

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предлагается когнитивное моделирование для оценки безопасности информационно-управляющих систем атомных станций (ИУС АС). Предлагается состав и взаимодействие блоков модели системы безопасности ИУС АС. Приведены некоторые результаты импульсного моделирования сценариев возможного развития ситуации при разработке ИУС АС.

Ключевые слова: предпроектное исследование, когнитивная карта, информационно-управляющие системы, импульсное моделирование, безопасность атомных станций.

G.V. Gorelova, A.E. Kolodenkova

SAFETY ASSESSMENT OF THE INFORMATION-CONTROL SYSTEMS FOR NUCLEAR POWER PLANTS USING COGNITIVE MODELING

Proposed cognitive modeling for assessment of safety of information-control systems for nuclear power plants (ICS NPP). The structure and interaction of blocks of model of safety system of ICS NPP is offered. Some results of impulse modeling of scenarios of possible development of a situation in the development of ICS NPP are given.

Key words: scoping study, cognitive map, information-control systems, impulse modeling, safety of nuclear power plants.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 22 мая 2015 г.

В соответствии с Энергетической стратегией развития России на период до 2030 года [1], предусмотрено интенсивное развитие атомной промышленности. Создание и модернизация **атомных станций (АС)** является одним из приоритетных направлений в деятельности всех структур "Росэнергоатома". Жёсткие российские и международные требования по обеспечению безопасности их функционирования [2, 3] диктуют необходимость создания новых **информационно-управляющих систем (ИУС)**, позволяющих свести к минимуму вероятность аварийных ситуаций на энергоблоках АС.

Важность ИУС, создаваемых на основе компьютерной техники, для безопасности атомных станций возрастает, поскольку:

- разработка ИУС является сложным процессом, поэтому существует большая вероятность ошибок, выявление которых в дальнейшем представляет собой достаточно сложную задачу;
- разработка ИУС связана со значительными затратами материальных, трудовых и финансовых ресурсов;
- атомная энергетика представляет собой предметную область, в которой функционирование объектов происходит в трудно формализуемых условиях, для которых создание ИУС является крайне затруднительным;

- разнообразие факторов внутренней и внешней среды проекта по разработке ИУС могут привести либо к ухудшению основных качественных показателей разрабатываемой системы, либо к нарушению сроков осуществления проекта, либо просто к провалу проекта [3].

Важная роль отводится этапу предпроектного исследования разработки ИУС, важных для безопасности АС, направленного на выявление возможных слабых мест в проекте, на недопущение его провала и перспективных управленческих решений по улучшению ИУС в трудно формализуемых условиях.

В настоящей статье предлагается когнитивная модель системы безопасности ИУС АС, построенная с использованием процедур когнитивного моделирования на этапе предпроектных исследований (предпроектной разработки).

Состав и взаимодействие блоков модели системы безопасности ИУС АС

Для представления слабоструктурированных проблем принятия решений в сфере разработки ИУС АС, при предпроектном исследовании применяются приемы когнитивного моделирования, основными операциями которого являются: разработка когнитивной карты исследуемой системы, анализ её структурных свойств и свойств устойчивости.

Для высокой надёжности, обеспечения безопасности ИУС на этапе предпроектного исследования необходимо проанализировать взаимодействие проекта по её разработке с окружающей средой, а также воздействие внутренних причин, возникающих в результате разработки [4].

Выделим блоки факторов, влияющих на безопасность ИУС: *Блок 1* – Внешняя среда, *Блок 2* – Информация, на основе которой можно сделать простой (первичный) анализ по разработке ИУС, *Блок 3* – Положения обеспечения безопасности атомных станций [5], *Блок 4* – Требования к разработке ИУС, основные принципы, положенные в основу систем нового поколения.

Состав *Блока 1 "Внешняя среда"*: V_1 – внешние воздействующие факторы на АС (сейсмика, климатика и другие природные явления), V_2 – прекращение энергоснабжения, V_3 – пожар (от оборудования ИУС), V_4 – ошибки исполнителей, V_5 – нормативные документы (МАГАТЭ, ISO, МЭК, ГОСТ), V_6 – экономические аспекты создания ИУС (стоимость проекта, кредиты, время выполнения и т.п.).

