

## Информационные и интеллектуальные технологии

УДК 519.86

DOI:10.25729/ESI.2023.31.3.001

### Методологические аспекты выявления ошибок в процессах управления инженерными сетями

Калянов Георгий Николаевич, Лукинова Ольга Васильевна

Институт проблем управления им. Трапезникова РАН,  
Россия, Москва, *kalyanov@mail.ru*

**Аннотация.** В работе предложен подход к управлению функционированием инженерной сети на основе интеграции структурных моделей управляющих процессов ресурсно-снабжающей организации и графовой модели самой сети. Особенность подхода заключается в том, что оценивается ущерб при авариях инженерных сетей, возникающий при ошибках в управляющих процессах ресурсно-снабжающей организации. Решается задача поиска ошибок в процессах, причем как статических, возникающих при проектировании процессов, так и в режиме их функционирования, т.е. динамических.

**Ключевые слова:** инженерная сеть, ресурсно-снабжающая организация, смешанный граф, ошибка в потоках данных, тестирование, статический анализ, динамический анализ

**Цитирование:** Калянов Г.Н. Методологические аспекты выявления ошибок в процессах управления инженерными сетями / Г.Н. Калянов, О.В. Лукинова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 3(31). – С. 05-14. – DOI:10.25729/ESI.2023.31.3.001.

**Введение.** Инженерные сети предназначены для обеспечения потребителей различными ресурсами: водой, теплом, электричеством и др. Нарушение функционирования таких сетей вследствие различных аварийных ситуаций может принести существенный ущерб потребителям. Поэтому актуальной является задача управления функционированием сети, а именно реализация двух основных управляющих процессов (далее – бизнес-процессов [1]): эксплуатации сети (прежде всего, проведение планового технического обслуживания) и ремонта сети (восстановление функционирования сети после различного рода аварий). Именно аварии инициируют наиболее существенный ущерб, который необходимо свести к минимуму. При этом на преодоление последствий аварии напрямую влияет качество процессов управления инженерной сетью. Ошибки в процессах управления могут привести (и, как правило, приводят) к серьезным негативным последствиям.

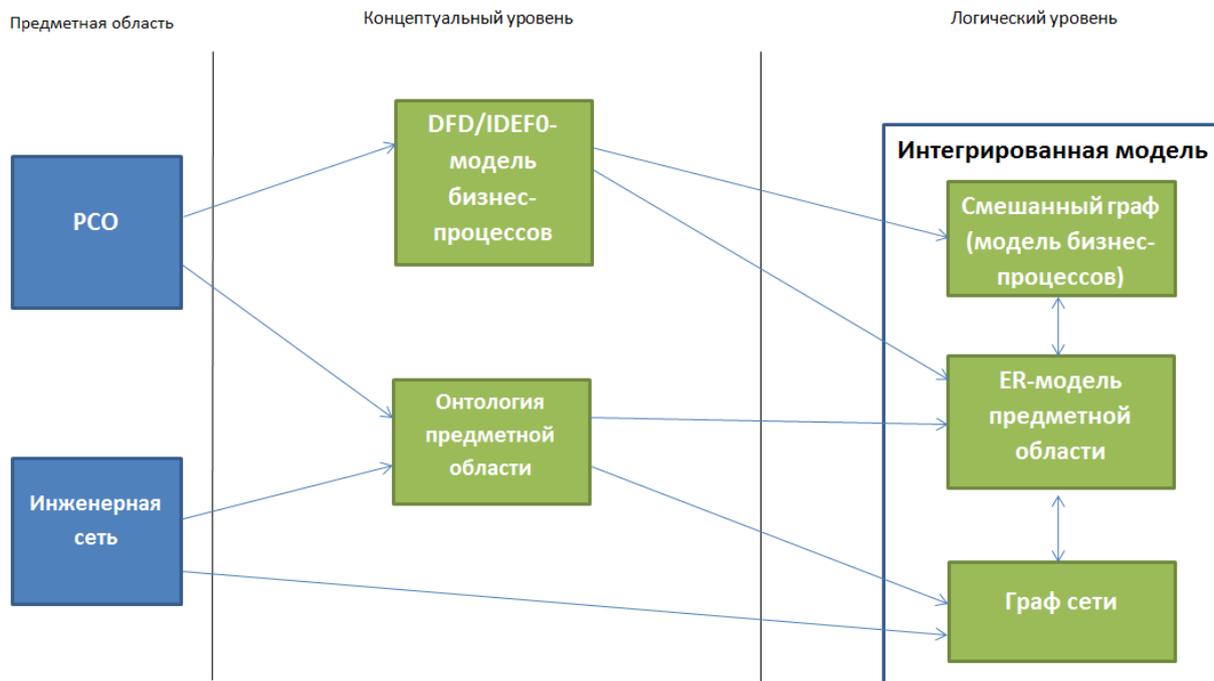
В работе выделяется и исследуется класс ошибок в процессах управления, получивших название «ошибки в потоках данных». Для обнаружения ошибок данного класса предлагается использование комплекса методов верификации процессов управления, а именно:

