
**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 004.414.2

**ПРЕДПРОЕКТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
АТОМНЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ¹**

© 2016 А.Е. Колоденкова

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

В статье подчеркивается, что для обеспечения безопасности и функционирования информационно-управляющих систем для атомных станций (ИУС АС) в процессе эксплуатации необходимо на ранних этапах создания систем проводить предпроектные исследования. Предлагается структурная схема системы управления процессом предпроектных исследований. Рассматривается когнитивный подход для моделирования безопасности функционирования ИУС АС. Приведены результаты импульсного моделирования сценариев возможного развития ситуации при создании ИУС АС.

Ключевые слова: предпроектные исследования, системный подход, знаковый ориентированный граф, безопасность, АЭС.

Поступила в редакцию 25.01.2016 г.

В современном мире существует большое количество отраслей промышленности, обладающих своей спецификой, возможными проблемами и перспективами развития. Однако атомная отрасль является одной из самых ключевых и стратегически важных отраслей отечественной экономики, требующая создания и внедрения новых сложных ИУС, назначением которых в процессе эксплуатации является автоматизированный контроль и управление основными и вспомогательными технологическими процессами, к которым предъявляются чрезвычайно жесткие как российские, так и международные нормы и требования по безопасности и эффективности их функционирования [1-3].

В связи с этим необходимо на начальных этапах жизненного цикла (ЖЦ) ИУС АС проводить предпроектные исследования, и, в частности, оценку реализуемости проекта ИУС АС в условиях неопределенности для безопасности ИУС.

**1. ПРЕДПРОЕКТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – КЛЮЧ К БЕЗОПАСНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИУС АС**

При создании ИУС важных для безопасности АС, большую роль играют предпроектные исследования, направленные на выявление возможных слабых мест в проекте при создании; на недопущение его провала; на перспективные управленческие решения по улучшению ИУС в трудно формализуемых условиях; на гарантированные достижения выполнения всех требований технического задания (ТЗ) и контракта [4].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06129.

Предпроектные исследования заключаются в изучении предметной области, в сборе информации о предстоящем создании ИУС, в оценке реализуемости проекта по созданию ИУС с учетом имеющихся ресурсов (материальных, финансовых, трудовых и др.), а также в выработке рекомендаций для принятия управленческих решений руководителем проекта.

Необходимость данных исследований обусловлена тем, что созданная ИУС без предпроектных исследований может привести к ситуации, когда на этапе эксплуатации придется столкнуться с тем, что поведение системы не будет отвечать заявленным целям и требованиям к ИУС, что в свою очередь приведет к необходимости срочной адаптации уже внедренной ИУС.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема процесса предпроектных исследований по созданию ИУС АС, состоящего из четырех этапов. Особое внимание уделено этапу «Анализ реализуемости проекта ИУС», поскольку именно он позволяет спрогнозировать успешность проекта по созданию ИУС еще на раннем этапе ЖЦ ИУС, т.е. выбрать наиболее приемлемый вариант создания ИУС, удовлетворяющий требованиям заказчика и имеющимся ресурсам (материальных, финансовых, трудовых).

