

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. А. Нозик, А. С. Можаяев (ОАО «СПИК СЗМА», Санкт-Петербург)

Материалы данной статьи были доложены 18 сентября 2007 года в Великом Новгороде на заседании постоянно действующего Всероссийского семинара «Повышение эффективности систем энергоснабжения городов, населенных пунктов и промышленных предприятий» Союза энергетиков Северо-Запада России. Доклад вызвал интерес многих участников семинара, что обусловлено пониманием актуальности и сложности решения проблемы моделирования и количественной оценки свойств надежности, безопасности и риска (НБР) структурно-сложных и высокоразмерных систем электроснабжения.

В настоящее время проблема всестороннего обеспечения надежности и безопасности энергетических систем России рассматривается на государственном уровне. Основные аспекты этой проблемы были подробно изложены в докладе руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору К. Б. Пуликовского на пленарном заседании V Всероссийского энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» [1]. Из доклада следует, что объективные трудности решения указанной проблемы обусловлены все возрастающей сложностью и размерностью структур промышленных системных объектов энергетики, когда даже незначительные возмущения штатного режима работы могут привести к серьезным потерям работоспособности и аварийным ситуациям. Это затрудняет принятие профилактических мер по обеспечению надежности и безопасности промышленных системных объектов и снижает их эффективность. В этих условиях возрастает вероятность возникновения нарушений функционирования сложных систем и их аварий с тяжелыми последствиями.

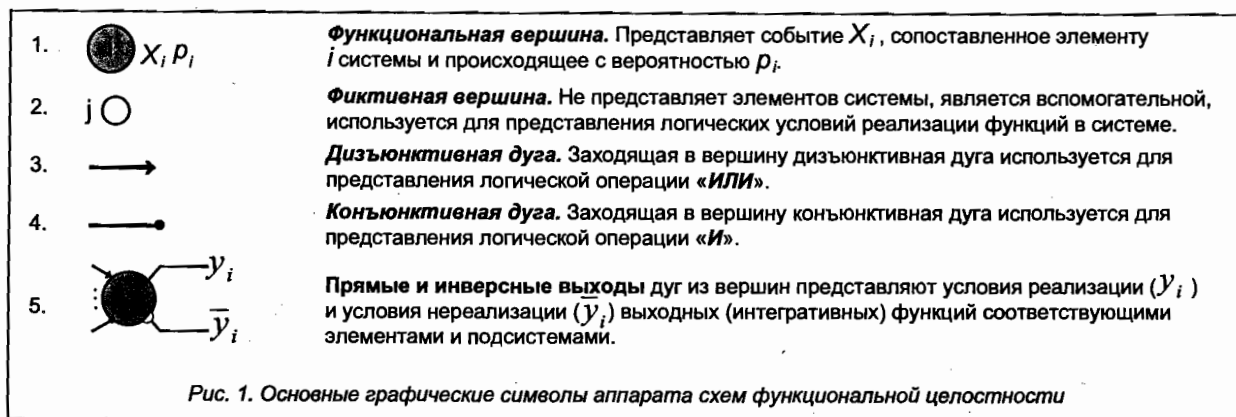
Аналогичные проблемы надежности и безопасности систем электроснабжения (СЭС) были детально проанализированы генеральным директором филиала ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» ОДУ Северо-Запада В. И. Синявским в его интервью, опубликованном в журнале «Теплоэнергоэффективные технологии» [2]. Там также было отмечено, что современные системы электроснабжения имеют сложную технологическую структуру. Их надежность определяется техническим

состоянием элементов, структурой энергетической системы и управлением технологическими режимами функционирования. Сложность и зависимость энергосистем от многих интегральных показателей, не позволяет обеспечить их абсолютную надежность, поэтому главное – не допустить развития локального инцидента до глобальной системной аварии. Важным условием обеспечения системной надежности является единство технологических процессов, их разработки и развития в реальном масштабе времени планирования и управления. Риски в электроэнергетике определяются, в частности, отставанием разработки методологической и нормативно-правовой базы обеспечения надежности от темпов реорганизации отрасли и потребностей рынка.

Не умаляя значения всех существующих организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение надежности, безопасности и минимизацию риска функционирования энергосистем, остановимся на частной, но важной проблеме моделирования и расчета системных показателей указанных свойств. Возможность получения таких моделей и показателей для реальных системных объектов принципиально необходима для выработки, обоснования и реализации эффективных управленческих решений по выполнению требований надежности, безопасности и минимизации рисков.

Однако до последнего времени указанные работы практически не проводились по той простой причине, что существующие ручные технологии были непригодны для моделирования и расчетов показателей НБР реальных структурно-сложных и высокоразмерных систем. Сейчас положение существенно меняется. В развитых странах мира, включая Российскую Федерацию, разрабатываются и находят все более широкое практическое применение теории, методы, программные средства и технологии, ориентированные на автоматизацию сложных и трудоемких процессов построения высокоразмерных математических моделей НБР реальных систем и расчетов соответствующих показателей [3–5].

Одной из последних отечественных разработок является создание программного комплекса



(ПК) АРБИТР (автоматизированный расчет безопасности и технического риска) [6, 7]. Научную основу этого комплекса составляют общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ), теория и технология автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ) [8–10]. Главные их отличия от ранее разработанных методов, технологий и программных комплексов аналогичного назначения, состоят в следующем.