- метод статического анализа процессов управления, позволяющий обнаруживать различные типы «грубых» ошибок при исследовании графа процесса;
- метод генерации множества тестовых маршрутов (вариантов процесса управления), в совокупности гарантирующих обнаружение ошибок в потоках данных, а также позволяющих обнаруживать ошибки, выявление которых осуществляется известными методами тестирования, базирующимися на покрытии графа процесса;
- метод разбиения входных данных об авариях в сетях на «обнаруживающие подобласти», позволяющий сгенерировать множество входных тестов;
- метод динамического анализа вариантов процесса управления, позволяющий обнаруживать различные типы «тонких» ошибок при исследовании графа процесса.

Предлагаемый комплекс методов верификации позволит осуществлять более детальный анализ функционирования инженерной сети, а также расширить номенклатуру аналитических и прогнозных процедур. В частности, результатом такого анализа может быть уменьшение

стоимости ремонтов сетевых объектов, выявление критических для функционирования инфраструктуры элементов, оценка потенциального ущерба от аварий различных типов.

**1. Интегрированная модель объекта и бизнес-процесса.** В основе предлагаемого в данной работе методологического подхода лежит комплексный анализ моделей процессов управления инженерной сетью. В качестве примера инженерной сети будем рассматривать тепловые сети. На рис. 1 приведена схема моделирования предметной области, включающей в себя тепловую инженерную сеть в качестве объекта управления и ресурсо-снабжающую организацию (PCO) в качестве управляющей системы.



**Рис. 1.** Схема моделирования предметной области

Моделирование предметной области включает два этапа – построение концептуальных и логических моделей, соответственно. На концептуальном уровне строится функциональная модель процессов эксплуатации и ремонта с использованием одного из наиболее популярных языков визуального моделирования IDEF0 или DFD [2-4], а также онтология предметной области [5]. На логическом уровне строятся три компонента интегрированной модели, служащей основой для анализа и верификации процессов управления инженерной сетью: графовая (функциональная) модель бизнес-процессов, информационная модель предметной области с использованием диаграмм «сущность-связь» (ER-модель) [2, 3], а также графовая модель инженерной сети.

Предлагаемая функциональная модель бизнес-процесса описывается на языке смешанных графов, является многоуровневой и включает в себя 3 взаимосвязанные компоненты: организационно-штатную структуру PCO, собственно модель бизнес-процесса, а также данные об обеспечивающих ресурсах различного вида (материальные, людские и т.п.). В качестве входной информации при построении графа используется модель бизнес-процессов PCO в виде иерархии DFD-диаграмм или IDEF0-диаграмм (при этом нет ограничений на использование какого-либо другого языка визуального функционального моделирования). Данная иерархическая модель преобразуется в прототип одноуровневого графа, который далее дорабатывается вручную. Ручная доработка графа заключается в идентификации участков, которые могут выполняться параллельно, идентификации возможных вариантов продолжения (т.е. выбора бизнес-функции и указания ее возможных управляющих связей) и т.п.

Определим формально многоуровневую модель бизнес-процесса [6].

Нижний уровень модели содержит информационные объекты (ИО), представляемые с помощью кортежей  $D_i(a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^n)$ , где  $D_i$  – идентификатор  $i$ -го ИО,  $a_i^j$  –  $j$ -ый атрибут  $i$ -го ИО. Бизнес-операция моделируется парой  $(T_i, D_j)$ , где  $T_i$  – тип операции с ИО. При этом выделяются следующие типы операций: создание, определение, использование, назначение прав доступа, архивирование, уничтожение, регистрация, ознакомление, редактирование, утверждение, визирование, согласование, публикация для всеобщего доступа, передача на исполнение, привязка к другим ИО. При этом  $T_i D_j = (T_i a_j^1, T_i a_j^2, \dots, T_i a_j^n)$ , однако для ряда операций (например, операции редактирования) могут существовать такие индексы  $m$ , что  $T_i a_j^m = a_j^m$ , т.е. операция может применяться не ко всем атрибутам ИО. Бизнес-функция моделируется кортежем бизнес-операций  $I_m((T_{1m}, D_{1l}), \dots, (T_{km}, D_{kl}))$ , где

- $I_m$  – должность или фамилия исполнителя,
- $T_{1m}, \dots, T_{km}$  – элементы множества  $\{T_i\}$ ,
- $D_{1l}, \dots, D_{kl}$  – элементы множества  $\{D_j\}$ .