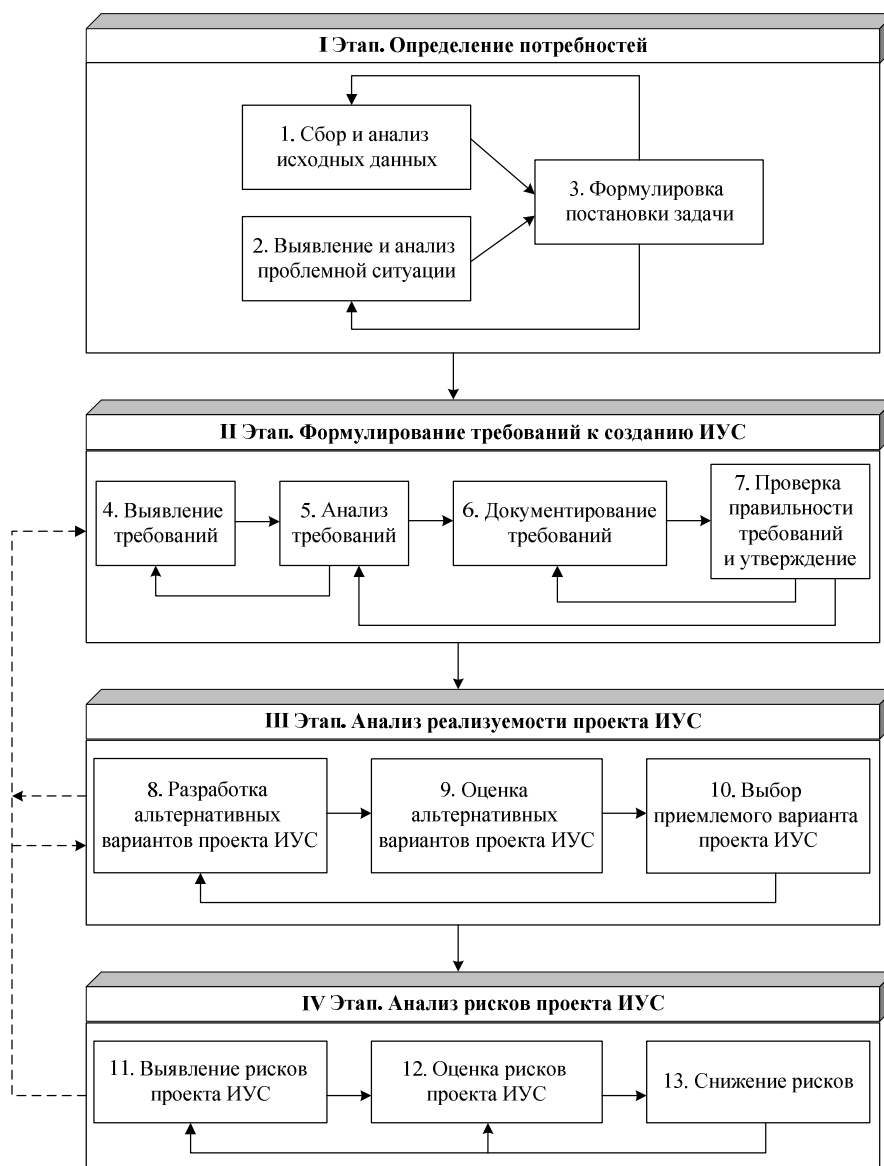


Рис. 1. – Обобщенная схема процесса предпроектных исследований по созданию ИУС АС

Под оценкой реализуемости проекта ИУС понимается наличие необходимых ресурсов для осуществления и условий для реализации проекта.

На рисунке 2 представлена обобщенная схема анализа реализуемости проекта ИУС АС. База данных содержит всю необходимую информацию о предпроектном исследовании по созданию ИУС, в результате чего осуществляется доступ к информации, необходимой руководителям проекта для принятия решений.

