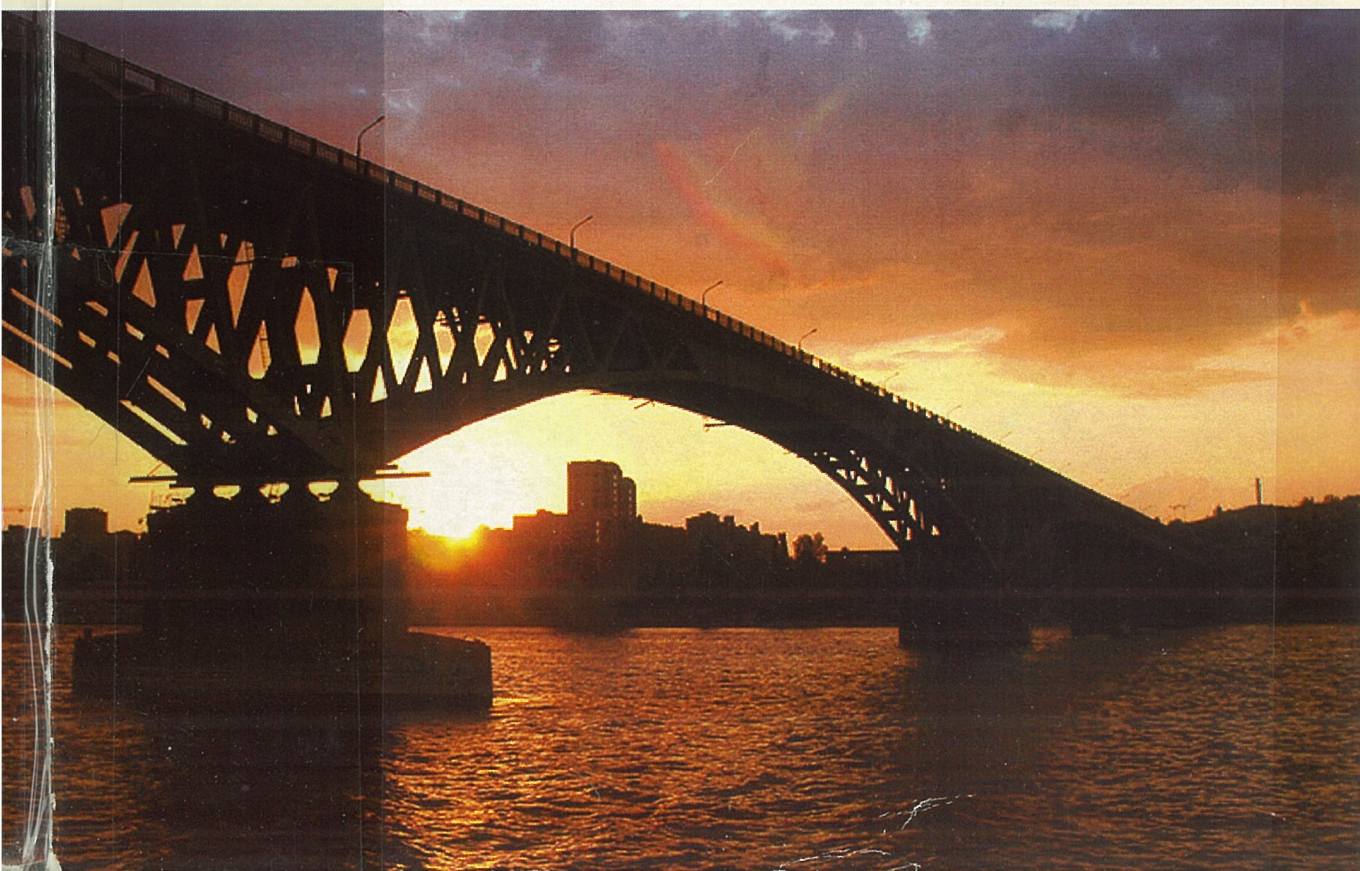


**ПРОБЛЕМЫ
КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ
В ТОЧНОЙ МЕХАНИКЕ
И УПРАВЛЕНИИ**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПРОБЛЕМЫ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В ТОЧНОЙ МЕХАНИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

**Материалы Всероссийской научной конференции
с Международным участием**

Под редакцией член-корреспондента РАН А.Ф. Резчикова

Саратов

ООО Издательский Центр «Наука»