При этом, не нарушая общности, можно считать, что внутри бизнес-функции бизнес-операции имеют естественный порядок исполнения.

Модель бизнес-процесса представляет собой граф управления бизнес-функциями  $G(N, \{n_0\}, \{n_\phi\}, E, M, EM, EN, R, EK)$ , где

- $N$  – множество узлов, каждый из которых соответствует бизнес-функции;
- $\{n_0\}$  и  $\{n_\phi\}$  – множества входных и завершающих узлов, соответственно;
- $E$  – множество управляющих дуг, такое, что  $\forall n_i, n_j \in N \cup \{n_0, n_\phi\}: (n_i, n_j) \in E$ , если возможна ситуация, когда за выполнением бизнес-функции  $n_i$  будет выполняться бизнес-функция  $n_j$ ;
- $M$  – множество узлов, соответствующих структурным единицам предприятия (вплоть до роли конкретного исполнителя);
- $EM$  – множество дуг подчиненности, такое, что  $\forall m_i, m_j \in M: (m_i, m_j) \in EM$ , если структурная единица  $m_i$  подчинена структурной единице  $m_j$ ;
- $EN$  – множество дуг исполнения бизнес-функции, такое, что  $\forall m_i \in M, n_j \in N: (m_i, n_j) \in EN$  если бизнес-функция  $n_j$  может быть выполнена в подразделении  $m_i$ ;
- $R$  – множество ресурсов предприятия;
- $EK$  – множество дуг использования ресурсов, такое, что  $\forall r_i \in R, n_j \in N: (r_i, n_j) \in EK$ , если бизнес-функция  $n_j$  использует при своем выполнении ресурс  $r_i$ .

Информационная модель бизнес-процесса представляет собой диаграмму «сущность-связь» в нотации Баркера, сущности которой соответствуют объектам инженерной сети. Для ее построения и приведения к Третьей нормальной форме (ЗНФ) могут использоваться известные алгоритмы выделения сущностей предметной области из функциональной модели процесса (в частности, из DFD-диаграмм).

Графовая модель инженерной сетевой системы описывает ее объекты и связи между ними (структуру системы) и представляет собой граф  $G(V, E)$ , где  $V$  – множество объектов инженерной сетевой системы,  $E$  – множество связей между объектами инженерной сетевой системы. В свою очередь множество  $V$  можно разделить на:

- $V_s$  – подмножество объектов-источников ресурса;
- $V_c$  – подмножество объектов-потребителей ресурса (промышленные предприятия, жилые дома и др.);

- $Vd$  – подмножество объектов инженерной сетевой системы, распределяющих или преобразующих ресурсы).

Следует отметить, что узлами графа являются как точечные объекты сети (колодцы и др.), так и протяженные (участки трубопроводов и т.п.). Дуги графа отображают только соединения этих объектов между собой.

## 2. Методы анализа и верификации интегрированной модели

**2.1. Понятие ошибки в потоках данных бизнес-процессов.** Наиболее типичными для бизнес-процессов современного предприятия ошибками являются ошибки, связанные с информационными ресурсами (ошибки в потоках данных) и возникающие при некорректном построении последовательности вышеприведенных бизнес-операций работы с ИО. Примерами таких ошибок являются:

- создание информационных объектов (ИО) и/или их атрибутов, не используемых в дальнейшей деятельности;
- отсутствие ИО и/или их атрибутов;
- дублирование ИО и/или их атрибутов и, как следствие, их несогласованность и противоречивость и др.

Специфика этих ошибок для бизнес-процесса обуславливается наличием регламентов доступа к атрибутам ИО, запрещающих или ограничивающих доступ при выполнении ряда бизнес-операций. Так, например, такой атрибут сотрудника, как его зарплата, на ряде предприятий доступен только руководству и сотрудникам бухгалтерии.

Отметим, что ключевыми бизнес-операциями являются операции определения, использования и назначения прав доступа, остальные операции являются лишь вариациями вышеназванных. Исключение составляет операция привязки к другим информационным объектам, однако она может быть встроена в последовательность операций с помощью операций использования и определения обеих ИО (сначала того, к которому осуществляется привязка, а затем – привязываемого). Поэтому, не нарушая общности, в дальнейшем будем использовать три перечисленные выше операции.

Для обнаружения ошибок данного класса предлагается использование комплекса методов верификации процессов управления [7, 8, 9], базирующихся на теории зависимости по данным [10], а именно:

- метод генерации множества тестовых маршрутов (вариантов процесса управления), в совокупности гарантирующих обнаружение ошибок в потоках данных, а также позволяющих обнаруживать ошибки, выявление которых осуществляется известными методами тестирования, базирующимися на покрытии графа процесса;
- метод статического анализа процессов управления, позволяющий обнаруживать различные типы «грубых» ошибок при исследовании графа процесса;
- метод динамического анализа вариантов процесса управления, позволяющий обнаруживать различные типы «тонких» ошибок при исследовании графа процесса.

