

ЛОГИКО-ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ РАЗДЕЛЫ СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Поленин В.И., з.д.н. РФ, действ. член РАЕН, д.в.н., проф.,
Гладкова И.А., аспирант СПб ГПУ,
старший инженер-программист ОАО "СПИК СЗМА".

С развитием вычислительной техники появились и имеют историю глубиной в несколько десятков лет новые информационные технологии организованной сложности [1], предназначенные для решения задач с относительно большим количеством элементов и имеющие в своей основе отображение систем в виде ориентированных графов структурных взаимосвязей всех или основных элементов. Здесь можно назвать логико-вероятностный метод (ЛВМ), метод Байесовских сетей, методы сетевого планирования и др., которые базируются на вероятностной парадигме оценивания и прогноза состояния структурно-сложных систем. ЛВМ является стержнем всемирной научной школы И.А. Рябинина [2] и составляет основу таких зарубежных компьютерных систем вероятностного анализа структурно-сложных систем как Risk Spectrum (Швеция), Relax (США) и нескольких других. В России также создано ряд новых научно-технологических направлений структурного анализа сложных систем, среди которых безусловным лидером являются Общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [3, 4], теория, технология и программные комплексы автоматизированного структурного моделирования (ПК АСМ) [4, 8]. ОЛВМ является высшей формой и практической реализацией ЛВМ как в области технических, так и немонотонных, организационных систем, отражающих противоборство, конкурентную и вооруженную борьбу [4].

В последние годы началась активная разработка нового научного и практического направления – создания на базе ОЛВМ различных специализированных разделов логико-детерминированного метода (ЛДМ) анализа структурно-сложных систем различных видов классов и назначения [6].

В рамках данного научного сообщения остановимся кратко на полученных к настоящему времени результатах разработки двух специальных разделов ЛДМ - **логико-детерминированного метода учета достоверных последовательностей событий (ЛДМ ДПС)** в различных сетевых системах и **общего логико-физического метода (ОЛФМ)** анализа электрических цепей (ЭЦ) [9].

1. ЛДМ ДПС анализа потоков мощности в электрической сети (ЭС).

Результаты разработки ЛДМ ДПС [6, 11] рассматриваются на основе простого примера фрагмента ЭС из работы [10], схема и граф которой приведены на рис.1.

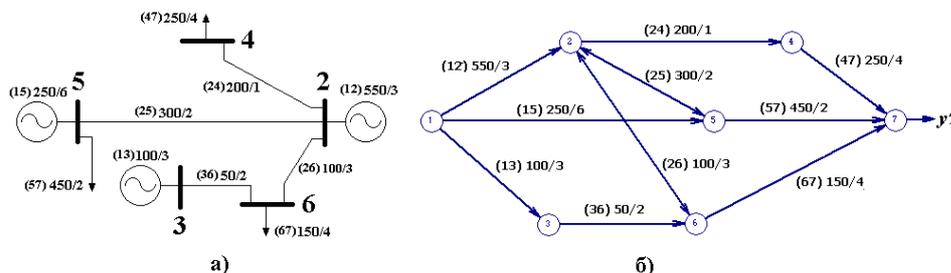


Рисунок 1. Схема а) и граф б) электрической сети

Записи параметров на рис.1 содержат следующую информацию:

- В круглых скобках указаны номера i элементов сети: 12, 13, 15 – источники (генераторы); 24, 25, 26, 36 – линии передачи; 47, 57, 67 – потребители электроэнергии;
- Справа от круглых скобок указаны значения $S_{don}(i)$ номинальных (допустимых) электрических мощностей (МВт) элементов ЭС – генерируемой (12, 13, 15) пропускной (24, 25, 26, 36) и потребляемой (47, 57, 67);
- За наклонной чертой указаны значения $z(i)$ сопротивлений (протяженности или стоимости [10]) элементов.