Состав *Блока 2 "Информация"*: I_1 – потребности, постановка задач, I_2 – реализуемость проекта ИУС (сбор, анализ, оценка и структурирование информации о проекте в форме, позволяющей принимать решение о способах реализуемости ИУС), I_3 – квалификация исполнителей (уровень знаний, умений,

профессиональных навыков и опыта работы исполнителей), I_4 – производительность исполнителей (скорость выполнения работ), I_5 – ресурсы (финансовые, временные), выделяемые на предпроектное исследование, I_6 – неудачное завершение проекта (отставание от графика работ, провал проекта), I_7 – обоснованность принятия управленческих решений.

Состав Блока 3 "*Положения обеспечения безопасности атомных станций*": P_1 – прежний опыт или испытания при разработке ИУС, P_2 – технические и организационные решения, принимаемые при разработке ИУС, при изготовлении и эксплуатации программно-технических средств для обеспечения безопасности, P_3 – надёжность элементов системы, P_4 – программы обеспечения качества при разработке оборудования, изделий и систем (ПОКАС (Р), ПОКАС (И)) [5], P_5 – принцип единичного отказа (выполнение заданных функций при любом исходном состоянии (единичном отказе) системой), P_6 – многоканальная, многоуровневая структура (обеспечение выполнения требований отказоустойчивости, функциональной полноты при независимости информационной и управляющей функций и единстве информационной базы данных), P_7 – программы и методики для проверки работоспособности, P_8 – работоспособность ИУС, P_9 – нарушение нормальной эксплуатации и аварии, P_{10} – защита от несанкционированного доступа (исключение возможности управления системой персоналом, не имеющим разрешения), P_{11} – диагностика (получение информации, характеризующей текущее состояние безопасности ИУС), P_{12} – проверка проектных показателей при вводе в эксплуатацию, P_{13} – сбор, регистрация, хранение данных о перегрузки, срабатывание защит и блокировок, а также действий персонала, P_{14} – действия эксплуатирующего персонала (человеческий фактор).

Состав Блока 4 "*Требования к разработке ИУС, принципы*": требования: T_1 – экономичность (выполнение работ с наименьшими затратами), T_2 – качество ИУС, T_3 – производительность исполнителей (скорость и качество выполнения работ), T_4 – эффективность (превышение доходов над затратами), T_5 – численность исполнителей, T_6 – квалификация исполнителей (уровень образования и опыт), T_7 – надёжность ИУС (ИУС находится в работоспособном состоянии в течение определенного отрезка времени), T_8 – безопасность и защита ИУС (свойство ИУС исправно функционировать без проявления различных негативных последствий для людей и внешней среды); принципы: Pr_1 – модульность (обслуживания и ограничения распространения отказа), Pr_2 – независимость отказов (отказ одного из узлов не вызывает отказ остальных узлов), Pr_3 – распределенность (основные узлы системы разделены территориально), Pr_4 – универсальность (использованы единые стандарты для технических средств, программных средств, обеспечена совместимость протоколов передачи данных), Pr_5 – самонастраиваемость (программные средства обеспечивают обнаружение отказавшего узла и его исключение из процесса управления).

Состав блоков и их взаимодействие представлены на рис. 1.



Рис. 1. Состав и взаимодействие блоков модели системы безопасности ИУС АС на этапе предпроектного исследования

Установление взаимосвязей между факторами, влияющих на безопасность ИУС

В соответствии с [5] были построены блоки когнитивных моделей, представленные на рис. 2-5.