**2.2. Тестирование бизнес-процессов.** Основной проблемой при планировании процедуры тестирования является проблема выбора критерия (стратегии) тестирования, т.е. задача выделения тех частей объекта, которые необходимо тестировать. Известные критерии тестирования и соответствующие алгоритмы выбора стратегий тестирования, основанные на анализе графовой модели объекта, не обеспечивают обнаружения рассматриваемых ошибок в потоках данных бизнес-процессов. Следовательно, при создании критерия тестирования

бизнес-процесса необходимо учитывать не только его структуру управления, но и структуру его потоков данных.

Для целей тестирования введем трехуровневую модель. На первом уровне строится среда данных – множество всех определений всех атрибутов бизнес-операции, для которых существует маршрут из точки входа в бизнес-процесс в рассматриваемую точку, на котором все элементы множества не переопределяются. На втором уровне строится контекст данных – множество наборов из  $n$  определений различных атрибутов, для которых существует маршрут из точки входа в бизнес-процесс в рассматриваемую точку, на котором все элементы набора принадлежат среде данных (т.е. не переопределяются). На третьем уровне строится упорядоченный контекст данных – множество упорядоченных наборов из  $n$  определений различных атрибутов, для которых существует маршрут из точки входа в бизнес-процесс в рассматриваемую точку, на котором все элементы набора принадлежат среде данных и выполняются в порядке, предписываемом данным набором.

Соответствующие критерии тестирования выглядят следующим образом:

Критерий 1 требует, чтобы каждый элемент среды данных каждой бизнес-операции был проверен по крайней мере однажды.

Критерий 2 требует, чтобы каждый элемент контекста данных каждой бизнес-операции был проверен по крайней мере однажды.

Критерий 3 требует, чтобы каждый элемент упорядоченного контекста данных каждой бизнес-операции был проверен по крайней мере однажды.

Для удобства исследования предложенных критериев пронумеруем их следующим образом:  $C_2$  - критерий 1,  $C_3$  - критерий 2,  $C_4$  - критерий 3. Известные критерии тестирования, основанные на анализе графовой модели объекта и требующие проверки каждой ветви или каждого функционального узла (оператора) графа по крайней мере однажды, обозначим традиционно  $C_1$  и  $C_0$ , соответственно.

Пусть  $M^B$  – множество, элементами которого являются все возможные подмножества множества маршрутов в некотором бизнес-процессе  $B$ . Тот факт, что некоторое  $M_k \in M^B$  удовлетворяет требованиям некоторого критерия тестирования  $C_i$ , обозначим следующим образом:  $M_k \leftrightarrow C_i$ .

Будем говорить, что некоторый ИО является определенным в бизнес-процессе, если на каждом использующем его маршруте по крайней мере одному из его атрибутов присваивается некоторое значение. Тогда для бизнес-процессов, в которых отсутствуют неопределенные и неиспользуемые ИО, а также конструкции типа skip, справедлива следующая теорема иерархии критериев:

Теорема. Любое множество маршрутов  $M_k \in M^B$ , удовлетворяющее требованиям критерия  $C_i$  для  $1 \leq i \leq 4$ , также удовлетворяет и требованиям любого из критериев  $C_j$  при  $1 \leq j < i$ .

Таким образом, предложенные критерии тестирования позволяют:

- обеспечить обнаружение специфических для бизнес-процессов ошибок в потоках данных, связанных с их обработкой под различными масками, обеспечивающими регламенты доступа;
- обеспечить выявление всех тех ошибок, обнаружение которых может производиться с помощью традиционных критериев, основанных на анализе программных графов и применяемых к бизнес-процессам.

**2.3. Статический анализ потоков данных бизнес-процессов.** Метод статического анализа потоков данных основан на введении специальной дисциплины взаимодействия состояний информационных объектов (ИО) на любом этапе выполнения бизнес-процесса. Состояние ИО определяется последним обращением к нему и задается следующим образом:

$$S_i(A = (a_1, a_2, \dots, a_m)) = (i, Q = (q_1, q_2, \dots, q_m), D = (d_1, d_2, \dots, d_m)), \text{ где}$$

- $i$  – номер узла графа бизнес-процесса;

- $q_j$  – тип обращения к  $j$ -му атрибуту ИО:  $q_j \in \{w, r, n\}$ , где  $w$  – определение атрибута,  $r$  – использование атрибута,  $n$  – отсутствие обращения к атрибуту;
- $d_j$  – элемент маски доступа к  $j$ -му атрибуту ИО:  $d_j \in \{W, R, N\}$ , где  $W$  – разрешение доступа на определение атрибута,  $R$  – разрешение доступа на использование атрибута,  $N$  – запрещение доступа к атрибуту.