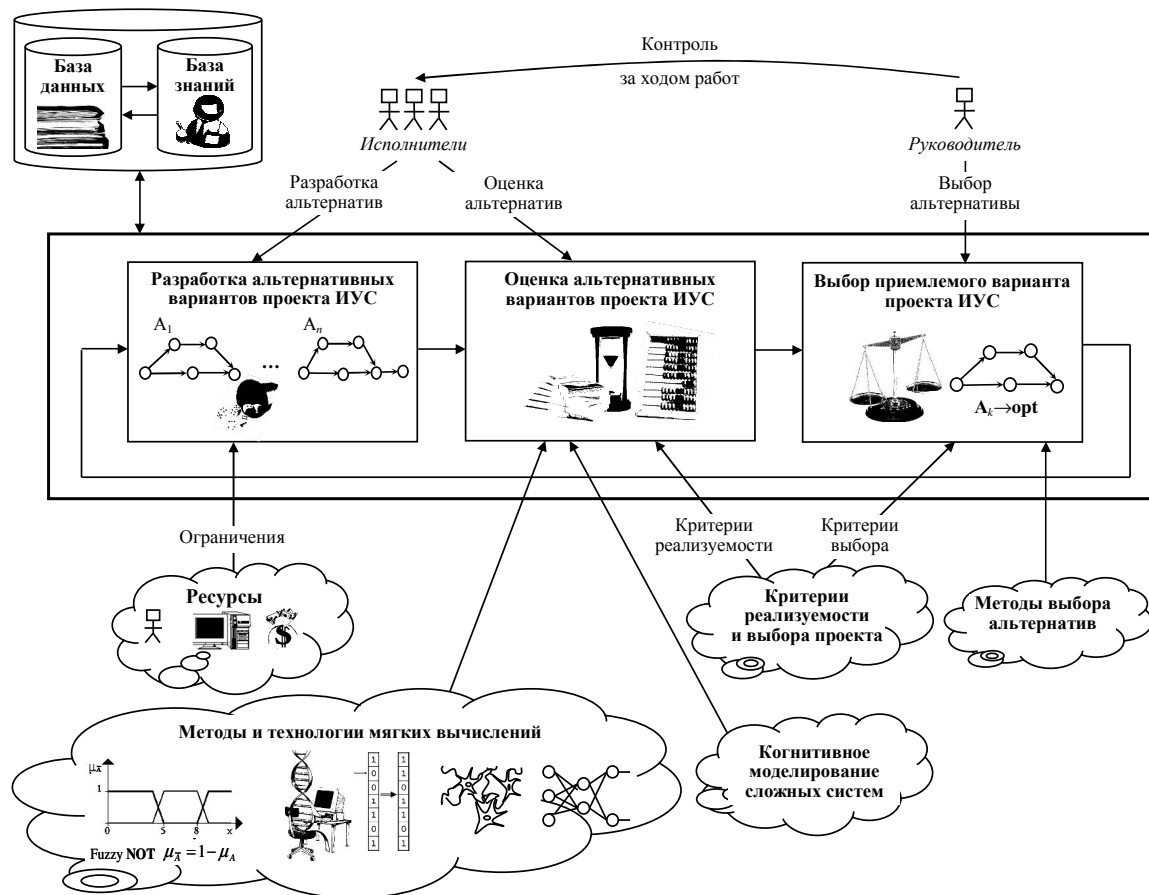


Рис. 2. – Обобщенная схема анализа реализуемости проекта ИУС АС

Знания, используемые при предпроектных исследованиях, получаются от исполнителей в специальной формализованной форме (например, в виде правил), которые в совокупности создают базу знаний.

2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ ИУС АС

В целях выявления на начальных этапах ЖЦ ИУС АС возможных слабых мест в проекте при создании ИУС, недопущения провала проекта и гарантированного достижения выполнения всех требований заказчика, возрастает необходимость в применении системного подхода к управлению процессом предпроектных исследований по созданию ИУС.

На рисунке 3 представлена структурная схема системы управления процессом предпроектных исследований по созданию ИУС АС с учетом наличия требований заказчика.