Основу разработанного ЛВМ ДПС составляет специальная модификация ОЛВМ системного анализа, которая включает в себя следующие основные новые положения:

- Методику построения схем функциональной целостности (СФЦ) с учетом реально существующих в сети достоверных последовательностей взаимного функционального обеспечения элементов;
- Новые правила алгебры логики, позволяющие корректно представлять в логических функциях работоспособности (ФРС) детерминированные последовательности событий;
- Новые правила универсального графоаналитического метода (УГМ) определения логических ФРС путем решения систем логических уравнений, представляющих СФЦ, с учетом детерминированных последовательностей событий;
- Новые методы минимизации последовательных логических ФРС;
- Методы построения расчетных математических моделей, позволяющих вычислять детерминированные потоковые характеристики сетевых системных объектов различных видов, классов и назначения.

Разработанные новые методы и методики ЛВМ ДПС алгоритмизированы и доведены до программной реализации в ПК АСМ 2001 и АРБИТР. С их помощью получены следующие результаты решения указанных задач рассматриваемого тестового примера (см. рис.1) анализа ЭС.

Детерминированный анализ ЭС предполагает решение группы из четырех взаимосвязанных классов задач.

1. **Задача 1.** Определение всех возможных элементарных путей (последовательностей) передачи электроэнергии от отдельных источников к отдельным потребителям и расчет номинальных значений показателей передаваемой мощности и сопротивления.

Автоматизированное моделирование всех вариантов элементарных путей (последовательностей) передачи электроэнергии от отдельных источников к отдельным потребителям ЭС, изображенной на рис.1, и расчет их детерминированных характеристик выполнено с помощью ПК АСМ на основе построенной СФЦ работоспособности ЭС и логического критерия y_7 . Результаты приведены на рис.2.

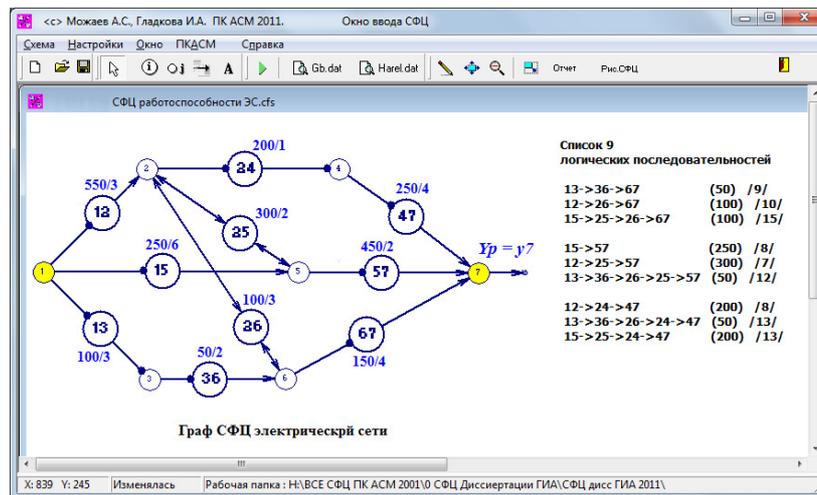


Рисунок 2. Результаты ЛДМ ДПР моделирования и расчета характеристик элементарных путей ЭС

В правой части рис.2 записаны девять логических последовательностей элементарных путей передачи электроэнергии от источников к потребителям, полученных с помощью ПК АСМ 2001, вычисленные значения номинальной передаваемой мощности (указаны в круглых скобках) и показатели сопротивлений каждого отдельного пути (указаны в наклонных скобках).

2. **Задача 2.** Определение всех минимальных разрезов ЭС, расчет показателей потоков мощности через отдельные сечения и определение максимального суммарного потока мощности, которая может быть передана потребителям по данной сети.

Решение этой задачи с помощью ПК АСМ 2001 осуществляется на основе той же СФЦ работоспособности ЭС по обратному критерию y^7 ее отказа. В результате определены (см. табл.1) восемнадцать возможных минимальных сечений отказов (МСО) ЭС и вычислены соответствующие значения пропускной мощности каждого из них.