Далее, не нарушая общности, будем считать, что ИО содержит единственный атрибут.

При анализе потоков данных основное внимание обращается на последовательность состояний ИО (т.е. фактически на последовательность определений/использований его атрибутов). Будем обозначать эту последовательность следующим образом:

$$d^{i1} q^{i1} d^{i2} q^{i2} \dots d^{ik} q^{ik},$$

где верхний индекс обозначает номер узла графа бизнес-процесса, в котором производится обращение к рассматриваемому ИО.

Для корректной работы бизнес-процесса по крайней мере должны удовлетворяться следующие 5 правил, касающихся построенной последовательности состояний ИО:

- 1) последовательность не должна содержать цепочек ...  $d^i q^i$  ..., в которых  $d^i = N$ , а  $q^i \in \{w, r\}$ ;
- 2) последовательность не должна содержать цепочек ...  $d^i q^i$  ..., в которых  $d^i = R$ , а  $q^i = w$ ;
- 3)  $\forall i$  такого, что  $(q^i = r) \wedge (d^i \neq N) \exists j < i$  такое, что  $(q^j = w) \wedge (d^j = W)$ .
- 4)  $\forall i, j$ , таких, что  $(q^i = w) \wedge (d^i = W) \wedge (q^j = w) \wedge (d^j = W) \exists i < k < j$ , такое, что  $(q^k = r) \wedge (d^k \neq N)$ .
- 5)  $\forall i$  такого, что  $(q^i = w) \wedge (d^i = W) \wedge (\neg \exists j > i, \text{ такого, что } (q^j = w) \wedge (d^j = W)) \exists k > i$ , такое, что  $(q^k = r) \wedge (d^k \neq N)$ .

Нарушения перечисленных правил вызывают ошибки при выполнении бизнес-процесса (или, по крайней мере, являются симптомами ошибок) и могут происходить по следующим причинам:

- попытки использования неопределенных атрибутов ИО;
- повторные определения атрибутов без промежуточного их использования;
- некорректные определения прав доступа к ИО и их атрибутам;
- неиспользуемые ИО и/или их атрибуты;
- ошибки в маршрутизации ИО, приводящие к задержкам (например, график ремонта из-за неверной последовательности функций: формирование наряд-задания, накладных, заявок на запчасти);
- отсутствующие ИО и/или их атрибуты (например, уровень воды для плана восстановления после наводнения) и др.

#### 2.4. Динамический анализ потоков ресурсов бизнес-процессов

Для целей динамического анализа в качестве модели ресурсов удобно использовать индексные множества, т.к. обычная интерпретация ресурса как пары (наименование, количество) не позволяет обнаруживать ошибки, связанные с их использованием. Под индексным множеством понимается пятерка  $P(I, X, I, B, \Phi)$ , где

- $I$  – множество индексов;
- $X$  – множество мест хранения данных о ресурсах («элементов памяти»), при этом  $x \in X$  есть пара  $(x_1, x_2)$ , где  $x_1$  – имя экземпляра сущности информационной модели предприятия (ER-модели), соответствующего конкретному ресурсу,  $x_2$  – имя атрибута сущности, определяющего количество экземпляров ресурса данного вида;
- $I: I \leftrightarrow X$  – взаимно-однозначное отображение идентификации;

- $B$  – множество допустимых состояний элементов памяти, разбивающееся на непересекающиеся классы состояний;
- $\Phi: I \rightarrow B \cup \varepsilon$  – определяет допустимые состояния следующим образом (при этом  $f$  – функция классификации, ставящая в соответствие элементам каждого класса состояний определенное целое число, однозначно идентифицирующее данный класс):

$$\Phi(x) = \begin{cases} f(x_2), & \text{если } \exists j \in I: I(j) = x \\ \varepsilon & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Состояние индексного множества на любом этапе бизнес-процесса определяется последним обращением к нему и задается следующим образом:  $S(P) = (n, Q, ACT)$ , где

- $n \in N$  (множество узлов бизнес-функций в графе управления бизнес-функциями);
- $Q$  – тип обращения ( $d$  – объявление,  $w$  – поступление на склад,  $r$  – получение со склада,  $b$  – бронирование,  $o$  – снятие брони);
- $ACT$  – права доступа к ресурсу  $r \in R$  исполнителя  $m \in M$  (множества узлов ресурсов и исполнителей в графе управления бизнес-функциями, соответственно), при этом  $ACT(m, r) = 1$ , если доступ разрешен, и  $ACT(m, r) = 0$ , в противном случае.