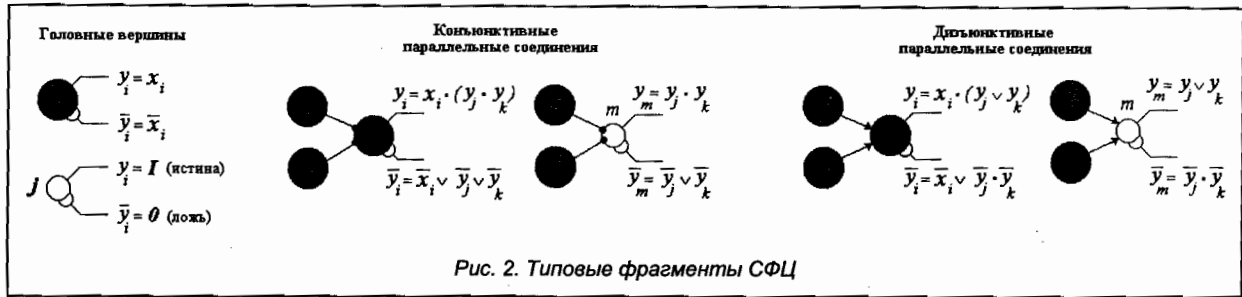
1. В ОЛВМ, технологии АСМ и ПК АРБИТР впервые реализованы все возможности алгебры логики (основного аппарата моделирования НБР систем) в функционально полном базисе операций «И» (конъюнкция), «ИЛИ» (дизъюнкция) и «НЕ» (инверсия, отрицание). Это позволяет строить как все известные виды монотонных, так и новый класс немонотонных моделей НБР структурно-сложных системных объектов и процессов.
2. В ОЛВМ разработан и используется во всех программных комплексах технологии АСМ, новый, логически универсальный аппарат графического представления структур исследуемых свойств НБР систем, названный схемой функциональной целостности (СФЦ) [8–10]. С помощью СФЦ представляются как все ранее используемые виды монотонных структурных схем систем (блок-схемы, графы связности, деревья отказов и деревья событий), так и принципиально новый класс немонотонных структурных моделей НБР. Немонотонные модели позволяют корректно учитывать, например, системные причины возникновения и воздействия поражающих факторов, условия работы средств противоаварийной защиты, варианты возникновения аварий с различными уровнями ущерба и другие противоречивые режимы работы сложных системных объектов.
3. Программные средства, реализующие технологию деревьев отказов [3–5], позволяют вычислять только приближенные значения

вероятностных показателей. Методы, технологии и программные комплексы АСМ [6] по построению ориентированы на реализацию точных методов моделирования и расчетов различных показателей НБР.

Основные графические символы, используемые в СФЦ [8–10], приведены на рисунке 1.

Методика применения аппарата СФЦ для построения структурных моделей различных свойств НБР систем подробно описана и проиллюстрирована примерами в [7–10] и в научно-исследовательской работе [11]. Эта методика подобна известным методикам построения блок-схем, графов связности с циклами, деревьев отказов и деревьев событий. Однако имеется ряд особенностей аппарата СФЦ, которые следует учитывать при практическом применении технологии АСМ и ПК АРБИТР.

- С помощью функциональных вершин i (рис. 1, п. 1) в разрабатываемой СФЦ могут представляться как исходы события безотказной (безаварийной) работы, так и противоположные исходы событий отказов (аварий) соответствующих элементов системы.
- С помощью дизъюнктивных и конъюнктивных дуг (рис. 1, п. 3, п. 4), исходящих из вершины i , в СФЦ представляются условия реализации (y_i) или нереализации (\bar{y}_i) выходной функции элемента i в системе. Впервые введенный в аппарат СФЦ инверсный выход представляет операцию «НЕ» (инвертирование), которая отсутствует в традиционных монотонных блок-схемах, графах связности и деревьях отказов.
- С помощью заходящих в вершину i дизъюнктивных дуг (оканчиваются стрелкой) и конъюнктивных дуг (оканчиваются точкой) в СФЦ представляются логические операции «ИЛИ» и «И» соответственно (рис. 1, п. 5). С помощью прямых и инверсных дуг, заходящих в вершину i , в СФЦ представляются моно-