Таблица 1. Состав МСО и соответствующие пропускные мощности сечений ЭС

№ i	МСО ЭС	Wi (МВт)	№ i	МСО ЭС	Wi(МВт)
1	x"13 x"12 x"15	900	10	x"57 x"26 x"24 x"13	850
2	x"36 x"12 x"15	850	11	x"36 x"57 x"26 x"24	800
3	x"67 x"26 x"12 x"15	1050	12	x"67 x"57 x"24	800
4	x"57 x"25 x"13 x"12	1400	13	x"47 x"26 x"25 x"13 x"15	1000
5	x"36 x"57 x"25 x"12	1350	14	x"36 x"47 x"26 x"25 x"15	950
6	x"67 x"57 x"26 x"25 x"12	1550	15	x"67 x"47 x"25 x"15	950
7	x"26 x"25 x"24 x"13 x"15	950	16	x"57 x"47 x"26 x"13	900
8	x"36 x"26 x"25 x"24 x"15	900	17	x"36 x"57 x"47 x"26	850
9	x"67 x"25 x"24 x"15	900	18	x"67 x"57 x"47	850

Минимальные значения вычисленных мощностей сечений №11 и №12 (в табл.1 выделены) составляют

$$W_{max}=800 \text{ МВт}. \tag{1}$$

Оно характеризует номинальную мощность, которая в рассматриваемой ЭС может быть передана потребителям, при оптимальной организации распределения ее передачи по элементам.

3. **Задача 3.** Моделирование заданного варианта структурной организации ЭС и расчет показателей мощности, передаваемой потребителям.

Рассматриваемый вариант структурной организации ЭС представлен СФЦ на рис.3.

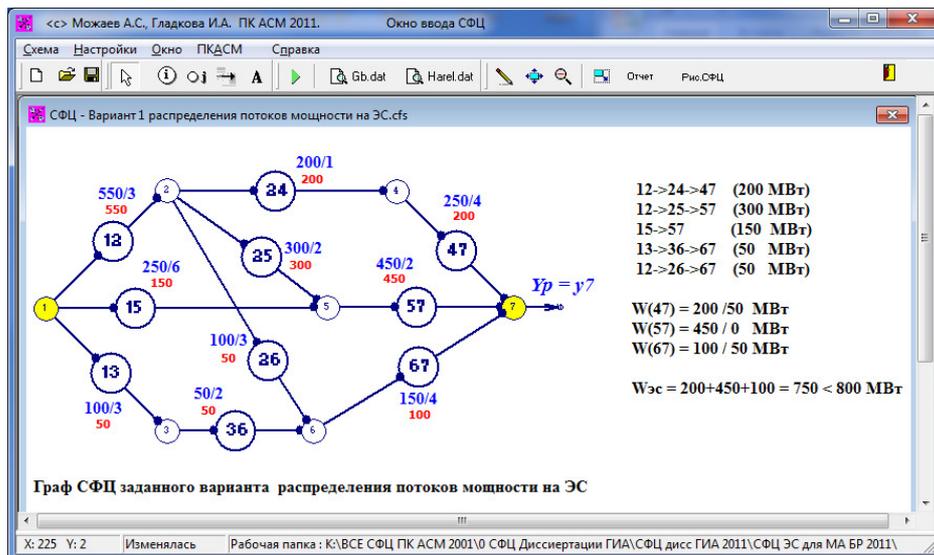


Рисунок 3. Результаты ЛДМ ДПР и расчета характеристик ЭС для заданного варианта распределения мощности по элементам

Решение задач данного класса предусматривает учет заданной структуры ЭС и заданных рабочих значений параметров мощности элементов, которые в совокупности определяющих рассматриваемый вариант организации передачи электроэнергии потребителям. Заданные значения рабочих мощностей элементов указаны на рис.3 СФЦ ЭС в нижней части записи нормативных параметров.