2013

УДК 681(082)

ББК 30.17я43

П78

П78

**Материалы Всероссийской научной конференции с
Международным участием «Проблемы критических
ситуаций в точной механике и управлении». – Саратов:
ООО Издательский Центр «Наука», 2013. – 392 с.**

ISBN 978-5-9999-1748-5

В работе конференции рассматриваются следующие проблемы и задачи: анализ причин возникновения критических ситуаций как следствия отказов подсистем и ошибок персонала в сложных человеко-машинных системах; построение новых математических моделей перспективных датчиков и динамических систем, функционирующих в условиях, которые могут привести к снижению их точности и возникновению отказов в критических ситуациях; решение задач диагностики, наноразмерной локализации и управления потоками в технических и живых системах; построение новых моделей и методов механики твердого тела и механических систем, инерциальной навигации, а также многомерных робастных систем автоматического управления; теоретические и экспериментальные основы новых лазерных методов и систем дистанционных измерений и контроля микро- и макроструктур, макро- и микроформ объектов

Издание материалов конференции поддержано
грантом РФФИ №13- 08-06105-г и Отделением энергетики,
машиностроения, механики и процессов управления РАН

УДК 681(082)

ББК 30.17я43

ISBN 978-5-9999-1748-5

© Институт проблем точной механики
и управления РАН, 2013

Содержание

Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ..	4
СЕКЦИЯ 1. Критические ситуации в сложных человеко-машинных системах....	14
1. Амплеев А.В., Петров Д.Ю. БАЗОВЫЕ СТРУКТУРЫ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТЕКОЛ.....	14
2. Барышникова Е.С. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	18
3. Брежнев Е.В., Харченко В.С. СОВМЕСТНЫЙ РИСК-АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС И ЭНЕРГОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	20
4. Бржозовский Б.М., М.Б. Бровкова, Мартынов В.В., Мартынов П.В. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ НЕЛИНЕЙНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В СТАНОЧНЫХ СИСТЕМАХ.....	24
5. Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Зинина Е.П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ КОМБИНИРОВАННОГО РАЗРЯДА.....	29
6. Бродская Ю.А. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МНОЖЕСТВА МИНИМАЛЬНЫХ ТЕСТОВ БУЛЕВОЙ МАТРИЦЫ КАК СОВОКУПНОСТИ НЕПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ПОДМАТРИЦ.....	34
7. Буй Д.Б., Кахута Н.Д., Сильвейструк Л.М. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ: ПОЛНЫЙ ОБРАЗ И ОГРАНИЧЕНИЕ.....	37
8. Буй Д.Б., Компан С.В. ОПЕРАЦИИ НАД СПЕЦИФИКАЦИЯМИ КЛАССОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	41
9. Васильев Д.А., Иващенко В.А., Колоколов М.В. ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	45
10. Ефимов И.В., Петров Д.Ю., Каплина Т.В. ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА.....	50
11. Епифанов А.С. МЕТОДЫ СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИИ ЧАСТИЧНЫХ АВТОМАТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ.....	53

12. Иванченко О.В., Харченко В.С. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ АВАРИЙ И ИНЦИДЕНТОВ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР.....	59
13. Карандашов М.В. НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА АВТОМАТНЫХ ФУНКЦИЙ ПОРОЖДАЮЩИХ ЭРГОДИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ НА МНОЖЕСТВЕ 2-АДИЧЕСКИХ ЧИСЕЛ.....	64
14. Кисляков И.А. АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНОСТИ КЛАССОВ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ.....	67
15. Куранов С.В. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ СТЕКЛА....	69
16. Кушников В.А., Гусаков А.А. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ГЭС.....	74
17. Кушников В.А., Марков А.И. МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ АВИАРЕМОНТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....	78
18. Кушникова Е.В. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЫБРОСЕ ПОЛЛЮТАНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	81
19. Лисицкий Л.А., Лисицкий Д.Л. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА.....	85
20. Ольшанский В.Ю. НОВЫЕ ИНТЕГРИРУЕМЫЕ СЛУЧАИ УРАВНЕНИЙ ПУАНКАРЕ – ЖУКОВСКОГО.....	92
21. Палагина В.П. МОДЕЛЬ ПОИСКА ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СЛОЖНОЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЕ.....	96
22. Петров Д.Ю., Канунников А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТЖИГА ЛИСТОВОГО СТЕКЛА.....	98
23. Скобелев В.Г. О СЛОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ.....	101
24. Степанова О.М., Степанов А.М., Степанов М.Ф. К ПРОБЛЕМЕ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ И ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ..	105
25. Твердохлебов В.А. ТЕОРЕМЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ АВТОМАТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ.....	109
26. Филимонюк Л.Ю. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ.....	113

