КВО ζ_i (далее стратегия защиты) предполагает реализацию системы мер: непрерывный мониторинг состояния системы, периодические инспекции, проведение ремонта/замены поврежденных элементов, введение систем защиты (включая компоненты жесткой, функциональной, комбинированной и охранной защит).

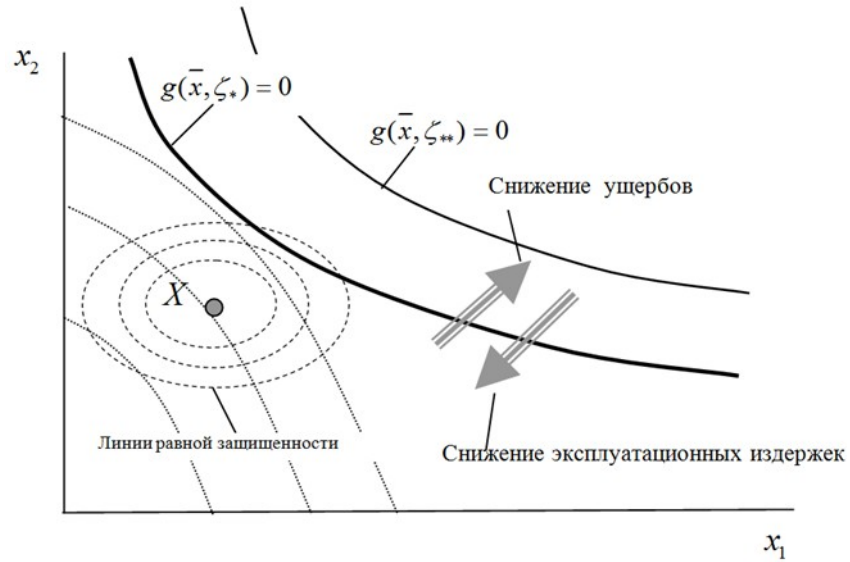


Рис. 3. Поверхности предельных состояний при различных стратегиях эксплуатации объекта.

Таким образом, стоимость реализации стратегии эксплуатации ζ_i определяется выражением:

$$C(\zeta_i) = C_{Insp_i} + C_{Rem_i} + C_{PS_i}, \quad (7)$$

где C_{Insp_i} , C_{Rem_i} и C_{PS_i} — соответственно затраты на проведение инспекций, ремонта и построение систем защиты в случае реализации стратегии эксплуатации объекта ζ_i .

Поэтому дерево решений оптимизационной задачи должно включать d_e — узел решения по выбору плана проведения инспекций, I — случайный узел исхода инспекций, d_{Rem} — узел решений по ремонту поврежденных элементов, d_{PS} — узел решения по выбору комплекса систем защит, ES — случайный узел конечных состояний системы (рис. 4).

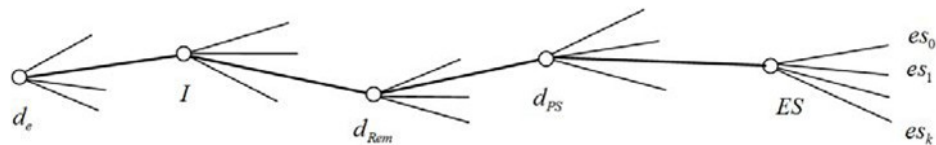


Рис. 4. Дерево решений при наличии данных инспекций.

Тогда оптимизационная задача должна быть записана в виде:

$$Z^i = \min_{d_e, d_{Rem}, d_{PS}} Z(d_e, d_{Rem}, d_{PS}, ES) \quad (8)$$

$$\text{При условии } \Delta P_\varphi < [\Delta P_\varphi]$$

Приведенные к начальному моменту времени затраты на проведение инспекций могут быть записаны в виде:

$$C_{Insp}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) = \sum_{j=1}^N C_{Insp}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) \cdot \dots \cdot (9)$$

где j -ое слагаемое суммы выражает приведенные затраты на проведение j -ой инспекции, при условии что до этого не произошло аварии: $C_{Insp,j}$ — стоимость инспекции; $P_\varphi(T_j)$ - вероятность того, что в интервале времени $[0; T_j]$ произошла авария; r - коэффициент дисконтирования; N - предусмотренное планом количество инспекций в моменты времени (годы) T_1, T_2, \dots, T_n - срок эксплуатации объекта.

Общие приведенные затраты на ремонт составляют:

$$C_{Rem}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) = \sum_{j=1}^N C_{Rem,j} P_{Rem,j}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) \frac{1}{(1+r)^{T_j}} \quad (10)$$

где $C_{Rem,j}$ - стоимость ремонта после j -ой инспекции; $P_{Rem,j}$ - вероятность осуществления ремонта после j -ой инспекции, если до этого не произошла авария и не проводился ремонт.