В правой части рис.3 приведена логическая ФРС данной ЭС, полученная с помощью ПК АСМ 2001 и состоящая из одной последовательной конъюнкции, состоящей из пяти параллельных путей передачи мощности от источников (12, 15, 13) потребителям (47, 57, 67). На основе этой ФРС построены расчетные модели и вычислены следующие показатели:

- Раздельные мощности, передаваемые потребителям по каждому отдельному пути (указаны в круглых скобках);
- Суммарные мощности $W(i)$, передаваемые отдельным потребителям;
- Суммарная мощность $W_{эс}$ обеспечения потребителей в заданном варианте ее распределения по элементам ЭС, которая составляет

$$W_{эс} = W(47) + W(57) + W(67) = 750 \text{ МВт.} \quad (2)$$

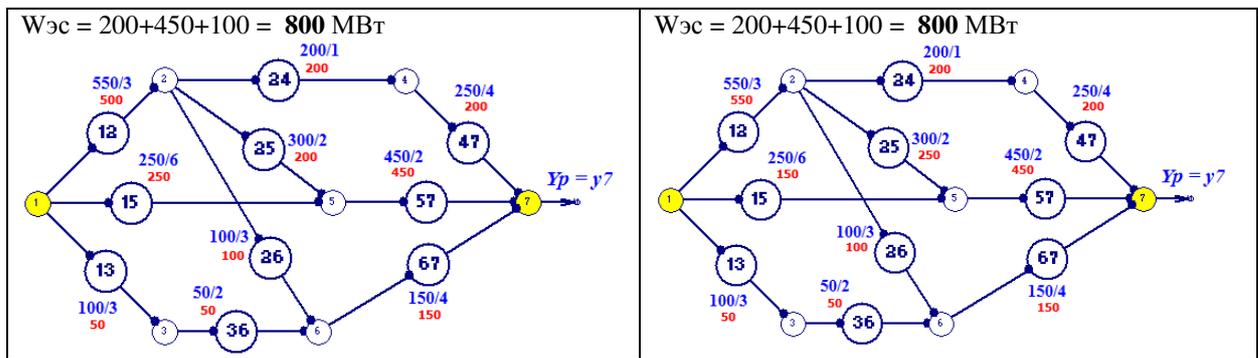
Значение (2) меньше вычисленного ранее номинального значения (1), что говорит о том, что заданные в Задаче 3 (см. рис.2) структура и распределение рабочих мощностей по элементам ЭС не являются оптимальными.

4. Задача 4. Нахождение оптимальных вариантов структурной организации передачи мощности потребителям ЭС.

Разработанный в ЛДМ ДПС метод структурно-параметрической оптимизации (СПО) позволил найти следующие два граничных оптимальных (по критерию $W_{эс} = 800$ МВт) варианта распределения потоков мощности в рассматриваемой ЭС.

Таблица 2. Варианты оптимальных распределений потоков мощности в ЭС

Вариант 1	Вариант 2
12→24→47 (200 МВт)	12→24→47 (200 МВт)
12→25→57 (200 МВт)	12→25→57 (250 МВт)
15→57 (250 МВт)	15→57 (150 МВт)
13→36→67 (50 МВт)	13→36→67 (50 МВт)
12→26→67 (100 МВт)	12→26→67 (100 МВт)
W(47) = 200 / 50 МВт	W(47) = 200 / 50 МВт
W(57) = 450 / 0 МВт	W(57) = 450 / 0 МВт
W(67) = 150 / 0 МВт	W(67) = 150 / 0 МВт



Разработанные методы, алгоритмы и программы ЛДМ ДПР и СПО могут использоваться как на этапах исследования и проектирования структурно-сложных сетевых систем, для выработки и обоснования научных и проектных решений, так на этапах эксплуатации в системах мониторинга рисков последствий возникновения аварийных ситуаций и аварий систем опасных производственных объектов [11].

2. К созданию общего логико-физического метода (ОЛФМ): микро- и макроуровни

В ОЛДМ с помощью СФЦ отображаются структурные схемы реализации не вероятностных, а одного из физических свойств системы, соответствующих ее предназначению. В этом проявляется различие ОЛВМ и ОЛДМ. Но при этом выбранное целевое физическое свойство является и единственным в модельном представлении, отображающим систему, а именно ее элементы и межэлементные связи, только по этому свойству.

Вместе с тем, физически различные технические системы – электрическая, механическая, тепловая, гидравлическая или пневматическая – характеризуются влиянием и взаимосвязью нескольких параметров. Так, каждый элемент электрической системы обладает внутренними характеристиками типа сопротивления, емкости и индуктивности, идеальных источников электрического напряжения и электрического тока, а межэлементные связи – потенциальными или потоковыми параметрами напряжения и силы тока.