Как известно [6, 7], когнитивная карта представляет собой взвешенный ориентированный граф

$$G = \langle V, E \rangle,$$

где V – вершины графа:

$$V = \{v_i\}, v_i \in V, i = \overline{1, k};$$

E – дуги графа:

$$E = \{e_i\}, e_i \in E, i = \overline{1, k}.$$

На рисунках, выполненных с помощью программной системы когнитивного моделирования [5], сплошные линии и символ "+1" обозначают положительную связь между вершинами V_i и V_j , то есть увеличение (уменьшение) влияния вершины V_i вызывает увеличение (уменьшение) в вершине V_j , штрихпунктирные линии и символ "-1" означают отрицательную связь между V_i и V_j , то есть увеличение (уменьшение) влияния вершины V_i вызывает уменьшение (увеличение) в вершине V_j .

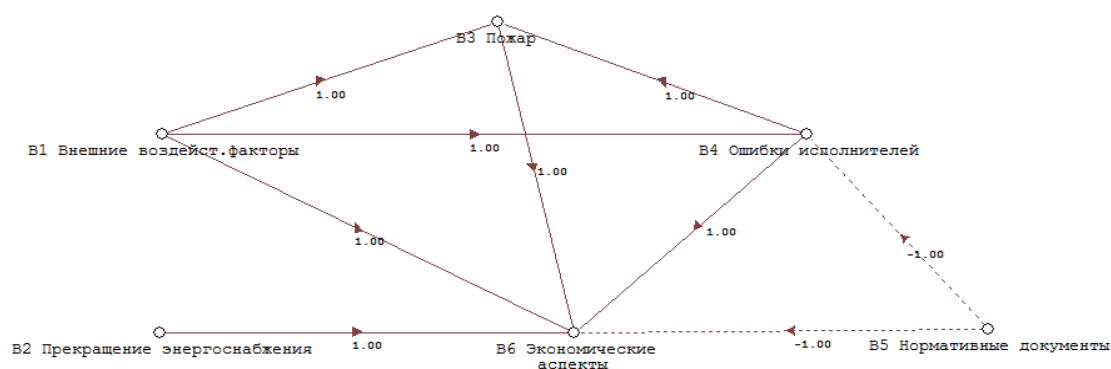


Рис. 2. Блок 1 "Внешняя среда"

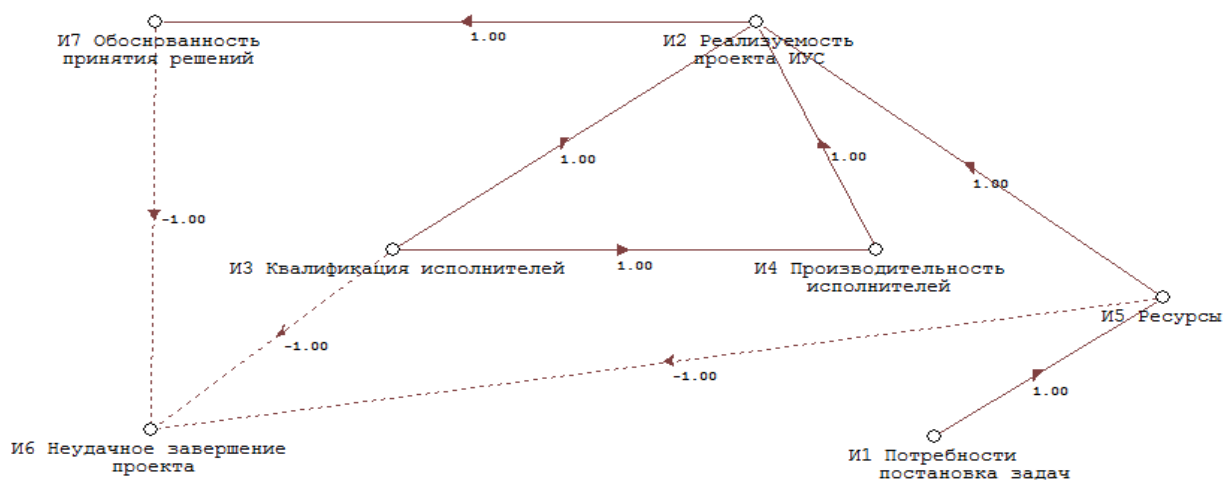


Рис. 3. Блок 2 "Информация"