Библиографический список

1. Брауер В. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Радио и связь, 1987.
2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука. 1966. 272с.
3. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М.: Физматгиз. 1962. 476с.
4. Глушков В.М. Абстрактная теория автоматов // Успехи мат. наук.- 1961, 16. Вып.5 (101). С.3-62.
5. Епифанов А.С. Методы доопределения и оценки сложности законов функционирования дискретных динамических систем. // Ж-л «Проблемы управления». М. №2 2011. С.23-30.
6. Корнейчук Н.П., Бабенко В.Ф., Лигун А.А. Экстремальные свойства полиномов и сплайнов / отв. ред. А. И. Степанец; ред. С. Д. Кошис, О. Д. Мельник, АН Украины, Ин-т математики. — К.: Наукова думка, 1992. — 304 с. — ISBN 5-12-0022103.
7. Половко А.М., Бутусов П.Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004г. - 320с. ISBN 5-94157-493-2.
8. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. — М.: Мир, 2001. — ISBN 5-03-002143-4.
9. Твердохлебов В.А. Методы интерполяции в техническом диагностировании. / Ж-л "Проблемы управления". М. №2 2007. с.28-34.
10. Твердохлебов В.А. Геометрические образы законов функционирования автоматов. - Саратов: Изд-во "Научная книга", 2008. 183 с.
11. Твердохлебов В.А., Епифанов А.С. Представление автоматных отображений геометрическими структурами: Монография. — Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2013. — 204 с. ISBN 978-5-9999-1483-5.
12. www.oeis.org. *The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS)*.

УДК 62-192:519.2

Иванченко О.В., Харченко В.С.

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ АВАРИЙ И ИНЦИДЕНТОВ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР

Постановка проблемы. Устойчивое экономическое развитие в значительной степени зависит от эффективного функционирования критических инфраструктур (КИ), являющихся ключевой составляющей национальной безопасности государства.

По степени важности, сложности и масштабам решаемых задач энергетические инфраструктуры (ЭИ) относятся к КИ, а проблема обеспечения их безопасного, надежного использования по назначению носит глобальный характер. Об этом свидетельствуют последствия крупнейших аварий, произошедших за последнее десятилетие на АЭС Фукусима – 1 (Япония, 2011 г.), Саяно-Шушенской ГЭС (Россия, 2009 г.) и др.

Интерес представляют результаты анализа [1,2] одной из наиболее крупных аварий объединенной ЭИ США и Канады (Blackout), которая произошла в августе 2003 г. Существуют различные подходы и математические методы анализа безопасности ЭИ. Они описаны в [1,3] применительно к энергетическим, аэрокосмическим и ИТ-инфраструктурам и базируются на математическом аппарате марковских и полумарковских случайных процессов, байесовских сетях и методах риск-анализа, в частности, иерархических динамических матрицах критичности, учитывающих взаимовлияние отказов и эффекты «перетекания» рисков в КИ [4].

Одной из наиболее строгих в математическом отношении и конст-

руктивных в прикладном смысле является методология описания и анализа сложных систем на основе алгебры причинно-следственных комплексов (ПСК), разработанная В.А. Твердохлебовым [1,3]. Применение ПСК позволяет решать одну из ключевых проблем анализа безопасности КИ – проблему сложности моделей, обеспечивая исследователя более гибким инструментарием их представления по сравнению с традиционными методиками - деревьями отказов, HAZOP- и FME(C)A-анализом и другими, описанными, например, в [5]. Цель данной статьи – разработка методики анализа аварий ЭИ путем ПСК-декомпозиции событий.

Логическая схема аварии ЭИ. Причинно-следственный комплекс модели декомпозиции событий аварии ЭИ строится как композиция элементарных причинно-следственных звеньев, представляемых в форме детерминированного автомата [1]. Для построения опорной модели воспользуемся логической схемой типа «нарушение-уязвимость» (рис. 1), которая отображает общий характер протекания первого этапа аварии.