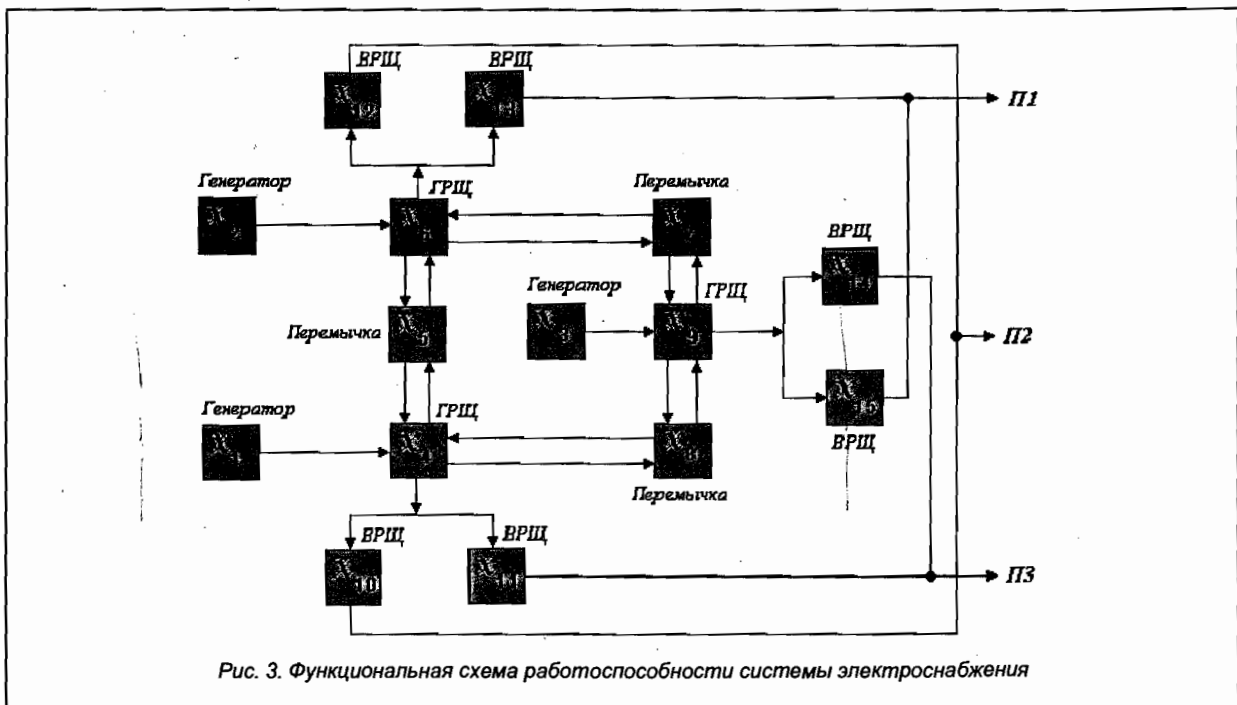
тонные и немонотонные логические условия реализации прямой выходной функции \bar{y}_i . На рисунке 2 изображены несколько простейших фрагментов СФЦ и соответствующие им логические условия реализации выходных функций.

Логическая полнота графического аппарата СФЦ позволяет с помощью простейших фрагментов представлять как все виды традиционных структурных моделей (блок-схемы, графы связности с циклами, деревья отказов и деревья событий), так и принципиально новый класс немонотонных структурных моделей систем. Это в полном объеме было подтверждено в НИР [11] и отчете о верификации комплекса АРБИТР [7].

На первых этапах применения технологии и программных комплексов АСМ, пользователь выбирает подход к моделированию и разрабатывает СФЦ для одного или нескольких свойств НБР исследуемой системы. Если выбирается прямой подход, то осуществляется разработка СФЦ работоспособности (безотказности, без-

аварийности) системы. При выборе обратного подхода строится СФЦ неработоспособности (отказа, возникновения аварийной ситуации или аварии) исследуемого объекта. Для построения немонотонной СФЦ в технологии АСМ используется комбинированный (смешанный) подход, при котором часть схемы строится на основе прямой, а другая часть схемы на основе обратной логики рассуждений.

Основные положения новой информационной технологии АСМ и возможности комплекса АРБИТР далее иллюстрируются несколькими примерами решения задач автоматизированного моделирования и расчета показателей НБР небольшой системы электроснабжения (СЭС), состоящей из 15 элементов (известная «Задача 35», разработанная основоположником отечественной школы логико-вероятностных методов И. А. Рябиным [12]). Исходная функциональная схема исследуемой СЭС приведена на рисунке 3.