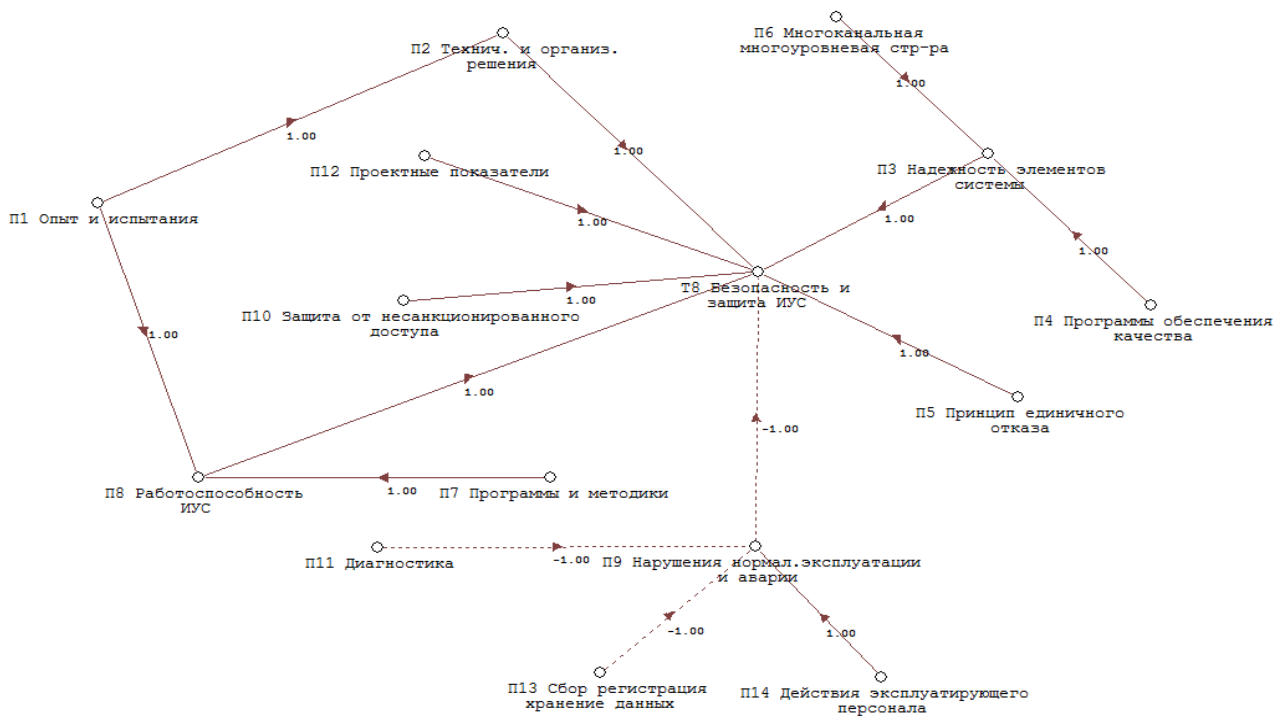


Рис. 4. Блок 3 "Положения обеспечения безопасности атомных станций"