Незадолго до Blackout, для обеспечения функционирования компонентов критической энергетической инфраструктуры (КЭИ) были развернуты системы оценки состояния (SE) и стохастического анализа (RTCA), которые информационно обеспечивали работу сервера энергокомпании Midwest Independent System Operator (MISO). Причем, подсистема RTCA работала в режиме реального времени. В MISO задачи, связанные с оценкой надежности, решались с использованием группы программных утилит, разработанных с участием специалистов компании. Программное обеспечение (ПО) SE и RTCA было предназначено для оказания помощи в работе компаний, входящих в состав MISO. На схеме (рис. 1), источник уязвимости, состояние которого влияет на безопасность КЭИ, изображен в виде эллипса. Так, в частности, информационная система ECAR (East Central Area Reliability Coordination Agreement), которая лишь частично была введена в эксплуатацию, создала информационную уязвимость.

Следующая уязвимость была обнаружена после отказа 230 кВ линии электропередач (ЛЭП) Cinenergy's Bloomington-Dennis (B-D). Событие, заключающееся в отказе данной линии, отображено в виде пунктирного прямоугольника.

В действительности из-за возникшего короткого замыкания на ЛЭП B-D возник обрыв. Из-за несрабатывания датчиков (функциональная уязвимость) в области линии B-D возникло условие, выражающееся в неправильном функционировании ПО SE.

В дальнейшем, по состоянию на 13:00 оператор выключил ПО SE для определения причины различия между смоделированными данными и информацией, отражающей истинное положение дел. Это приводит к возникновению нарушения в функционировании стандартных операционных процедур, отмеченных жирным прямоугольником, когда оператор забыл перезапустить программное обеспечение SE, RTCA для дальнейшего мониторинга состояния КЭИ и ушел на перерыв.

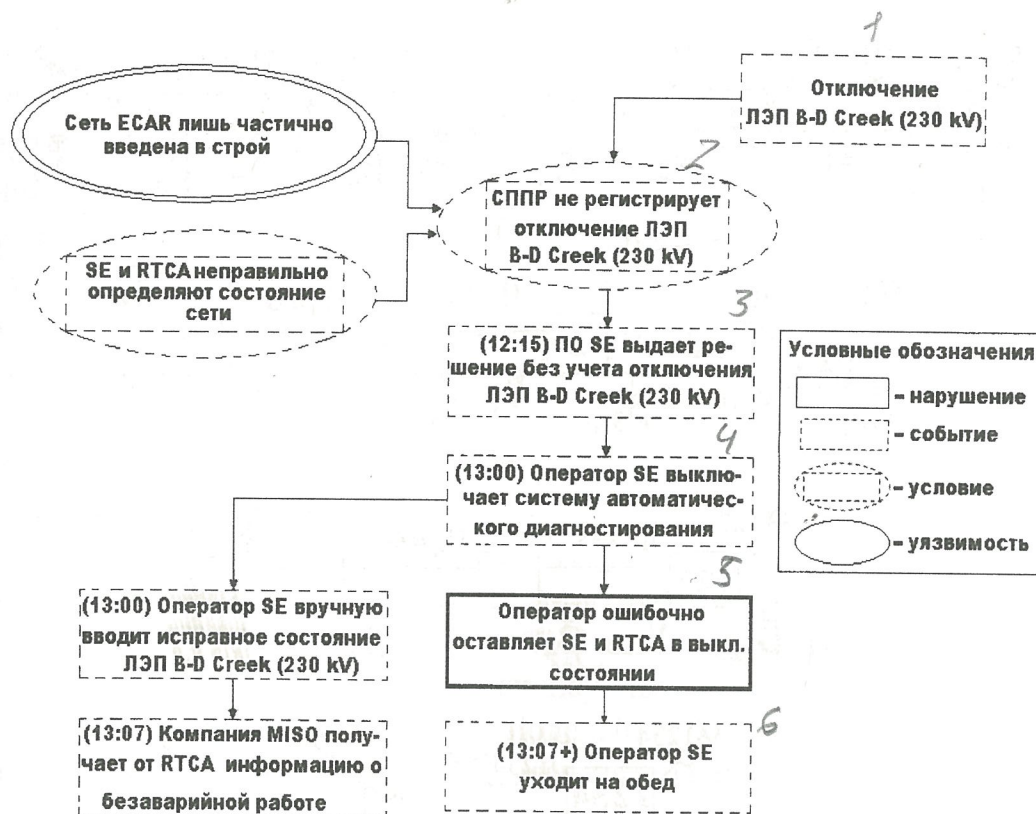


Рис. 1. Логическая схема протекания первого этапа Blackout

Без нарушения последовательности событий логическая схема (рис. 1) в укрупненном виде с учетом состояний КЭИ может быть представлена в следующем виде (рис. 2).