Общие приведенные затраты на построение комплекса систем защиты:

$$C_{PS}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) = \sum_{k=1}^1 C_{PS}^k \cdot \dots \cdot (11)$$

Где C_{PS}^k - стоимость k -ой системы защиты, строящейся в момент времени T_k .

Общие приведенные ущербы от аварии могут быть оценены как:

$$E[U(d_e, d_{Rem}, d_{PS})] = \sum_{t=1}^{T_L} \sum_{q=0}^n \Delta P_{ESq,t}(d_e, d_{Rem}, d_{PS}) \cdot U_{ESq} \cdot \frac{1}{(1+r)^t} \quad (12)$$

где $\Delta P_{ESq,t}$ — вероятность достижения системой q -ого поврежденного конечного состояния в течение года t ; T_L - срок эксплуатации объекта.

Выше была рассмотрена задача оптимизации затрат $Z(d_e, d_{Rem}, d_{PS}, ES)$, поставленная на момент предшествующий получению данных инспекции о состоянии объекта. В инженерной практике часто приходится решать задачу объединения известных статистических данных, накопленных в ходе эксплуатации объекта определенного типа (априорных оценок) с данными, полученными в ходе проведения инспекций на рассматриваемом объекте, и построения уточненных

апостериорных оценок состояния объекта. Информация θ о состоянии объекта, полученная в ходе проведения инспекции, позволяет, используя байесову процедуру уточнения, построить апостериорное распределение для конечного состояния системы $f_{ES}^{\left\{ \text{left} (ES|\theta \text{ right} \right\}}$, и затем получить уточненную оценку общих затрат:

$$Z^{\left\{ \text{left} (\{d\} \text{ rsub} \{e\}, \{d\} \text{ rsub} \{Rem\}, \{d\} \text{ rsub} \{PS\}, ES \text{ right}) = \{E\} \text{ rsub} \{ES|\theta\} \text{ rsub} \left[Z(\theta; d_e; d_{Rem}; d_{PS}; ES) \right] \right\}} \quad (13)$$

Тогда оптимизационная задача может быть записана в виде:

$$Z^{\left\{ \text{left} [Z(\theta; \{d\} \text{ rsub} \{e\}; \{d\} \text{ rsub} \{Rem\}; \{d\} \text{ rsub} \{PS\}; ES) \text{ right}] \right\}} = \min_{d_e, d_{Rem}, d_{PS}} E_{ES \vee \theta}^{\left\{ \text{left} [Z(\theta; \{d\} \text{ rsub} \{e\}; \{d\} \text{ rsub} \{Rem\}; \{d\} \text{ rsub} \{PS\}; ES) \text{ right}] \right\}} \quad (14)$$

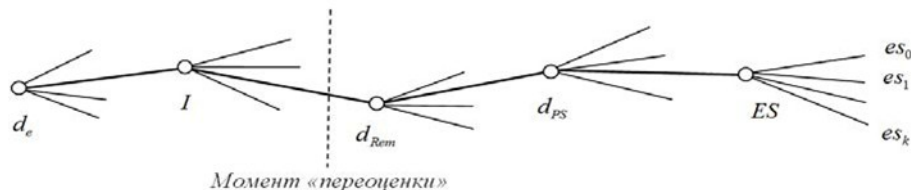


Рис. 5. Уточнение решений после оценки состояния объекта

На рис. 5 представлена ситуация принятия решения о выборе оптимальной стратегии эксплуатации объекта после получения дополнительной информации θ при проведении инспекции, которая не выявила критических дефектов технической системы: $\theta = (a < a_c)$. После инспекции имеются два узла решения: осуществление ремонта и введение системы защиты. При этом возможны четыре стратегии эксплуатации:

$$\zeta_1 = \left\langle (a < a_c), Rem, PS \right\rangle$$

$$\zeta_2 = \left\langle (a < a_c), Rem, \overline{PS} \right\rangle$$

$$\zeta_3 = \left\langle (a < a_c), \overline{Rem}, PS \right\rangle$$

$$\zeta_4 = \left\langle (a < a_c), \overline{Rem}, \overline{PS} \right\rangle$$

Каждой из указанных стратегий будут соответствовать свои эксплуатационные издержки C_{ζ} и ожидаемые ущербы $E[U]$, которые калькулируются с учетом уточненных оценок вероятности реализации различных поврежденных состояний системы $P_{es}^{\left\{ \text{left} [\{es\} \text{ rsub} \{i\} | a < \{a\} \text{ rsub} \{c\} \text{ right}] \right\}}$. Оптимальная стратегия будет доставлять минимум выражению:

$$Z^{\left\{ \text{left} [Z(a < \{a\} \text{ rsub} \{c\}; \{d\} \text{ rsub} \{Rem\}; \{d\} \text{ rsub} \{PS\}; ES) \text{ right}] \right\}} = \min_{d_{Rem}, d_{PS}} E_{ES(a < a_c)}^{\left\{ \text{left} [Z(a < \{a\} \text{ rsub} \{c\}; \{d\} \text{ rsub} \{Rem\}; \{d\} \text{ rsub} \{PS\}; ES) \text{ right}] \right\}}$$