Задается семантика различных типов обращения к индексному множеству. Например, семантика объявлений для каждого индексного множества задает вводимые им объекты и заключается в следующем:

- 1) выбор множества индексов  $I$  для объекта  $P$ ;
- 2) выбор множества элементов памяти  $X$ ;
- 3) проверка  $X \cap Y = \emptyset \quad \forall Y$  для всех объявленных ранее объектов;
- 4) установление взаимно-однозначного соответствия  $I: I \leftrightarrow X$ ;
- 5) обнуление всех элементов  $x_2$  множества  $X$  ( $\forall x=(x_1, x_2) \in X$ ): происходит установление  $x_2 = 0$ .

Предлагаемый метод динамического анализа потоков ресурсов основан на концепции абстрактной семантической машины, представляющей собой отладочный инструмент, работающий в автоматическом режиме. Эта машина моделирует бизнес-среду и способна в режиме интерпретации осуществлять выявление ошибок в потоках данных о ресурсах путем вызова подпрограмм, соответствующих различным типам операций обращений к индексному множеству.

Отметим, что предложенный метод динамического анализа восходит к работам Венской школы [11, 12] и является одной из первых попыток описания семантики визуального языка моделирования для автоматического обнаружения семантических ошибок в бизнес-процессах.

### 3. Методика выявления ошибок в процессах управления инженерными сетями.

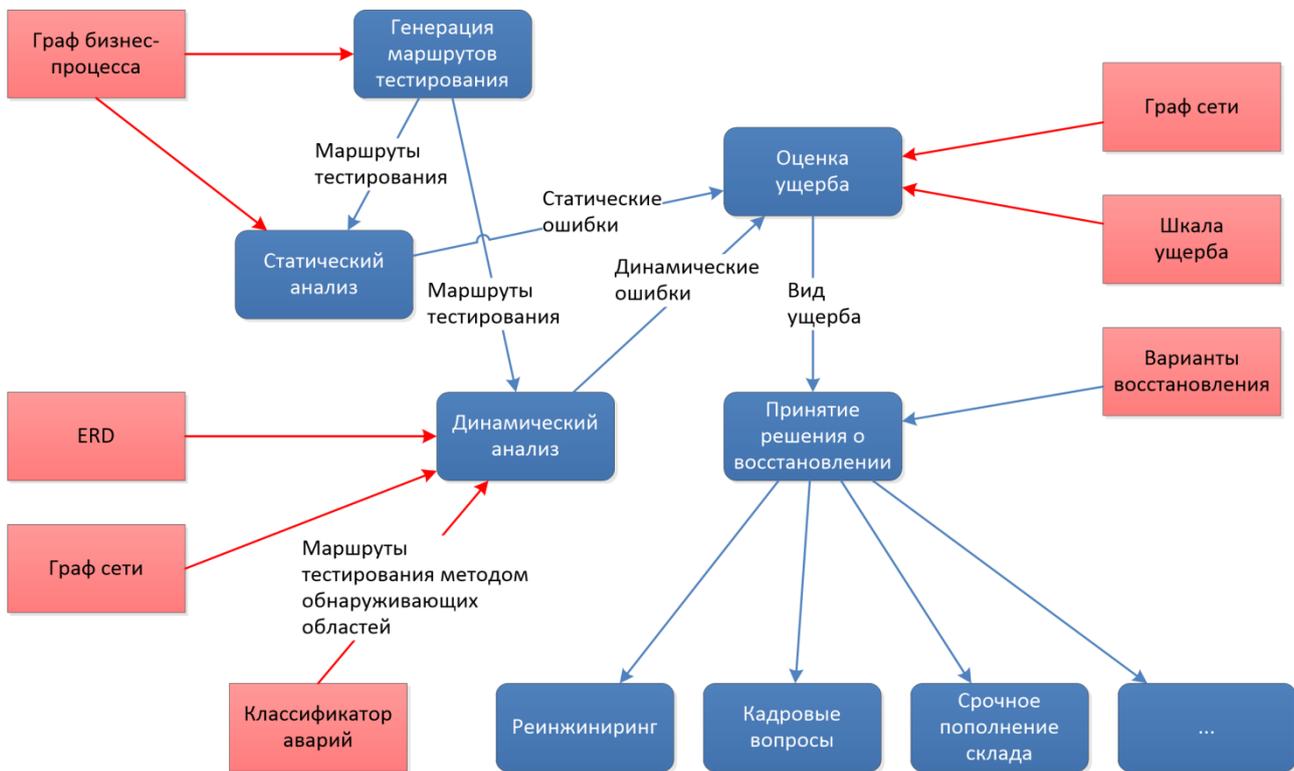
Схема предлагаемой методики приведена на рис. 2. Ниже прокомментированы ее ключевые моменты.