ПСК для аварии ЭИ. В соответствии с принципами построения, изложенными в [3], логическая схема (рис. 1) трансформируется в схему ПСК протекания аварии критической ЭИ (рис. 3).

Для получения результирующих соотношений, элементарные звенья причинно-следственных связей (ПСС) (рис. 3) рассматриваются как модели трех простейших операций: ω – совмещения, h – преобразования, k – расщепления [1]. Операции композиции звеньев реализуются на основе отождествления узлов. Каждая операция композиции дает новую структуру взаимосвязей звеньев [3]. Охарактеризуем каждую из них.



Рис. 2. Состояния и события КЭИ

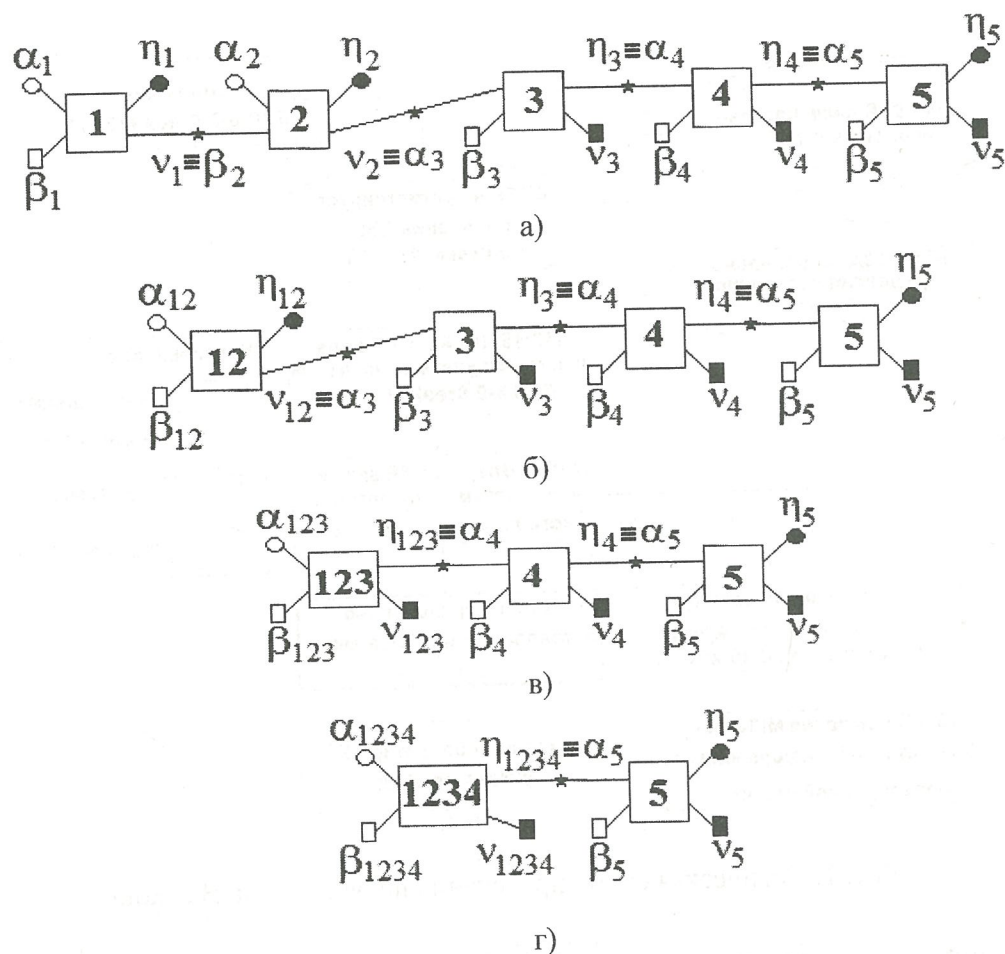


Рис. 3. Схема ПСК протекания первого этапа Blackout:
а) общая схема ПСК; б) схема ПСК для свертки 1-го и 2-го звеньев
причинно-следственных связей; в) схема ПСК для свертки 1-го, 2-го и 3-го звеньев
причинно-следственных связей; г) схема ПСК для свертки
1-го, 2-го, 3-го и 4-го звеньев причинно-следственных связей