Возникает вопрос: если в ОЛВМ и ОЛДМ вероятностное или детерминированное пространство сочетается с логическим анализом структурно-сложной системы относительно одного параметра, то не является ли возможным и подобным вариант построения общего логико-физического метода (ОЛФМ) моделирования структурно-сложных технических систем с векторными параметрами, имеющими межкомпонентную зависимость, подчиняющуюся соответствующим физическим закономерностям, например, электрических систем?

Если такая возможность существует, то для ее реализации необходимо и достаточно:

- научиться осуществлять декомпозицию системы на отдельные типовые физические элементы и осуществлять, с применением соответствующей физической теории, расчет параметров на выходе этих элементов с известными (заданными) внутренними характеристиками и потенциальными или потоковыми параметрами как систем организованной простоты;

- отобразить структурно-сложную техническую систему с помощью ориентированного графа, связывающего типовые элементы;

- перейти к рассмотрению всей структурно-сложной технической системы как целого, являющейся структурной композицией ее физических элементов, и воспользоваться аппаратом логического вывода ОЛВМ и ОЛДМ для структурно-сложной системы для вычисления частных и комплексных системных характеристик.

Адекватность таких физических моделей технических систем будет определяться:

– адекватностью декомпозиции технической системы и отображения физической сущности элементов – отдельных элементов, сечений и фрагментов как систем организованной простоты;

– адекватностью отображения физической сущности структурных связей элементов и структурного объединения поэлементных характеристик в СФЦ структурно-сложной технической системы.

Корректность расчетных характеристик на выходе любого элемента и выходных характеристик структурно-сложной технической системы в целом определяется:

– корректностью физического расчета, с применением соответствующей физической теории, выходных параметров элементов как систем организованной простоты по заданным характеристикам самих элементов и потенциальны или потоковых параметров межэлементных связей;

– корректностью расчета параметров логико-физического расчета физических частных и комплексных системных характеристик структурно-сложной технической системы в целом.

Из указанных компонентов адекватности и корректности проблематичными являются только те из них, которые связаны с физической сущностью модели. Корректность расчета параметров логического вывода выходных характеристик структурно-сложной технической системы в целом достигнута в ОЛВМ, ОЛДМ и ПК АСМ, и проблематичной не является.

Согласно [7], при математическом моделировании технического устройства, в котором протекают процессы различной физической природы, необходимо, прежде всего, для каждого из таких процессов выделить типовые элементы, образующие однородную по физическим свойствам систему: электрическую, механическую, тепловую, гидравлическую или пневматическую. Взаимодействие элементов в каждой из систем должно быть отражено в ее расчетной схеме (РС).

При переходе от РС сложной системы, состоящей из большого числа взаимосвязанных между собой типовых элементов, к ее математической модели (ММ) макроуровня удобно оперировать эквивалентными схемами, основанными на аналогиях между ММ элементов, принадлежащих различным техническим системам. При этом предпочтительнее привлекать аналогии между электрической системой и другими техническими системами. Эти аналогии позволяют при получении ММ таких систем применять достаточно универсальные приемы построения ММ электрических систем, формализованные с использованием законов Кирхгофа и ориентированных графов.

Под эквивалентной схемой электрической системы, состоящей из типовых элементов, понимают их условное изображение в виде **пассивных электрических двухполюсников** и **связей** между этими двухполюсниками. Типовыми двухполюсниками являются: резистор, конденсатор без потерь заряда и индуктивная катушка без сопротивления, а также идеальные источники электрического напряжения и электрического тока. Среди простейших типовых элементов иной физической природы (механической, тепловой, гидравлической, пневматической) существуют элементы со свойствами, аналогичными свойствам указанных электрических двухполюсников.

Внешние и **выходные** параметры, характеризующие состояние каждого такого элемента, имеют смысл потенциалов и потоков физических субстанций (например, электрическая разность потенциалов, сила тока), которые называются **потенциальными** или **потоковыми** параметрами.