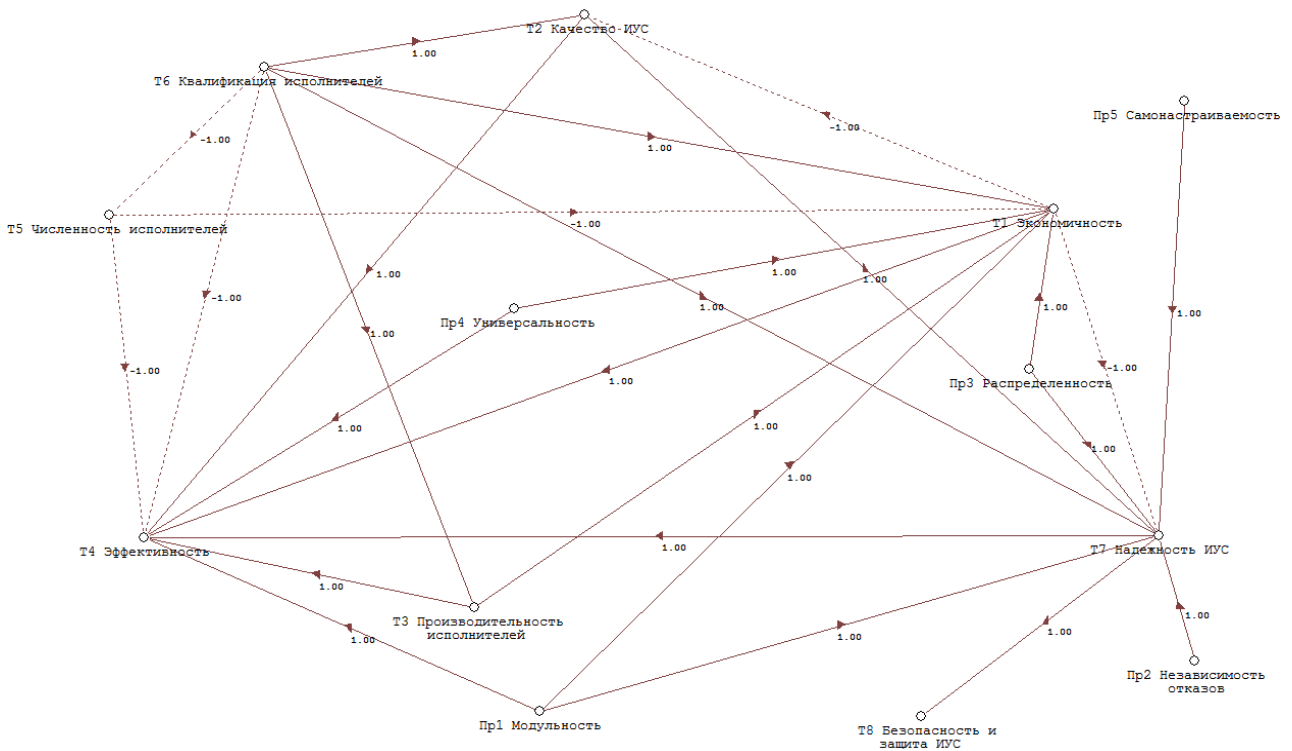


Рис. 5. Блок 4 "Требования к разработке ИУС, принципы"

С позиции системного подхода были определены цели разработки ИУС, важные для АС. Основной целью разработки ИУС является обеспечение и соблюдение всех соответствующих требований безопасности к её разработке, что снижает возможности появления аварийных событий при эксплуатации ИУС, а также возникновения негативных последствий для людей и внешней среды.

Когнитивная карта "Безопасность ИУС АС" и анализ её структурных свойств

На основе блоков, состоящие из факторов, влияющих на безопасность ИУС, была построена когнитивная карта (рис. 6).