Динамический анализ также может осуществляться на каждом из сгенерированных маршрутов, обнаруживая при этом ошибки, связанные с наличием/использованием ресурсов в каждой конкретной ситуации. Отметим, что задача генерации тестовых наборов данных, обеспечивающих прохождение заданного маршрута, в общем случае является алгоритмически неразрешимой и выходит за рамки данного исследования.

Второй вариант генерации маршрутов тестирования базируется на методе разбиения входных данных на «обнаруживающие подобласти», позволяющем сгенерировать множество входных тестов. Соответствующие критерии тестирования требуют проверки лишь одного набора данных из каждой подобласти и, возможно, наборов на границах подобластей. В нашем случае в качестве входных данных выступает классификатор аварий, где каждый тип аварии

соответствует некоторой обнаруживающей подобласти. При этом каждому типу аварии соответствует некоторая часть процесса реакции на аварию, а в совокупности эти части составляют процесс ликвидации последствий аварий.

Последующие этапы методики на основании ошибок, обнаруженных на этапах статического и/или динамического анализа, осуществляют оценку потенциального ущерба и предлагают варианты послеаварийного восстановления сети. Соответствующие методы базируются на шкале ущербов, позиционирующей виды ущерба по значимости их последствий, а также логико-дифференциальных моделях технологических процессов, протекающих в объектах сети [5].



**Рис. 2.** Схема методики выявления ошибок в процессах управления инженерными сетями

**Заключение.** В работе предложен подход к управлению функционированием инженерной сети на основе интеграции структурных моделей бизнес-процессов, реализуемых ресурсно-снабжающей организацией, а также графовой модели самой сети. Особенность подхода заключается в том, что оценивается ущерб при авариях инженерных сетей, возникающий при ошибках в бизнес-процессах ресурсно-снабжающей организации. Решается задача поиска ошибок в процессах, причем как статических, возникающих при проектировании процессов, так и в режиме их функционирования, т.е. динамических.

Для решения задачи описаны и классифицированы ошибки процессов управления, влияющие на функционирование сети; предложен способ преобразования структурных моделей процессов в смешанные графы; разработан ряд методов анализа и верификации смешанных графов процессов; на основе анализа графовой модели процессов рассмотрены критерии и стратегии, позволяющие строить маршруты их тестирования, обеспечивающие обнаружение ошибок определенных классов; предложена концептуальная схема методики выявления ошибок в процессах управления инженерными сетями.

Таким образом, описанный подход позволяет предложить способ принятия решений с целью минимизации ущерба от различных аварий инженерных сетей, базирующийся на методах поиска статических и динамических ошибок бизнес-процессов.

### Список источников

1. Калянов Г.Н. Бизнес-процессы: от аморфного определения к формальной теории / Г.Н. Калянов // Автоматизация в промышленности, 2023. – № 1. – С. 25-30.
2. Калашян А.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / А.Н. Калашян, Г.Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 256 с.
3. Черемных С.В. Структурный анализ систем: IDEF-технологии / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
4. Калянов Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 240 с.
5. Гребенюк Г.Г. Модели и методы управления технологической инфраструктурой на базе цифровых двойников / Г.Г. Гребенюк, Г.Н. Калянов, О.В. Лукинова [и др.]. // 14-я Международная конференция "Управление развитием крупномасштабных систем" (MLSD-2021): труды. – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 834-845.
6. Калянов Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 212 с.
7. Калянов Г.Н. О теории бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. // Программная инженерия, 2018. – Т. 9. – № 3. – С. 99-109.
8. Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2023. – 412 с.
9. Калянов Г.Н. Верификация бизнес-процессов / Г.Н. Калянов // 21-я научно-практическая конференция Инжиниринг предприятий и управление знаниями: труды. – М.: 2018. – С. 72-75.
10. Векторизация программ: теория, методы, реализация (сборник статей): пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 272 с.
11. Оллонгрэн А. Определение языков программирования интерпретирующими автоматами: пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 288 с.
12. Семантика языков программирования (сборник статей): пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 395 с.