Упомянутая выше задача расчета, с применением соответствующей физической теории, параметров на выходе типовых элементов с известными (заданными) внутренними характеристиками и потенциальными или потоковыми параметрами как систем организованной простоты, иллюстрируется примером ММ резистора, описывающей протекание через него электрического тока:

$$\Delta U = IR . \quad (1)$$

Это – хорошо известная формула закона Ома. Здесь R – сопротивление резистора или $g = 1/R$ – проводимость резистора – внутренняя характеристика элемента, $\Delta U, I$ – падение напряжения на резисторе и сила тока – потенциальные или потоковые параметры.

Так как математические модели макроуровня типовых элементов различных технических систем совпадают по форме с ММ электрических двухполюсников, то при построении эквивалентных схем обычно используют обозначения, характерные для электрических систем. Эквивалентную схему в виде электрической цепи, объединяющей двухполюсники, можно считать наглядным представлением структурной математической модели рассматриваемой системы.

При построении ММ электрической системы, входящие в эту систему типовые элементы (резисторы, конденсаторы и индуктивные катушки) объединяют, применяя к эквивалентной схеме законы Кирхгофа. Первый из них устанавливает равенство нулю алгебраической суммы мгновенных значений силы тока во всех ветвях электрической цепи, имеющих общий узел, а второй – равенство нулю алгебраической суммы мгновенных значений падений напряжения при обходе любого контура электрической цепи в любом направлении.

Использование законов Кирхгофа иллюстрируется простым примером электрической цепи [7], включающей источник, задающий переменное (в общем случае) во времени t напряжение ΔU^* , резистор сопротивлением R , конденсатор емкостью C и катушку индуктивностью L (рис. 2, а).

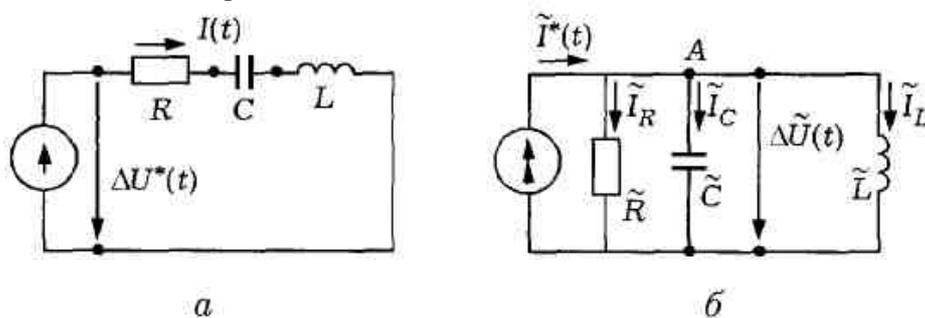


Рис. 2. Пример электрической цепи

Эта цепь состоит из одного замкнутого контура и четырех ветвей, в каждую из которых включен один из указанных двухполюсников. Применяя к каждому из узлов этой цепи первый закон Кирхгофа, приходят к выводу о том, что в любой момент времени сила электрического тока во всех ветвях одинакова. Для падений электрического напряжения на пассивных двухполюсниках имеем

$$\Delta U_R = IR, \quad \Delta U_C = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I dt, \quad \Delta U_L = L \frac{dI}{dt}, \quad (2)$$

где t_0 – некоторый момент времени, принятый за начальный.

При обходе замкнутого контура по ходу часовой стрелки в соответствии со вторым законом Кирхгофа имеет место:

$$-\Delta U^*(t) + \Delta U_R + \Delta U_C + \Delta U_L = 0. \quad (3)$$

С учетом (1) следует требуемый результат закономерной связи параметров на двухполюснике

$$RI + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t I dt + L \frac{dI}{dt} = \Delta U^*(t). \quad (4)$$

В качестве второго примера, дающего ключ к декомпозиции рассмотренной ММ, рассматривается электрическая цепь, включающая, наряду с пассивными двухполюсниками, источник, задающий по определенному закону $\tilde{I}^*(t)$ силу тока (рис.