Рассмотрим более подробно стратегию оптимальной защиты

$$\zeta_1 = \langle (a < a_c), Rem, PS \rangle$$

$$\text{И стратегию оптимальной защиты } \zeta_4 = \langle (a < a_c), \overline{Rem}, \overline{PS} \rangle$$

Суммарные затраты по стратегии ζ_i составляют:

$$Z_{\zeta_1} = C_{Insp} + C_{Rem} + C_{PS} + \sum_{i=1}^n P_{es_i \vee (a < a_c), Rem, PS} \cdot U_{es_i}$$

Суммарные затраты по стратегии ζ_4 составляют:

$$Z_{\zeta_4} = C_{Insp} + \sum_{i=1}^n P_{es_i \vee (a < a_c), \overline{Rem}, \overline{PS}} \cdot U_{es_i}$$

Характерный вид структуры затрат при стратегиях ζ_1 и ζ_4 также приведен на рис.6.

Решение поставленной задачи по минимизации ущербов возможно путем построения графовых моделей типа «дерево решений», позволяющих: анализировать различные стратегии, определяющиеся: исходами инспекций; выбором различных вариантов защитных мер (способ устранения выявленных повреждений, ремонт или замена поврежденных элементов, построение систем защиты и т.д.); вероятностями реализации различных поврежденных конечных состояний системы и находить оптимальную стратегию защитных мероприятий, минимизирующую ожидаемые затраты с учетом имеющихся неопределенностей.

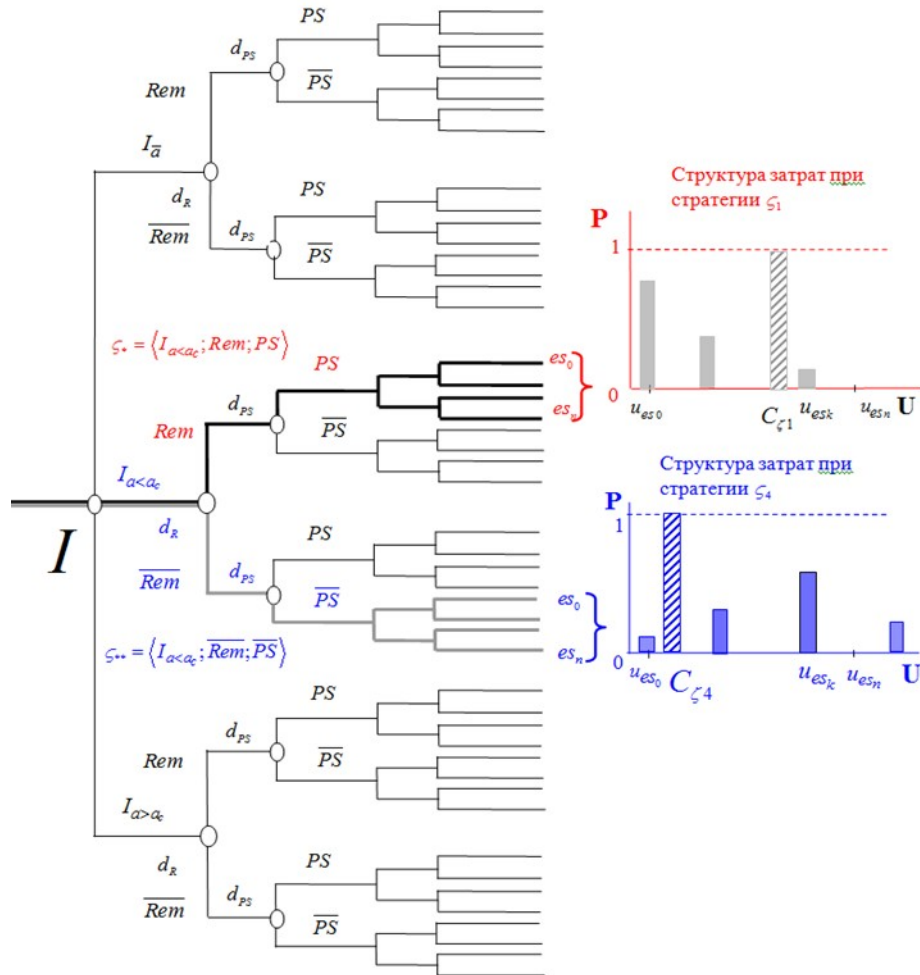


Рис. 6. Выбор оптимальной стратегии после проведения инспекции.

Разработку правил принятия решений по эксплуатации объекта приходится проводить в условиях высокого уровня неопределенности, касающегося как нагрузок, действующих на систему в течение ее жизненного цикла, так и ее несущей способности в процессе накопления усталостных повреждений, износа и коррозии.