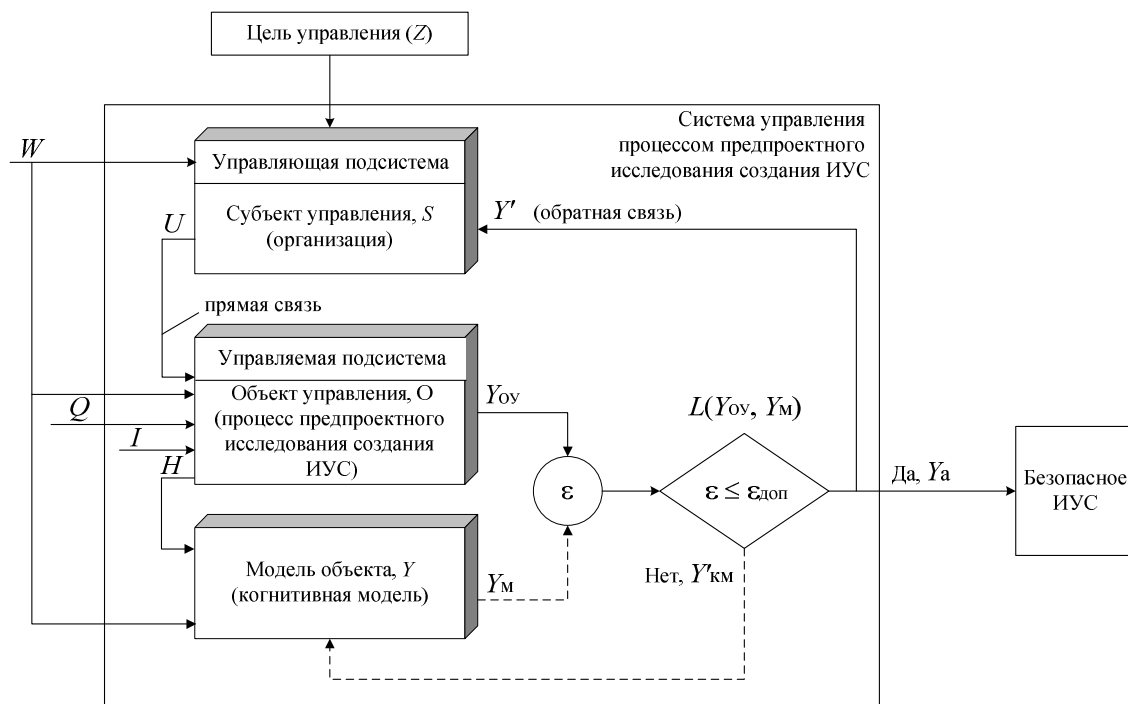


Рис. 3. – Структурная схема системы управления процессом предпроектных исследований по созданию ИУС АС

С точки зрения системного подхода систему управления процессом предпроектных исследований по созданию ИУС предлагается разделить на следующие укрупненные элементы:

- 1) управляющую подсистему (субъект управления, S);
- 2) управляемую подсистему (объект управления, O);
- 3) модель объекта (когнитивная модель, Y).

Под *управляющей подсистемой* рассматривается организация, в которой разрабатывается ИУС и которая осуществляет управляющие воздействия на объект управления, направленные на обеспечение организации и координации разработки и выполнения ИУС на всех этапах разработки в соответствии с ЖЦ ИУС.

В качестве *управляемой подсистемы* рассматривается совокупность объектов управления (исполнители, а также процесс предпроектного исследования, протекающий на предприятии и в его подразделениях), на которые направлены управленческие воздействия. Под *объектом* понимается объект, имеющий сложную архитектуру с множеством взаимосвязей.

Под *моделью объекта* понимается разработка когнитивных моделей безопасности функционирования ИУС, построенные с помощью процедур когнитивного моделирования.

На схеме: W – внешняя информация, т.е. информация поступающая из внешней среды и объединяющая все то, что непосредственно не входит в систему (заказчик, Ростехнадзор, эксплуатирующая организация, соисполнители, нормативные документы (МАГАТЭ, ISO, МЭК, ГОСТ)); Q – ресурсы (материальные, финансовые, трудовые), поступающие в объект управления, необходимые для выполнения работ; I – внутренняя информация, поступающая в объект управления (например, квалификация исполнителей, производительность исполнителей, объем работ) и используемая как первичная информация для реализации задач управления; H – внутренняя информация,

поступающая от объекта управления к модели объекта в режиме реального времени, необходимая для построения когнитивных моделей; U – управляющее воздействие (управляющая информация, принятие управленческих решений, команды управления) (прямая связь); Y_{OY} – выходная информация (фактические данные, параметры, показатели), характеризующая состояние объекта управления; Y_M – выходные параметры модели (желаемые, ожидаемые параметры); ϵ – ошибка (рассогласование); $\epsilon_{\text{доп}}$ – дополнительное (фиксированное, предельное) заданное значение; $L(Y_{OY}, Y_M)$ – проверка соответствия данных, полученных на основе модели, реальному объекту, для описания которого она строится; Y' – информация о состоянии объекта (внесение каких-либо изменений в модель) (обратная связь); $Y'_{\text{км}}$ – корректировка модели (корректировка параметров); Y_a – выход – адекватная модель объекта управления, т.е. отвечает требованиям заказчика и контракта, особенно в части надежности и безопасности ИУС.

Субъект управления на основе информации, поступившей из внешней среды W , и располагая целью управления, требованиями к созданию ИУС и регламентом от заказчика, вырабатывает управляющее воздействие U .