2,б). Из второго закона Кирхгофа следует, что падение напряжения ΔU в каждой из ветвей этой цепи в любой фиксированный момент времени t одинаково. Для токов в ветвях, содержащих пассивные двухполюсники, имеет место

$$\tilde{I}_R = \tilde{g}\Delta\tilde{U}, \quad \tilde{I}_C = \tilde{C}\frac{d\Delta\tilde{U}}{dt}, \quad \tilde{I}_L = \frac{1}{\tilde{L}}\int_{t_0}^t \Delta\tilde{U} dt, \quad (5)$$

где $\tilde{g} = 1/\tilde{R}$.

Все ветви этой цепи сходятся в два узла. Применяя первый закон Кирхгофа к одному из узлов (например, к узлу A), получим

$$\tilde{I}_R + \tilde{I}_C + \tilde{I}_L - \tilde{I}^*(t) = 0, \quad (6)$$

или, учитывая (4), иную форму требуемого результата закономерной связи параметров на двухполюснике

$$\tilde{g}\Delta\tilde{U} + \tilde{C}\frac{d\Delta\tilde{U}}{dt} + \frac{1}{\tilde{L}}\int_{t_0}^t \Delta\tilde{U} dt = \tilde{I}^*(t). \quad (7)$$

Таким образом, ММ рассмотренных электрических цепей включают идентичные по форме уравнения (4) и (7), содержащие, помимо времени, различные величины (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие между этими величинами в электрических цепях

I	L	R	C	ΔU_R	ΔU_C	ΔU_L	$\Delta U^*(t)$
$\tilde{\Delta U}$	\tilde{C}	\tilde{g}	\tilde{L}	\tilde{I}_R	\tilde{I}_L	\tilde{I}_C	$\tilde{I}^*(t)$

Две электрические цепи, ММ которых удовлетворяют указанному соответствию величин, принято называть **дуальными** [7]. При этом зависимости (2) для падений напряжений на пассивных двухполюсниках в одной цепи аналогичны зависимостям (5) для токов, протекающих через такие двухполюсники в дуальной цепи, и наоборот. В дуальных цепях связь между законами изменения напряжения и силы тока источников подчиняется зависимости (Ома) при выполнении условий

$$\frac{R}{\tilde{g}} = \frac{\tilde{L}}{C} = \frac{L}{\tilde{C}} = R_0^2. \quad (8)$$

Правила преобразования сложных электрических цепей в дуальные можно найти в [9, 10]. При этом число узлов дуальной цепи на единицу превышает число простых замкнутых контуров исходной цепи.

Проверкой правильности преобразования цепи в дуальную служит получение исходной цепи путем построения дуальной цепи по отношению к дуальной. Дуальность электрических цепей позволяет расширить возможности построения и преобразования эквивалентных схем применительно к различным физическим системам.

4. К созданию ОЛФМ: формализация построения математической модели сложной системы

Математическую модель технической системы, состоящей из небольшого числа типовых элементов, нетрудно построить на основе эквивалентной схемы этой системы путем непосредственного применения к такой схеме законов Кирхгофа.

Для сложной системы, состоящей из большого числа элементов, удобно от эквивалентной схемы перейти к связному ориентированному графу. При этом узлы эквивалентной схемы соответствуют вершинам графа, а ее ветви — его ребрам. На первом этапе необходимо каждой ветви эквивалентной схемы дать произвольное, но вполне определенное направление. Пусть задана эквивалентная схема, представленная ниже (рис. 4).

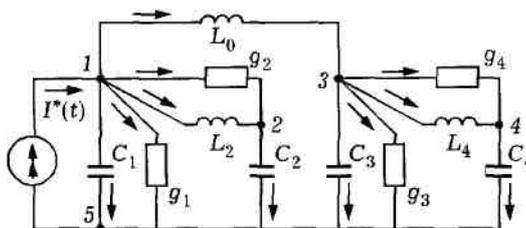


Рис. 3. Пример электрической цепи

Тогда соответствующий связный ориентированный граф имеет следующий вид.