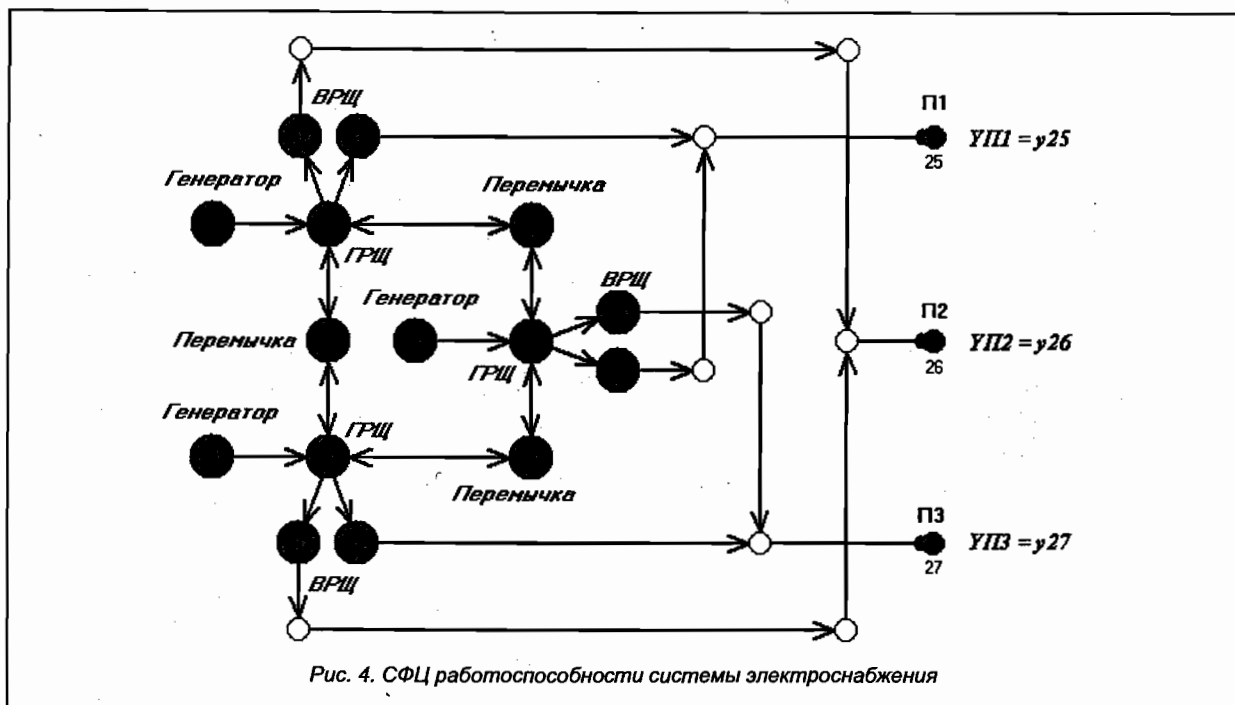


Рис. 4. СФЦ работоспособности системы электроснабжения

СЭС содержит три генератора электроэнергии (элементы 1, 2 и 3), кольцевую подсистему коммутации электроэнергии (элементы 4...9) и выходную подсистему (элементы 10...15) передачи электроэнергии трем потребителям (П1, П2 и П3).

1. Моделирование и расчет показателей надежности

В первом варианте решения задачи автоматизированного моделирования и расчета показателей надежности СЭС выбирается прямой подход. Это означает, что на этапе формализованной постановки задачи должна быть разработана СФЦ работоспособности исследуемой системы. Для этого каждый элемент СЭС $i=1,2,\dots,15$ представляется функциональной вершиной (рис. 1, п. 1), которая обозначает простое случайное событие X_i – сохранение его работоспособности на рассматриваемом интервале времени функционирования (наработки) системы. Затем, на основе анализа функциональной схемы СЭС (рис. 3), с помощью дизъюнктивных дуг Y_i (рис. 1, п. 3), в разрабатываемой СФЦ представляются логические условия реализации элементами и подсистемами выходных функций. Разработанная СФЦ работоспособности СЭС изображена на рисунке 4.

С помощью фиктивных вершин 25, 26 и 27 в СФЦ на рисунке 4 представлены логические условия $YП1 = y25$, $YП2 = y26$ и $YП3 = y27$ обеспечения СЭС электроэнергией отдельно каждого из трех потребителей – П1, П2 и П3 соответственно.

Как видно из рисунка 4, разработанная на основе прямого подхода СФЦ работоспособности СЭС подобна ее исходной функциональной схеме (рис. 3). Поэтому построение такой СФЦ не вызывает больших затруднений.

Второй вариант решения рассматриваемого примера основывается на обратном подходе к формализованной постановке задачи моделирования надежности СЭС. Это означает, что должна быть разработана СФЦ дерева отказов исследуемой системы. Для этого может без ограничений использоваться известная, и хорошо отработанная во многих странах, технология построения деревьев отказов. Она основывается на анализе исходной функциональной схемы работоспособности исследуемой системы (рис. 3) и выделении всех возможных минимальных сечений отказов (МСО). Эти МСО представляются с помощью графических средств аппарата СФЦ, приведенных на рисунке 1. Построенная таким способом СФЦ дерева отказов рассматриваемой СЭС изображена на рисунке 5.

На рисунке 5 серым цветом отмечены основные функциональные вершины, представляющие события безотказной работы элементов СЭС. Вершины белого цвета с такими же номерами являются дополнительными (размноженными). С помощью инверсных выходных дуг из основных и размноженных функциональных вершин, в СФЦ на рисунке 5 представлены события отказов соответствующих элементов СЭС. С помощью заходящих в фиктивные вершины конъюнктивных и дизъюнктивных дуг (ло-