Ресурсы Q , внутренняя информация I , а также принятие управленческих решений U дает управляющую информацию, которая доводится до исполнителей (управляемая подсистема) в форме планов, заданий, нормативов и т.д., и является для них импульсом к целенаправленным и скоординированным действиям по созданию ИУС.

Для синтеза системы управления на основе W , Q , I разрабатываются модели объекта управления с использованием когнитивного моделирования, позволяющего предсказывать поведение объекта, отражать проблемы системы в упрощенном виде (в модели), исследовать и анализировать возможные сценарии возникновения аварийных ситуаций при создании ИУС, а также находить пути их разрешения в модельной ситуации.

Если фактические результаты, характеризующие состояние объекта управления Y_{OY} не отвечают ожидаемым Y_M , т.е. выходит за установленные пределы (условие $\epsilon \leq \epsilon_{\text{доп}}$ не выполняется), то управляющая подсистема вносит коррективы в модель объекта $Y_{\text{км}}$. Если же условие $\epsilon \leq \epsilon_{\text{доп}}$ выполняется, то модель объекта управления считается адекватной Y_a . В результате адекватной модели предоставляется возможность безошибочного предсказания поведения объекта тем самым достичь высокой надежности и функциональной безопасности ИУС при создании.

Отметим, что управление реализуется с использованием принципа *обратной связи* Y' . Субъект управления воспринимает информацию (внесение каких-либо изменений в модель) от объекта управления Y' и информацию о внешней среде W , обрабатывает ее, сопоставляет ее с желаемыми характеристиками объекта управления и на ее основании принимает новое решение и вырабатывает следующее управляющее воздействие U . И так далее.

В общем виде система управления процессом предпроектных исследований по созданию ИУС ($S_{\text{упр}}$) может быть представлена в виде кортежа:

$$S_{\text{упр}} = \langle S, O, Y, Z, W, Q, Y_a, D \rangle,$$

где Z – цель управления;

$D = \langle I, H, U, Y_{OY}, Y_M, Y', Y'_{\text{км}} \rangle$ – внутренняя среда системы управления $S_{\text{упр}}$;

$Y = \langle W, H, Y_M \rangle$ – модель объекта, результатом Y_M которого является четкая либо нечеткая когнитивная модель, представленная в виде параметрического векторного функционального графа.

$$Y_M = \langle \langle V, E \rangle, X, F, \theta \rangle,$$

где $G = \langle V, E \rangle$ – знаковый ориентированный граф;

V – вершины графа, $V = \{v_i\}$, $v_i \in V$, $i = \overline{1, k}$ (k – количество вершин);

E – дуги графа, $E = \{e_i\}$, $e_i \in E$, $i = \overline{1, k}$, отражающие влияние вершины v_i на вершину v_j (сплошные линии и символ «+1» обозначают положительную связь между вершинами v_i и v_j , т.е. 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 , т.е. увеличение (уменьшение) влияния вершины v_i вызывает уменьшение (увеличение) в вершине v_j);

$X = \{x_i\}$ – множество параметров вершин;

$F = f(v_i, v_j, e_{ij})$ – функция связи между вершинами;

θ – пространство параметров вершин.

3. КОГНИТИВНАЯ КАРТА «БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИУС АС»

Для построения общей когнитивной карты, характеризующей безопасность функционирования ИУС АС сначала были выделены блоки факторов, влияющих на безопасность функционирования ИУС АС (Блок 1 – Внешняя среда (V), Блок 2 – Входная информация (I), Блок 3 – Выходная информация (O), а затем построены блоки когнитивных моделей, на основании которых был проведен синтез их в общую когнитивную модель по схеме «снизу» (рис. 4).