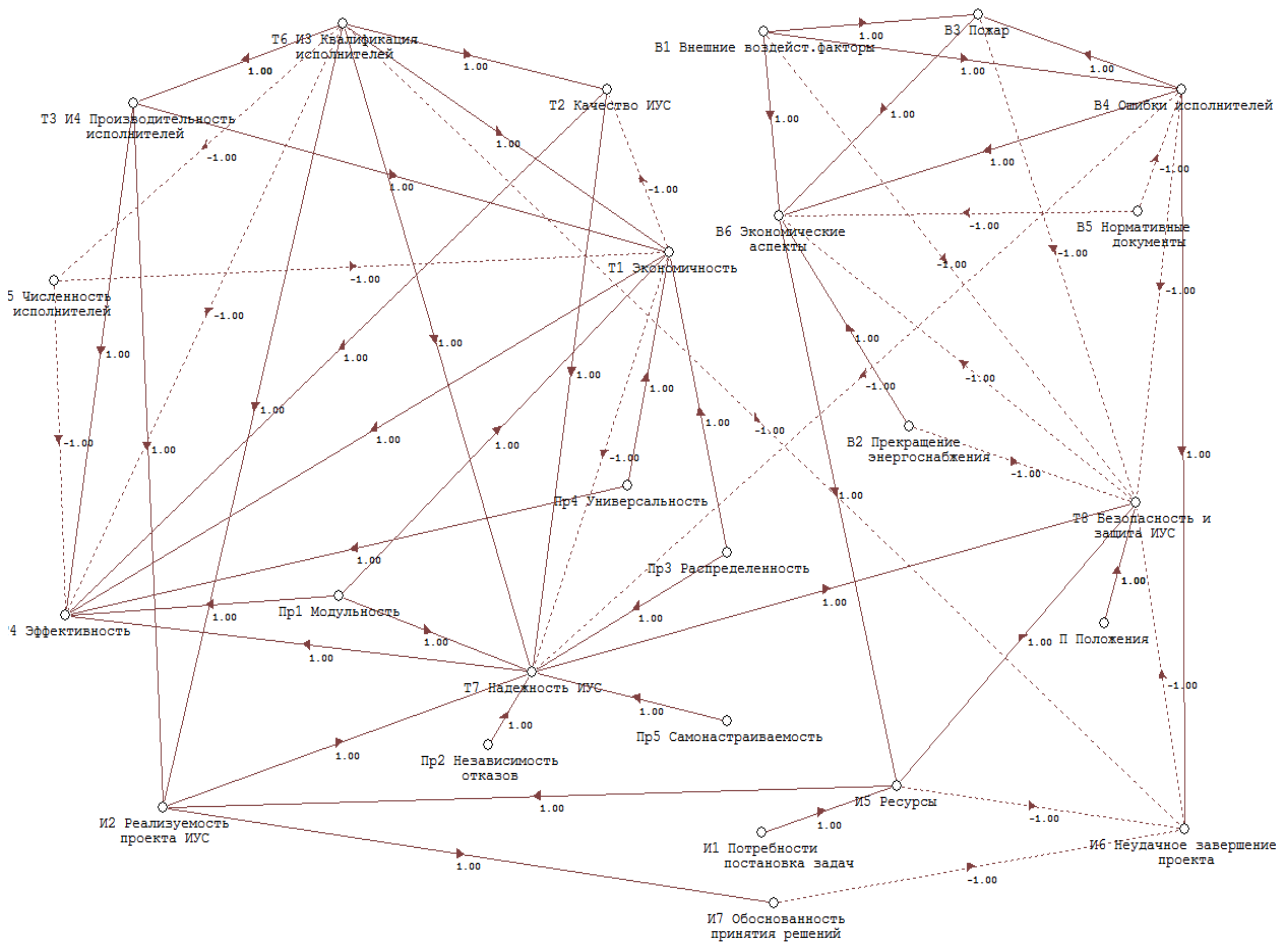


Рис. 6. Когнитивная карта "Безопасность ИУС АС"

При объединении блоков появились дополнительные взаимосвязи между факторами: V_1T_8 – увеличение внешних воздействующих факторов приводит к снижению безопасности и защиты ИУС АС; V_2T_8 – увеличение прекращений энергоснабжения приводит к снижению безопасности и защиты ИУС АС; V_3T_8 – увеличение пожаров приводит к снижению безопасности и защиты ИУС АС; V_4I_6 – увеличение ошибок исполнителей приводит к увеличению неудачного завершения проекта; V_4T_7 – увеличение ошибок исполнителей при-

водит к снижению надёжности ИУС; V_4T_8 – увеличение ошибок исполнителей приводит к снижению безопасности и защиты ИУС АС; V_6I_5 – увеличение экономических аспектов приводит к увеличению ресурсов; I_2T_7 – увеличение количества оценок реализуемости проекта ИУС приводит к повышению надёжности ИУС; I_6T_8 – увеличению неудачного завершения проекта приводит к снижению безопасности и защиты ИУС АС; T_8V_6 – увеличение безопасности и защиты ИУС АС приводит к уменьшению экономических аспектов; T_8I_5 – повышение безопасности и защиты ИУС АС приводит к увеличению ресурсов.