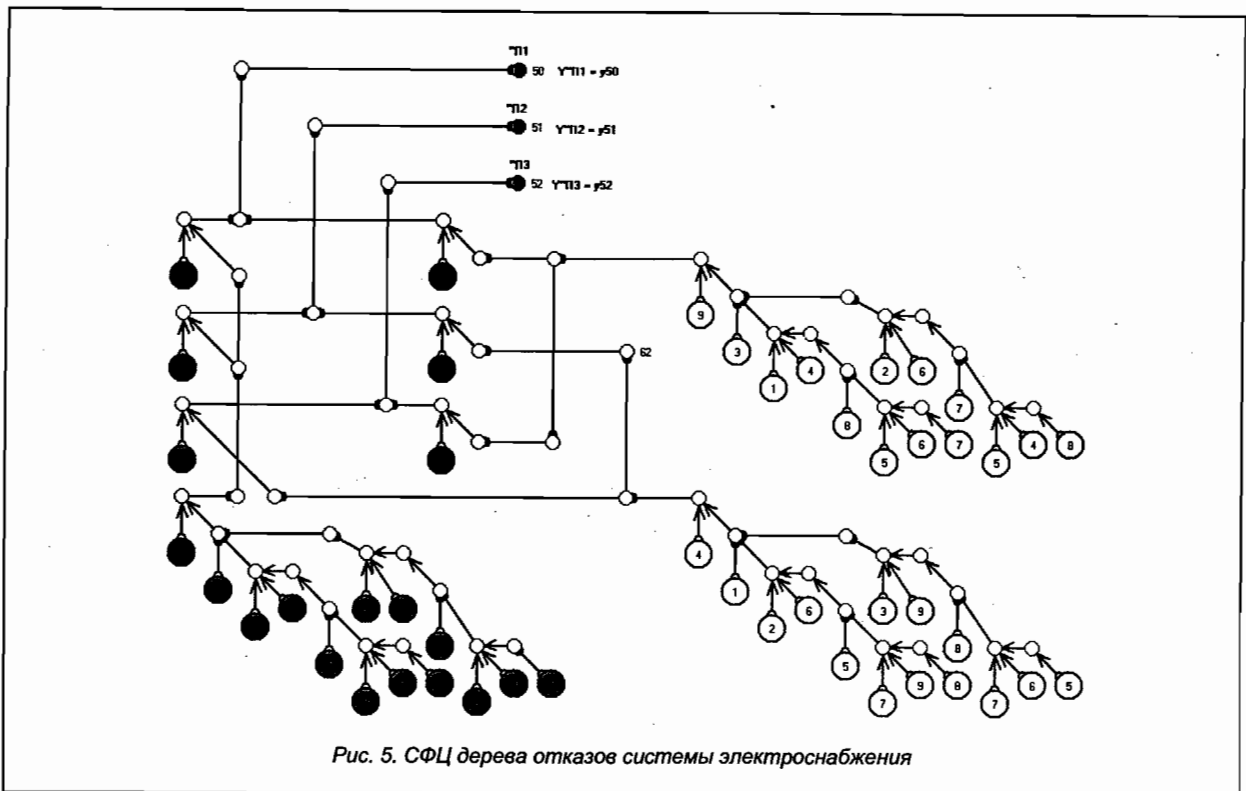


Рис. 5. СФЦ дерева отказов системы электроснабжения

гические операторы «И» и «ИЛИ») в СФЦ дерева отказов представлены все выделенные МСО, приводящие к необеспечению электропитанием трех потребителей ($Y^{ТП1} = y50$, $Y^{ТП2} = y51$ и $Y^{ТП3} = y52$) рассматриваемой СЭС.

Для завершения формализованной постановки задачи анализа надежности СЭС, после построения СФЦ, необходимо определить вероятностные параметры всех элементов и задать логические критерии реализации исследуемых свойств системы. В примере исследуется свойство безотказности СЭС сначала как невозстанавливаемой, а затем как восстанавливаемой системы на интервале времени работы (наработки) $t=1 \text{ год}=8760 \text{ час}$. Средние наработки до отказа и среднее время восстановления элементов СЭС считаются одинаковыми и равными, соответственно, $T_{oi}=2 \text{ года}$, $T_{вi}=24 \text{ часа}$, $i=1,2,\dots,15$.

В технологии АСМ на основе одной СФЦ можно решать множество различных задач моделирования и расчета системных показателей для разных режимов работы и использования исследуемого объекта. Эти режимы задаются с помощью так называемых логических критериев функционирования (ЛКФ). ЛКФ формулируется пользователем на основе подготовленной СФЦ и представляет собой запись $Y_j(\{y_i, \bar{y}_i\}, i=1,2,\dots,N)$ логического условия реализации такого системного события, веро-

ятностные и другие характеристики которого являются искомыми показателями исследуемого свойства НБР. В рассматриваемом примере для СФЦ работоспособности (рис. 4) и СФЦ отказа (рис. 5), можно задать ЛКФ, характеризующие надежность реализации и нереализации системой электроснабжения (СЭС) следующих двух режимов ее функционирования.

1. Обеспечение электроэнергией хотя бы одного из трех потребителей:

$$1.1. Y_1 = \overline{y25} \vee \overline{y26} \vee \overline{y27} \\ Y_1 = y50 \vee y51 \vee y52$$

– обеспечение хотя бы одного из трех потребителей;

$$1.2. Y_2 = y25 \cdot y26 \cdot y27 \\ Y_2 = y50 \cdot y51 \cdot y52$$

– необеспечение ни одного из трех потребителей;

2. Обеспечение электроэнергией всех трех потребителей:

$$2.1. Y_3 = \overline{y25} \cdot \overline{y26} \cdot \overline{y27} \\ Y_3 = y50 \cdot y51 \cdot y52$$

– обеспечение всех трех потребителей;

$$2.2. Y_4 = \overline{y25} \vee \overline{y26} \vee \overline{y27} \\ Y_4 = y50 \vee y51 \vee y52$$

– необеспечение всех трех потребителей.

Результаты автоматизированного моделирования и расчетов показателей надежности СЭС, полученные с помощью программного комплекса АРБИТР, приведены в таблице 1.

Решения, полученные на основе СФЦ работоспособности (рис. 4) и на основе СФЦ дерева

Таблица 1. Результаты моделирования и расчета надежности СЭС комплексом АРБИТР

№ Y _j	ЛКФ (СФЦ на рис. 4) (СФЦ на рис. 5)	Размер логической функции	Невосстанавливаемая СЭС	Восстанавливаемая СЭС
1	2	3	4	5
1.1	$\frac{y_{25} \vee y_{26} \vee y_{27}}{y_{50} \vee y_{51} \vee y_{52}}$	30 КПУФ	$P_c(8760) = 0.698707597683$ Тос = 1.523 [год]	КГс = 0.999999979551 Тос = 44680 [год] Твс = 8.0041 [час] $\lambda_c = 0.000022$ [1/год] Qc(8760) = 0.000022
1.2	$\frac{y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}}{y_{50} \cdot y_{51} \cdot y_{52}}$	27 МСО	$Q_c(8760) = 0.301292402317$	КНГс = 2.04488966814E-008
2.1	$\frac{y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}}{y_{50} \cdot y_{51} \cdot y_{52}}$	92 КПУФ	$P_c(8760) = 0.201540416714$ Тос = 0.6808 [год]	КГс = 0.999977576657 Тос = 61.14 [год] Твс = 12.009 [час] $\lambda_c = 0.016357$ [1/год] Qc(8760) = 0.016224
2.2	$\frac{y_{25} \vee y_{26} \vee y_{27}}{y_{50} \vee y_{51} \vee y_{52}}$	31 МСО	$Q_c(8760) = 0.798459583286$	КНГс = 2.2423343266E-005