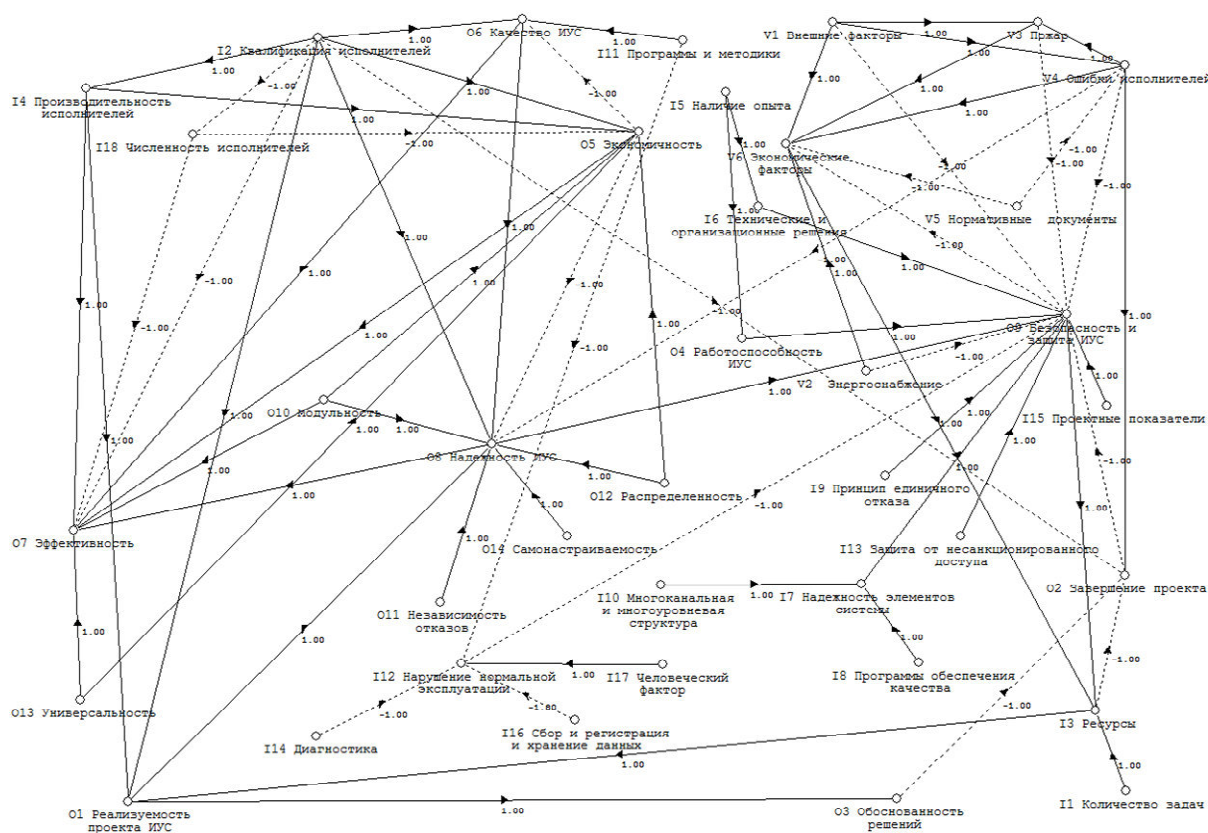


Рис. 4. – Когнитивная карта «Безопасность функционирования ИУС АС»

После разработки когнитивной карты был проведен ее анализ. Анализ

структурной устойчивости показал, что структура системы устойчива, так как среди 6 циклов когнитивной карты имеется нечетное число циклов отрицательной обратной связи – 3 цикла [5]. Для того чтобы проанализировать возможные сценарии развития ситуаций при создании ИУС АС, отображенной когнитивной картой «Безопасность функционирования ИУС АС», было проведено их импульсное моделирование.

На рисунке 5 представлен один из сценариев развития ситуации, связанной с созданием ИУС АС. Здесь по оси абсцисс (OX) отмечены такты моделирования, по оси ординат (OY) – величины импульсов, генерируемых в вершинах под влиянием анализируемых возмущающих воздействий. *Сценарий.* Моделирование ситуации «Что будет при уменьшении надежности ИУС $q_{T7} = -1$ и увеличении пожаров $q_{B3} = +1$?».



Рис. 5. – Сценарий 1: уменьшение надежности ИУС и увеличении пожаров

Из рисунка 5 видно, что при уменьшении надежности ИУС и увеличении пожаров наблюдается тенденция роста возможности неудачного завершения проекта по созданию ИУС. Однако при резком увеличении ресурсов наблюдается тенденция быстрого снижения возможности неудачного завершения проекта.