После разработки когнитивной карты был проведён её анализ согласно разработанной когнитивной методологии [6]. Так, анализ структурной устойчивости показал, что структура системы, представленная картой, устойчива, так как среди 6 циклов когнитивной карты имеется нечётное число циклов отрицательной обратной связи – 3 цикла (см. теорему об устойчивости в [7]). Кроме того, система находится на грани устойчивости по возмущению и по начальному значению, поскольку имеются корни характеристического уравнения матрицы отношений когнитивной карты, равные 1: $\max |M| = 1$.

Импульсное моделирование возможных сценариев развития ситуаций, связанных с разработкой ИУС АС

Для того, чтобы проанализировать возможные сценарии развития ситуаций при разработке ИУС, отображенной когнитивной картой "Безопасность ИУС АС", было проведено их импульсное моделирование, позволяющее выявлять возможные сценарии развития ситуаций. На основании этих сценариев можно проектировать стратегии управления системой, предлагать пути разрешения аварийных ситуаций в модельных условиях, а также принимать решения в соответствии с диктующими условиями внешней и внутренней среды.

Далее приведены примеры наиболее характерных сценариев развития ситуаций, связанных с разработкой ИУС, и дан их анализ.

Сценарий 1. Моделирование ситуации "Что будет при уменьшении универсальности $q_{Pr4} = -1$ и увеличении внешних воздействующих факторов $q_{B1} = +1$ ", то есть возмущающий импульс поступает в *две* вершины, в остальных вершинах в начальный момент возмущения отсутствуют (рис. 7).

Из рис. 7 видно, что при уменьшении универсальности и увеличении внешних воздействующих факторов наблюдается тенденция роста надёжности ИУС и уменьшение возможности неудачного завершения проекта по разработке ИУС АС.

Сценарий 2. Моделирование ситуации "Что будет при уменьшении надёжности ИУС $q_{T7} = -1$ и увеличении пожаров $q_{B3} = +1$ " (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что при уменьшении надёжности ИУС наблюдается возможность роста неудачного завершения проекта. Однако, при резком увеличении ресурсов наблюдается тенденция быстрого роста надёжности ИУС и резкого снижения неудачного завершения проекта.

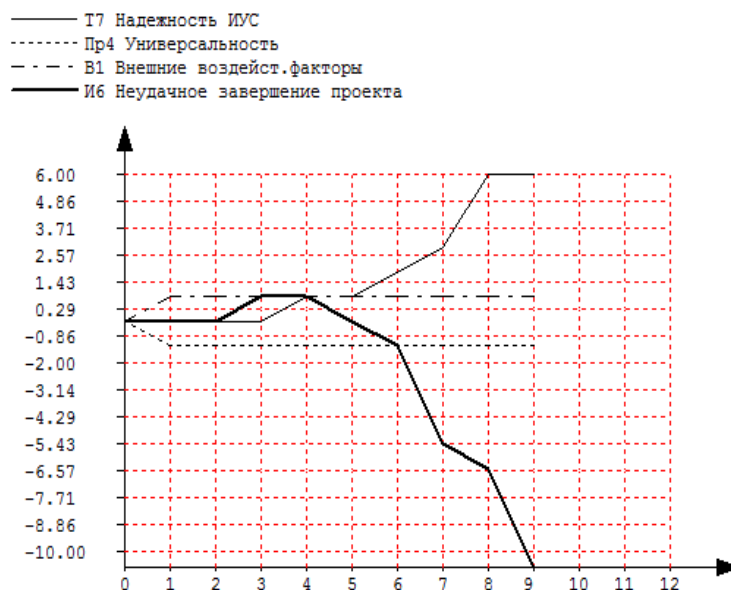


Рис. 7. Сценарий 1: уменьшение универсальности и увеличение внешних воздействующих факторов