отказов (рис. 5) исследуемой СЭС, полностью совпадают. В столбце 3 таблицы 1 приведены размеры автоматически сформированных АРБИТР логических функций реализации соответствующих критериев. В данном примере они представляют либо кратчайшие пути успешного функционирования (КПУФ) моделей работоспособности, либо минимальные сечения отказов (МСО) моделей отказов системы. В столбце 4 приведены результаты расчетов надежности невосстанавливаемой СЭС (P_c – вероятность безотказной работы, Тос – средняя наработка до отказа, Q_c – вероятность отказа). В столбце 5 приведены результаты расчетов надежности восстанавливаемой СЭС (КГс – коэффициент готовности, Тос – средняя наработка на отказ, Твс – среднее время восстановления, λ_c – интенсивность отказов, Q_c – вероятность отказа восстанавливаемой системы, КНГс – коэффициент неготовности). Состав указанных показателей соответствует ГОСТ по надежности технических систем и Правилам технической эксплуатации

электрических станций и сетей Российской Федерации [13].

Кроме указанных основных системных показателей надежности, с помощью комплекса АРБИТР определяется ряд дополнительных характеристик исследуемых систем. Наиболее важными из них представляются показатели роли элементов в обеспечении надежности системы в целом. Например, на рисунке 6 приведены вычисленные АРБИТР диаграммы положительных вкладов элементов в обеспечение безотказности первого (1.1) и второго (2.1) режимов функционирования невосстанавливаемой СЭС.

Положительные вклады показывают, насколько возрастет вероятность безотказной работы СЭС в целом, если вероятность безотказной работы одного элемента увеличить до 1.0. Из обеих диаграмм на рисунке 6 видно, что наибольший прирост надежности СЭС будет достигнут, если вложить средства в увеличение надежности главных распределительных щитов (ГРЩ 4, 6 или 9). Это – важная информация для

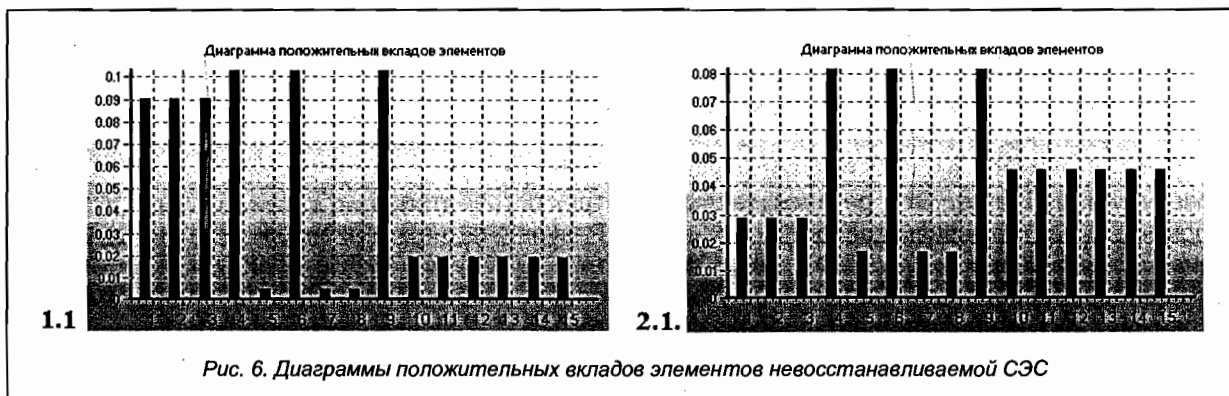


Таблица 2. Результаты моделирования и расчета технического риска СЭС комплексом АРБИТР*

№ Yj	ЛКФ (СФЦ на рис. 4)	Размер логической функции	Технический риск	Вклады элементов СЭС
1	2	3	4	5
1	$\overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$	27	0.301292402317	
2	$\overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$	102	0.199573505831	
3	$\overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$	177	0.297593675138	

выработки и обоснования наиболее эффективных решений, направленных на повышение надежности исследуемой системы.

Отметим, что обе разработанные структурные модели надежности СЭС (прямая на рис. 4 и обратная на рис. 5) являются эквивалентными, т. е. одинаково представляют свойство надежности исследуемой системы. Они без ограничений могут применяться в технологии АСМ и комплексе АРБИТР. Выбор прямого или обратного подхода к моделированию в технологии АСМ предоставляется пользователю. В рассмотренном примере (как и во многих других практических задачах) оказалось, что построить правильное дерево отказов (рис. 5) значительно труднее, чем разработать структурную модель работоспособности (рис. 4) исследуемой системы. Эта общая закономерность неоднократно подтверждена примерами в работах [7, 9, 10].