4. ВЫВОД

Таким образом, исключение возможных аварийных ситуаций, провала проекта, а также минимизация возможных последствий отказов ИУС АС в процессе эксплуатации, может быть максимально достигнута на начальных этапах ЖЦ ИУС АС, если проводились предпроектные исследования по созданию ИУС. Результатом предпроектных исследований является система моделей (четкие и нечеткие когнитивные модели), позволяющая повысить обоснованность принятия управленческих и технических решений руководителем проекта в быстроизменяющейся обстановке при создании ИУС. Применение системного подхода к управлению созданием ИУС, является одной из важнейших характеристик стратегического управления, поскольку он позволяет выделять подсистемы и разрабатывать подстратегию для каждой из них, а также рассматривать в качестве объекта управления всю систему в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность атомных электростанций: проектирование: требования № NS-R-1 [Текст] // Серия

- норм МАГАТЭ по безопасности. Вена: МАГАТЭ, 2003. – 92 с.
2. *Каляев, И.А.* и др. Методы и средства повышения безопасности и сокращения времени операций с ядерным топливом на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 [Текст] / И.А. Каляев, В.В. Коробкин, Э.В. Мельник, М.А. Хисамутдинов: монография. – Ростов на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 208 с.
 3. *Липаев, В.В.* Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств [Текст] / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 284 с.
 4. *Коробкин, В.В.* и др. Один из подходов к оценке безопасности и рисков информационно-управляющих систем для атомных станций [Электронный ресурс] / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – 2014. – Режим доступа: URL: <http://vspu2014.ipu.ru/node/8581.pdf> – 10.12.16.
 5. *Робертс, Ф.С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам [Текст] / Ф.С. Робертс. – М.: Наука, 1986. – 496 с.

REFERENCES

- [1] Bezopasnost atomnih ielektrostantsii: proektirovanie: trebovaniy № NS-R-1 [Safety of nuclear power plants: design: requirements № NS-R-1]. Seriy norm MAGATE pobezopasnosti [Standards IAEA safety series]. Vienna: MAGATE, 2003. – 92 p. (in English).
- [2] Kaliaev I.A., Korobkin V.V., Melnik E.V., Khisamutdinov M.A. Metodi i sredstva povisheniy bezopasnosti i sokracheniy vremeni operatsii s yadernim toplivom na AIS s reaktorom tipa VVER-1000 [The methods and means to improve safety and reduce the time of operation of nuclear fuel in nuclear power plant WWER-1000 reactor]: monographia [monograph]. – Rostov-on-Don: Pub. Izdat. Uzhnogo Federalnogo universiteta [Southern Federal University Publishing House], 2014. 208 p. (in Russian).
- [3] Lipaev V.V. Tehniko-ikonomiceskoe obosnovanie proektov slozhnih programmnih sredstv [Feasibility study of software facility projects]. M. Pub. SINTEG [SINTEG], 2004. – 284 p. (in Russian).
- [4] Korobkin V.V., Kolodenkova A.E. Odin iz podhodov k ocenke bezopasnosti i riskov informacionno-upravlyucih system dly atomnih stantsii [One of the approaches to the estimation of safety and risk information and control systems for nuclear power plants] // XII Vserossiiskoe sovecanie po problemam upravleniy VSPU-2014 [XII All-Russian conference on governance VSPU 2014] Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/node/8581.pdf> (in Russian).
- [5] Roberts F.S. Diskretnie matematicheskie modeli s prilozheniyami k socialnim, biologicheskim i ekologicheskim zadacham [Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems]. M. Pub. Nauka [Science], 1986. 496 p. (in English).

Exploratory Researches in Information and Control System Creating for Nuclear Power Plants under Uncertainty

A.E. Kolodenkova

*Ufa State Aviation Technical University,
12 Karl Marks St., Ufa, Bashkortostan, Russia 450025
e-mail: anna82_42@mail.ru*

Abstract – It is emphasized that for safety and functioning of information and control systems for nuclear power plants it is necessary to conduct exploratory researches at early stages of system creation. The structural scheme of process control system of exploratory researches is offered. We consider the cognitive approach to information and control system safety modeling for nuclear power plants. Some results of impulse modeling possible scenarios of the situation when creating information-control systems for nuclear power plants are given.

Keywords: exploratory research, system approach, symbolic directed graph, safety, NPP.