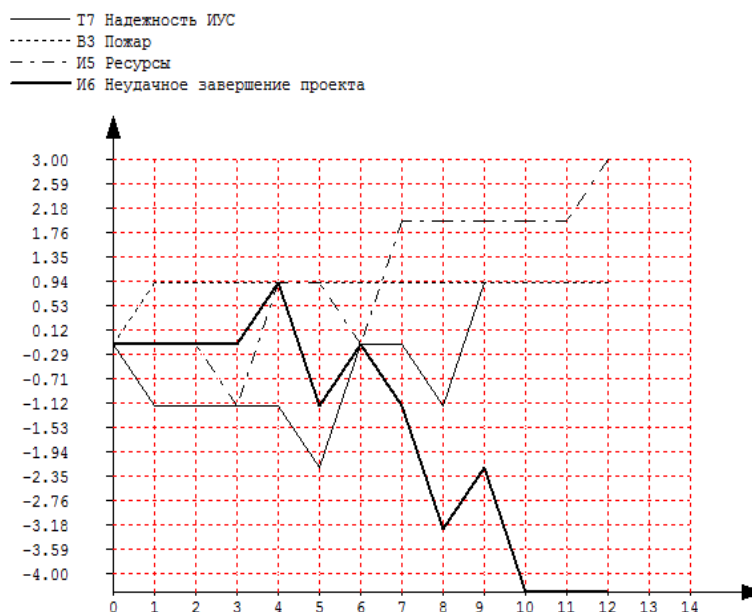


Рис. 8. Сценарий 2: уменьшение надёжности ИУС и увеличении пожаров

Здесь по оси абсцисс (OX) отмечены такты моделирования, по оси ординат (OY) – величины импульсов, генерируемых в вершинах под влиянием анализируемых возмущающих воздействий. В целях наглядности изображения графики импульсных процессов разбиты по 4 вершинам, при этом представлены результаты такого количества тактов моделирования, которое отражает тенденции изменений. Дальнейший вычислительный эксперимент показал, что на последующих тактах тенденции нарастания, убывания, колебания не меняются.

При разработке ИУС АС приходится встречаться со множеством проблем, учитывая как количественные, так и качественные факторы. Поэтому в настоящей статье предложено использовать когнитивное моделирование, позволяющее руководителям проекта структурировать знания, системно и всесторонне проводить исследования различных взаимосвязанных задач функционирования системы, а также выявлять механизмы явлений и тенденции развития ситуаций при разработке ИУС АС при реализации модельных сценариев и предложить обоснованные стратегии их развития.

Таким образом, согласно приведенным примерам основных результатов импульсного моделирования (рис. 7, 8) можно заключить, что разрешение возможных аварийных ситуаций, провала проекта может быть достигнуто на этапе предпроектного исследования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 15-08-06129а и № НК 14-01-90401\14).

Литература

1. *Энергетическая* стратегия России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. **Коробкин В.В., Колоденкова А.Е.** Детерминированный подход к оценке безопасности и рисков информационно-управляющих систем для атомных станций // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: тезисы док. Девятой Международной научн.-техн. конф. М.: ОАО "Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях", 2014. С. 93-94.
3. **Колоденкова А.Е.** Оценка рисков создания программного обеспечения информационно-управляющих систем для высокорисковых промышленных предприятий в условиях интервальной неопределенности исходных данных // Вестник УГАТУ. 2015. № 1 (67). С. 190-197.
4. **Горелова Г.В., Хлебникова А.И.** Когнитивное моделирование для интеллектуальной системы поддержки принятия решений управления транзитной торговлей // Искусственный интеллект. 2010. № 3. С. 473-482.
5. **НП 001-97.** Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. <http://www.gosthelp.ru/text/NP00197Obshhiepolozheniya.html>.
6. **Горелова Г.В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3. С. 239-250.
7. **Робертс Ф.С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука, 1986. 496 с.