1. Для рассматриваемой структуры первое и второе звенья (рис. 3, а) представляют собой стандартную операцию (O_2) для параллельного соединения звеньев ПСС по группам причины и следствия, которая определяется тождеством $v_1 \equiv \beta_2$. А именно, для первого и второго звена $O_2(H_1, H_2)$ определяются следующие операторы: $\omega_3(\alpha_1, \alpha_2)$ – причина; β_1 – условие 1; $\omega_4(\eta_1, pr_1(\kappa_2(h_2(\omega_2(\alpha_2, \beta_2^*))))))$ – следствие; $pr_2(\kappa_2(h_2(\omega_2(\alpha_2, \beta_2^*))))$ – условие 2 при $\beta_2^* = pr_2(\kappa_1(h_1(\omega_1(\alpha_1, \beta_1))))$.

2. Свертка первого и второго звеньев с третьим звеном (рис. 3, б) представляют собой стандартную операцию (O_3) для параллельного соединения звеньев ПСС по группам причины и следствия, которая определяется тождеством $v_1 \equiv \alpha_2$. Для этих звеньев $O_3(H_1, H_2)$ задаются следующие операторы: α_1 – причина; $\omega_3(\beta_1, \beta_2)$ – условие 1; $\omega_4(pr_1(\kappa_2(h_2(\omega_2(\alpha_2^*, \beta_2))))))$ – следствие; $pr_2(\kappa_2(h_2(\omega_2(\alpha_2^*, \beta_2))))$ – условие 2 при $\alpha_2^* = pr_2(\kappa_1(h_1(\omega_1(\alpha_1, \beta_1))))$.

3. Для рассматриваемой структуры свертка первого, второго, третьего звеньев и четвертое звено (рис. 3, в) представляют собой стандартную операцию (O_1) для параллельного соединения звеньев ПСС по группам причины и следствия, которая определяется тождеством $\eta_1 \equiv \alpha_2$. А именно в звене $O_1(H_1, H_2)$, для свертки первого, второго, третьего звеньев и четвертого звена определяются следующие операторы: α_1 – причина; $\omega_2(\beta_1, \beta_2)$ – условие 1; β_1 – условие 1; $pr_1(\kappa_2(h_2(pr_1(\kappa_1(h_1(\omega_1(\alpha_1, \beta_1)))))))$ – следствие; $\omega_4(v_1, v_2)$ – условие 2.

4. Свертка первого, второго, третьего, четвертого звеньев с пятым звеном (рис. 3, г) представляют собой стандартную операцию (O_1) и записываются по аналогии с пунктом 3.

Записанная таким образом математическая интерпретация ПСК позволяет систематизировать взаимосвязи, взаимодействия компонентов, процессов в КЭИ в условиях большой неопределенности связей и взаимодействий. Перспективы дальнейших научных исследований напрямую связаны с разработкой автоматных моделей на основе ПСК для различных типов КИ и демонстрацией результатов математического, имитационного моделирования.

Заключение. Комплексное использование предложенного подхода для решения задачи декомпозиции событий на основе алгебры причинно-следственных комплексов позволяет получить формализованное описание аварии КИ и построить таким образом математическую модель ее протекания с применением детерминистского подхода.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой:

- метода инфраструктурной компаративистики, которая может базироваться в т.ч. и на моделях ПСК;
- дополнением модели ПСК традиционными моделями с целью получения количественных оценок безопасности.

Библиографический список

1. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. – 641с.
2. U.S.-Canada Power System Outage Task Force: Final Report on the August, 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, April 2004. – 228 p.
3. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Принцип причинно-следственной декомпозиции динамических систем. – Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2013. – 56 с.
4. Харченко В.С., Скляр В.В., Брежнев Е.В. Безопасность информационно-управляющих систем и инфраструктур. Модели, методы и технологии. – Германия: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 528 с.
5. Case-оценка критических программных систем. В 3-х томах / под ред. Харченко В.С. Том. 3. Безопасность. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – 302 с.