2. Моделирование и расчет показателей технического риска

В методических указаниях по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) понятие «технический риск» определено как вероятность отказа технических устройств системы с последствиями (потерями) определенного уровня (класса) [14]. Исследования показали, что корректный анализ этого свойства возможен только методами и средствами немонотонного логико-вероятностного моделирования и расчетов. Такими возможностями обладают ОЛВМ, технология и программные комплексы АСМ. Методику моде-

лирования и расчета показателей технического риска проиллюстрируем рассматриваемым примером анализа СЭС (рис 3 и 4). Полагаем, что к наиболее тяжелым последствиям (ущербам) приводят такие отказы элементов СЭС, в результате которых прекратится обеспечение электропитанием всех трех потребителей. Логический критерий этого события (для СФЦ на рис. 4) составляет

$$1. Y_1 = \overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$$

Средний уровень потерь определяется событиями, когда отказы элементов СЭС приводят к необеспечению электропитанием ровно двух из трех потребителей

$$2. Y_2 = \overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$$

Минимальный уровень потерь определяется событиями, когда отказы элементов СЭС приводят к необеспечению электропитанием ровно одного из трех потребителей

$$3. Y_3 = \overline{y_{25}} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}} \vee \vee y_{25} \cdot \overline{y_{26}} \cdot \overline{y_{27}}$$

В таблице 2 приведены результаты автоматизированного моделирования и расчетов технического риска СЭС, полученные с помощью АРБИТР на основе СФЦ, изображенной на рисунке 4 и заданных ЛКФ.

3. Моделирование и расчет ожидаемого ущерба

В методических указаниях по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) показатель «ожидаемый ущерб» определен как математическое

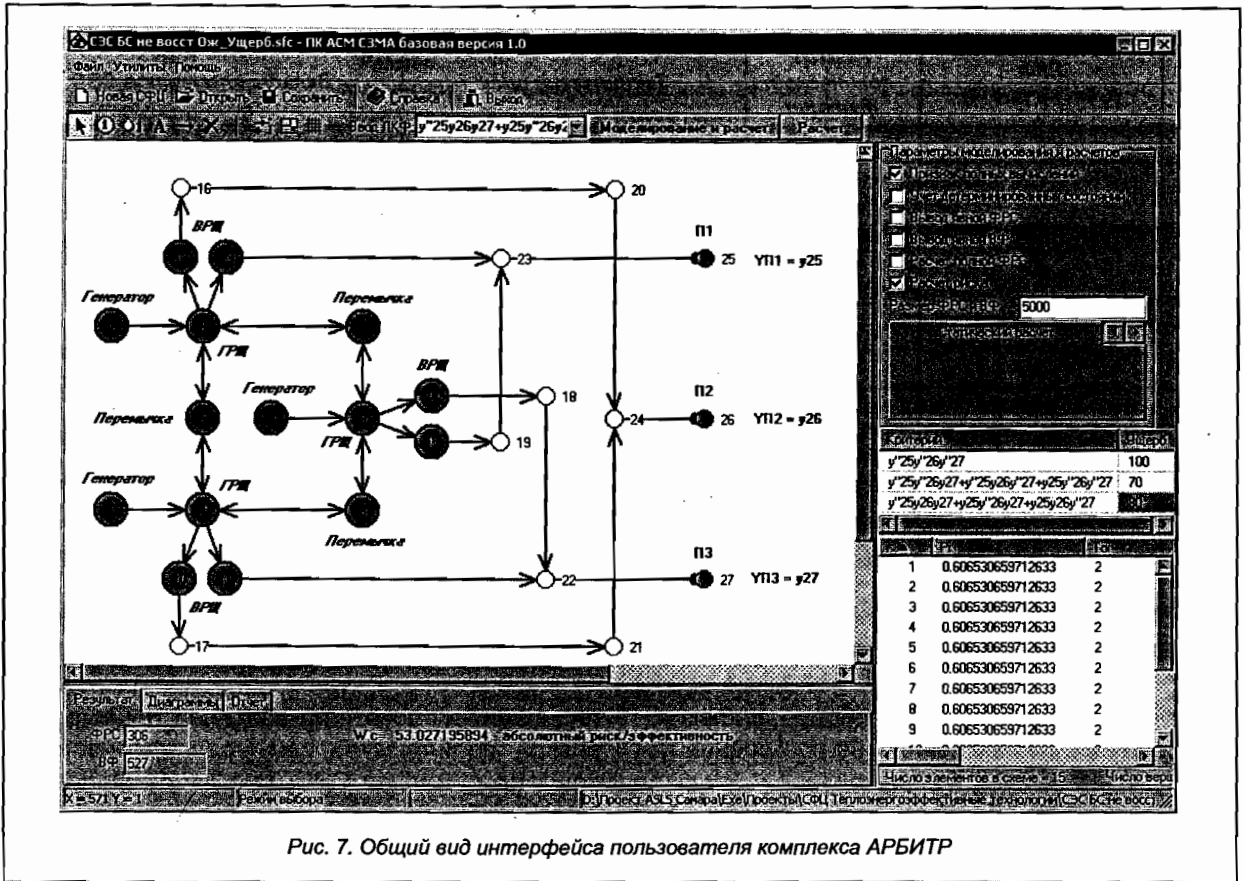


Рис. 7. Общий вид интерфейса пользователя комплекса АРБИТР

ожидание величины ущерба от возможной аварии [14]. Проиллюстрируем возможность и методику решения этого класса задач с помощью технологии АСМ и комплекса АРБИТР. Для этого необходимо дополнить условия анализа технического риска конкретными значениями E_1 потерь каждого уровня возможной аварии исследуемой системы. Для условий предыдущего примера анализа технического риска СЭС полагаем, что ущерб от тяжелой аварии ($Y_1 = y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}$) оценивается в $E_1 = 100$ у.е., ущерб от аварии среднего уровня ($Y_2 = y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27} \vee y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27} \vee y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}$) составляет $E_2 = 70$ у.е., а ущерб от аварии минимального уровня последствий ($Y_3 = y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27} \vee y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27} \vee y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}$) равен $E_3 = 30$ у.е.