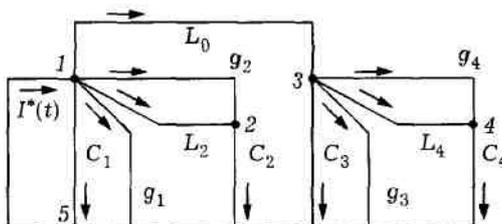


Рис. 4. Эквивалентный ориентированный граф

Номера вершин ориентированного графа совпадают с номерами узлов исходной эквивалентной схемы, а обозначения дуг – с обозначением типовых элементов в ее ветвях.

Ориентированный граф, соответствующий эквивалентной схеме технической системы и представленный в виде рисунка, является удобным и наглядным средством визуализации связей между элементами этой системы.

Для отражения этих связей в алгоритме построения ММ системы, необходимо перейти к формализованному представлению ориентированного графа в виде матрицы инцидентий, что является внутренней операцией ОЛВМ и ПК АСМ.

Таким образом, имеются все необходимые формальные основания для утверждения о том, что технология решения структурно-сложных задач с помощью алгебры логики, разработанная и реализованная в ОЛВМ и ПК АСМ на основе вероятностной парадигмы, может быть применена и для модельного представления потенциально-поточковых структурно-сложных детерминистских технических систем различной физической природы – электрических, механических, тепловых, гидравлических и пневматических.

Это утверждение является, с момента его публикации, заявкой на создание новой информационной технологии – Общего логико-физического метода (ОЛФМ) моделирования потенциально-поточковых структурно-сложных детерминистских технических систем – электрических, механических, тепловых, гидравлических и пневматических.

5. Значимость создания ОЛФМ для теории и практики

Особенность моделирования физических систем с применением ОЛВМ и ПК АСМ состоит в том, что на пользователя-исследователя возлагается только задача составления СФЦ системы, и задания ее характеристик. Расчет системных характеристик осуществляется автоматически, без участия пользователя. При этом гарантируется корректность выполненных расчетов и адекватность результатов составленной структурной схеме.

Поэтому можно ожидать, что в случае успеха в создании новой информационной технологии ОЛФМ будет совершен качественный прорыв в теории и практике исследований и расчетного обоснования физических систем, позволяющий перейти от задач организованной простоты к задачам организованной сложности, обеспечивая адекватный и корректный расчет больших и структурно сложных систем электро- и

водоснабжения, что составляет решение громадного слоя урбанистических проблем современности.

Литература

1. Дж. Клир. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. – М.: «Радио и связь», 1990. – 544 с.
2. Рябинин И. А., Черкесов Г. Н. Логико–вероятностные методы исследования надежности структурно–сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
3. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, безопасности и риска сложных систем. // Многотомное издание «Безопасность России». Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. – М.: МГФ «Знание», 2006. – 640 с. (с. 153-197).
4. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства // Монография, научное издание / В.И. Поленин, И.А. Рябинин, С.К. Свирин, И.А. Гладкова. Под ред. А.С. Можаяева. – СПб: СПб-региональное отделение РАЕН, 2011. – 416 с.
5. 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 // 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. – М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
6. Гладкова И.А. Детерминированные разделы общего логико-вероятностного метода. //Труды Международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (МА БР – 2010). – СПб: ГУАП, 2010. С. 453-460.
7. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с.
8. Можаяев А.С., Гладкова И.А. "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем ПК АСМ 2001". Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003, - 1 с.
9. Поленин В.И., Гладкова И.А. (2010) Общий логико-вероятностный, общий логико-детерминированный и общий логико-физический методы анализа систем. // Материалы международного конгресса «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов». Том 2. Научно-практическая конференция «Инфокоммуникации в решении задач тысячелетия», Санкт-Петербург. 12-13 ноября 2010 г. // СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2010, с. 250-261.
10. Гук Ю.Б., Карпов В.В. Теория надежности в электроэнергетике. Конспект лекций. СПб.: Государственный технический университет, 1999. – 82 с.
11. Гладкова И.А. Основные положения детерминированного ОЛВМ анализа безопасности и эффективности систем. // РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК. Труды тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ И БЕЗОПАСНОСТИ», Том 4. Секция Ленинградского областного регионального отделения Общероссийской общественной организации «Российское научное общество анализа риска», 5 - 8 апреля 2010 года. Санкт-Петербург, НПО Специальных материалов, - 2010, – с. 505-509.