**Калянов Георгий Николаевич.** Профессор, доктор технических наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, главный научный сотрудник. AuthorID: 2332, SPIN: 6015-4622, ORCID: 0000-0003-2429-0703, [Kalyanov@mail.ru](mailto:Kalyanov@mail.ru), ИПУ РАН, Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

**Лукинова Ольга Васильевна.** Доцент, доктор технических наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ведущий научный сотрудник, Российский технологический университет МИПЭА, профессор кафедры информационной безопасности. AuthorID: 142037, SPIN: 4361-0837, ORCID: 0000-0002-5576-7749, [lo-bars@mail.ru](mailto:lo-bars@mail.ru), ИПУ РАН, Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

UDC 519.86

DOI:10.25729/ESI.2023.31.3.001

## Methodological aspects of error detection in engineering network management processes

Georgy N. Kalyanov, Olga V. Lukinova

Institute of Control Sciences RAS,  
Russia, Moscow, [kalyanov@mail.ru](mailto:kalyanov@mail.ru)

**Abstract.** The paper proposes an approach to managing the functioning of an engineering network based on the integration of structural models of a resource-supplying organization managing processes and a graph model of the network itself. The peculiarity of the approach is that the damage in case of accidents of engineering networks arising from errors in the management processes of the resource-supplying organization is assessed. The problem of finding errors in processes is solved, both static, arising during the design of processes, and in the mode of their functioning, i.e. in dynamics.

**Keywords:** engineering network, resource supply organization, mixed graph, error in data flows, testing, static analysis, dynamic analysis

## References

1. Kalyanov G.N. Biznes-protsessy: ot amorfnoy opredeleniya k formal'nym teoriyam [Business processes: from amorphous definition to formal theory]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in Industry], 2023, no. 1, pp. 25-30.
2. Kalashyan A.N., Kalyanov G.N. Strukturnyye modeli biznesa: DFD-tehnologii [Structural business models: DFD-technologies]. *M., Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 2003, 256 p.
3. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Strukturnyy analiz sistem: IDEF-tehnologii [Structural analysis of systems: IDEF-technologies]. *M., Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 2001, 208 p.
4. Kalyanov G.N. Modelirovaniye, analiz, reorganizatsiya i avtomatizatsiya biznes-protsessov [Business processes modeling, analysis, reorganization and automation]. *M., Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 2006, 240 p.
5. Grebenyuk G.G., Kalyanov G.N., Kovalev S.P., Krygin A.A., Lukinova O.V., Nikishov S.M. Modeli i metody upravleniya tekhnologicheskoy infrastrukturoy na baze tsifrovyykh dvoynikov [Models and methods of technological infrastructure management based on digital doubles]. 14-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya "Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh system" (MLSR-2021): trudy. [Proceedings of the 14th International Conference "Management of Large-scale Systems Development" (MLSD-2021)], Moscow, IPU RAS, 2021, pp. 834-845.
6. Kalyanov G.N. Teoriya i praktika reorganizatsii biznes-protsessov [The theory and practice of business process reorganization]. Moscow, SINTEG, 2000, 212 p.
7. Kalyanov G.N. O teorii biznes-protsessov [On the theory of business processes]. *Programmnaya inzheneriya* [Software Engineering], 2018, vol. 9, no. 3, pp. 99-109.
8. Kalyanov G.N. Teoriya biznes-protsessov [Theory of business processes]. *M., Goryachaya liniya – Telekom* [Hotline – Telecom], 2023, 412 p.
9. Kalyanov G.N. Verifikatsiya biznes-protsessov [Business processes verification]. 21-ya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Mashinostroyeniye predpriyatiy i upravleniye izmereniyami": trudy. [21st Scientific and practical conference "Enterprise Engineering and Knowledge management": proceedings], *M.*, 2018, pp. 72-75.
10. Vektorizatsiya programm: teoriya, metody, realizatsiya (sbornik statey) [Vectorization of programs: theory, methods, implementation (collection of articles)]. *M., Mir*, 1991, 272 p.
11. Ollongren A. Opredeleniye yazykov programmirovaniya interpretiruyushchimi avtomatami [Definition of programming languages by interpreting automata]. *M., Mir*, 1977, 288 p.
12. Semantika yazykov programmirovaniya (sbornik statey) [Semantics of programming languages (collection of articles)]. *M., Mir*, 1980, 395 p.

**Kalyanov Georgy Nikolaevich.** Professor, doctor of technical sciences, Institute of control problems named after V.A. Trapeznikova RAS, chief researcher. AuthorID: 2332, SPIN: 6015-4622, ORCID: 0000-0003-2429-0703, Kalyanov@mail.ru, IPU RAS, Russia, 117997, Moscow, st. Profsoyuznaya, 65.

**Lukinova Olga Vasilievna** Associate professor, doctor of technical sciences, Institute of control problems named after V.A. Trapeznikova RAS, leading researcher, Russian technological university MIREA, professor of the Department of information security. AuthorID: 142037, SPIN: 4361-0837, ORCID: 0000-0002-5576-7749, lobars@mail.ru, IPU RAS, Russia, 117997, Moscow, st. Profsoyuznaya, 65.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023; одобрена после рецензирования 31.07.2023; принята к публикации 18.08.2023.

The article was submitted 06/20/2023; approved after reviewing 07/31/2023; accepted for publication 08/18/2023.