Для моделирования и расчета ожидаемого ущерба с помощью комплекса АРБИТР задается комплексный логический критерий

$$W_c = E_1 \times p\{Y_1\} + E_2 \times p\{Y_2\} + E_3 \times p\{Y_3\}.$$

На рисунке 7 изображен общий вид интерфейса пользователя комплекса АРБИТР при выполнении автоматизированного моделирования и расчетов показателей ожидаемого ущерба СЭС, а в таблице 3 приведены основные полученные результаты.

Из диаграммы положительных вкладов следует, что к наибольшему снижению ожидаемого ущерба от возможных аварий приведут мероприятия, направленные на увеличение надежности элементов 4, 6 и 9 системы электроснабжения.

Таблица 3. Результаты моделирования и расчета ожидаемого ущерба СЭС комплексом АРБИТР

Размеры логической и вероятностной функций	Ожидаемый ущерб	Вклады элементов СЭС
306 конъюнкций 527 одночленов	53.027 уе	

Заключение

Изложенные в статье материалы показывают, что ОЛВМ, технология АСМ и программный комплекс АРБИТР позволяют выполнять автоматизированное моделирование и расчет показателей надежности, безопасности и риска структурно-сложных систем электроснабжения. В 2007 году комплекс АРБИТР успешно прошел экспертизу в Совете по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ и допущен к применению на объектах Ростехнадзора РФ. Программный комплекс позволяет осуществлять расчеты в соответствии с РД 34.20.501-95 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» [13] и «Положением о порядке получения статуса субъекта оптового рынка и ведения реестра субъектов оптового рынка» НП «АТС» от 01.11.2007 г. [15].

Продолжаются работы по совершенствованию и адаптации общего логико-вероятностного метода, технологии автоматизированного структурно-логического моделирования и комплекса АРБИТР к новым областям практического применения. С дополнительной информацией можно ознакомиться на сайте: <http://www.szma.com>.

Литература

1. Обеспечение безопасности и надежности ТЭК России. Механизмы обеспечения безопасности от угрозы техногенного характера. Выдержки из доклада руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору К. Б. Пуликовского на пленарном заседании V Всероссийского энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (3 апр. 2007 г.) // Энергонадзор-информ. – 2007. – № 2 (32). С. 2–5.
2. Электроснабжение Северо-Запада России в надежных руках. Интервью с генеральным директором ОДУ Северо-Запада В. И. Синявским // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2007. – № 1. – С. 3–6.
3. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 // Theory Manual. RELCON AB. – 1998. – 57 p. Дополнительно сайт: <http://www.riskspectrum.com/>
4. Программный комплекс «РИСК» (RISK). Сайт: www.insc.ru/PSA/risk.html.
5. Бахметьев А. М., Былов И. А., Милакова Ю. В. Отчет о научно-исследовательской работе «Верификация и обоснование программы CRISS 4.0 для моделирования и анализа систем безопасности ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности».
6. АРБИТР, «Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0». Автор: Можаяев А. С. Правообладатель: ОАО «СПИК СЗМА». Свидетельство об официальной регистрации № 2003611101 // М., РОСПАТЕНТ РФ. – 2003. Аттестационный паспорт № 222 от 21 февраля 2007 г., выдан Советом по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.
7. Можаяев А. С., Киселев А. В., Струков А. В., Скворцов М. С. Отчет о верификации программного средства «Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем» (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0, «АРБИТР»). Заключительная редакция с приложениями. – СПб.: ОАО «СПИК СЗМА». – 2007. – 1031 с.
8. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем: Учеб. пособие. – Л.: ВМА, 1988. – 68 с.
9. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, безопасности и риска сложных систем // Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. Часть I. Основы анализа и регулирования безопасности. – М.: Знание, 2006. – С. 153–197.
10. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод и технология моделирования безопасности сложных систем // Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть III. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. – М.: Знание, 2007. – С. 243–293.
11. ФГУП СПбЭАП, ОАО «СПИК СЗМА», (Санкт-Петербург), ИГУ РАН им. В. А. Трапезникова (г. Москва). НИР «Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования» (шифр «Технология 2004»), 2005. 282 с.
12. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб., 2007. – 278 с.
13. РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Приказ Минэнерго № 229 от 19.06.2003 г., (приказ Ростехнадзора РФ от 01.08.2006 г. № 738).
14. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Серия 3. Выпуск 10. М. Госгортехнадзор России, НТЦ «Промышленная безопасность». – 2001. – 60 с.
15. «Положение о порядке получения статуса субъекта оптового рынка и ведения реестра субъектов оптового рынка» НП «АТС» от 01.11.2007 г. (Приложение 11.1 Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электрической энергии (мощности). Технические требования).