

# Задачи по переключениям в электроустановках в форме тестовых заданий

- Будовский В. П.<sup>1</sup>, доктор техн. наук, ОАО “СО ЕЭС”, Москва
- Иванченко А. Н., канд. техн. наук, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт), Ростовская обл., Новочеркасск
- Шайда А. Ю., Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт), Ростовская обл., Новочеркасск
- Иванченко П. А., Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт), Ростовская обл., Новочеркасск

Описывается методика реализации задач по переключениям в электроустановках для систем компьютерного тестирования. Представлены алгоритмы автоматического формирования последовательностей тестовых заданий и результаты их работы на примере фрагмента программы оперативных переключений при выводе в ремонт высоковольтной воздушной линии электропередачи.

**Ключевые слова:** электроустановка, переключения, оперативный персонал, системы компьютерного тестирования, отношение строгого частичного порядка на множестве, минимальный элемент частично упорядоченного множества.

Электроэнергетика является явно выраженной человекомашиной системой. Данный факт подтверждается установленной системой категорий персонала энергосистем [1]: управленческий персонал и специалисты, оперативный персонал, оперативные руководители (диспетчерский персонал), оперативно-ремонтный персонал, ремонтный персонал и др. Особую роль в этой системе играет оперативный персонал [дежурные работники субъекта электроэнергетики (потребителя электрической энергии), уполномоченные им на осуществление непосредственно на объекте электроэнергетики (энергопринимающей установке) операций по изменению его технологического режима работы или эксплуатационного состояния] и диспетчерский персонал [работники диспетчерского центра (диспетчеры), уполномоченные субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике от имени диспетчерского центра отдавать диспетчерам других диспетчерских центров и оперативному персоналу субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии диспетчерские команды и разрешения по управлению электроэнергетическим режимом энергосистемы в операционной зоне соответствующего диспетчерского центра, а также изменять технологический режим работы или эксплуатационное состояние объектов электроэнергетики]. Именно от их квалификации во многом зависит надёжная работа энергосистемы в целом. Подготовка данной категории персонала уделялось значительное внимание [2] с первых шагов формирования электроэнергетических систем в нашей стране.

Рост сложности электроэнергетических систем привёл к необходимости использования специальных программно-технических средств при подготовке оперативного персонала – тренажёров [3] и тестовых систем [4]. Последние представляют особый интерес, так как позволяют интенсифицировать процесс подготовки и оценки квалификации персонала.

В [5] авторами предложена классификация форм тестовых заданий для проверки знаний персонала в форме компьютерного тестирования, основанная на предикатах, и выявлена перспективная форма – тестовое задание на основе отношения строгого порядка, задаваемого на элементах некоторого множества. Отмечено, что тестовые задания такого вида могут использоваться при проверке умений персонала решать практические задачи, связанные с выполнением последовательности технологических операций. Предполагается, что большинство операций должно выполняться последовательно, однако граф сценария решения задачи может содержать и параллельные участки, обусловленные либо наличием параллельных ветвей в исходной “физической” схеме управляемого объекта, либо возможностью выполнения некоторой цепочки операций в произвольном порядке.

Важный класс задач подобного типа составляют задачи по переключениям в электроустановках. В действующих нормативных документах по переключениям [6, 7] изложены основные требования (в том числе ограничения) к операциям: с коммутационными аппаратами и цепями оперативного тока, с устройствами релейной защиты и автоматики (а также с цепями питания этих устройств); по включению и отключению заземляющих ножей, наложению и снятию пере-

<sup>1</sup> Будовский Валерий Павлович: b\_v\_p@mail.ru



носных заземлений; по фазировке оборудования, результатам осмотра опорно-стержневых изоляторов (на наличие трещин и сколов) перед производством операций с разъединителями; с устройствами телемеханики и др., а также к допустимым последовательностям этих операций.

Для облегчения процесса переключений и снижения вероятности ошибок при выполнении переключений в электроустановках заранее составляются типовые бланки и типовые программы переключений. Они предназначены для использования в конкретной схемно-режимной ситуации, однако она может не соответствовать реальной на момент начала переключений. Тогда оперативный персонал должен уметь самостоятельно подготовить бланк переключений, а в отдельных случаях привести схемно-режимную ситуацию к состоянию, когда возможно осуществление переключений по заранее подготовленной программе или бланку.

Трудность разработки тестовых систем для обучения и, проверки умения производить переключения в электроустановках заключается в том, что в большинстве случаев существует не одна правильная последовательность, а множество допустимых последовательностей, которые не противоречат действующим нормативным документам, и, следовательно, все они могут в равной мере претендовать на роль “правильных” переключений. Следует также учесть, что нормативными документами [6, 7] допускается производить единичные операции и переключения с целью ликвидации нарушений нормального режима без программ (типовых программ) переключений и/или бланков (типовых бланков) переключений, основываясь не на “заученной” однозначной последовательности операций, а непосредственно на правилах, которые могут допускать в конкретных ситуациях и многовариантность.

В этих условиях обучение персонала выполнению как типовых, так и единичных переключений целесообразно проводить не по “жестким” сценариям, а давать возможность применять обучающимися имеющиеся у них теоретические знания и, таким образом, формировать умения решать реальные производственные задачи, не сводящиеся к “автоматическому” воспроизведению известной последовательности. Упрощенно можно сказать так: персонал должен знать не “правильные последовательности действий”, а “правила построения правильных последовательностей”.

Очевидно, что в этих случаях наибольшая результативность обучения персонала может быть достигнута при использовании тренажеров оперативных переключений (ТОП). Заложенные в тренажеры математические модели, построенные в строгом соответствии с действующими нормами и правилами, а также насыщенный динамический “дружественный” графический интерфейс позволяют обучаемым в полной мере реализовать

имеющиеся у них теоретические знания, а не только демонстрировать хорошую память, позволяющую запомнить единственно верную правильную последовательность.

Однако подготовка сценария тренировки для компьютерного тренажера – достаточно трудоёмкая задача, что значительно усложняет формирование и поддержание базы тренировок в актуальном состоянии.

Одна из основных трудностей при формировании сценария тренировки по оперативным переключениям – разработка сценария тренировки в форме графа [8], который позволяет реализовать автоматический контроль и оценку хода переключений в условиях многовариантности правильных последовательностей. Обязанность разработки такого сценария (графа) возлагается на методиста тренажёрного центра.

В связи с этим уместно создание обучающих средств с использованием значительно более “лёгких” в применении систем компьютерного тестирования (СКТ), которые при наличии достаточно скромных интерфейсов тем не менее позволяют в большом числе случаев реализовать практически те же сценарии обучения, что и компьютерные тренажеры.

Рассмотрим проблему построения тестовой последовательности на примере обобщённого фрагмента программы оперативных переключений при выводе в ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка (рис. 1), приведённого в табл. 1. Соответствующий сценарий в форме графа переключений показан на рис. 2. Вершины графа соответствуют операциям программы переключений, а ребра – допустимым последовательностям выполнения операций.

Отметим одну существенную особенность данного примера – наличие в программе операций, которые могут выполняться параллельно (одновременно). В то же время только после завершения всех таких операций весь фрагмент программы переключений можно считать завершённым. Эти обстоятельства приводят к целесообразности введения нового для теории графов понятия – “мультивершина”, под которым понимается контейнер (множество) с “лежащими в нём” несколькими вершинами-близнецами по входящим и исходящим дугам, т.е. если мультивершина имеет входящую в неё дугу, то и все её вершины – элементы контейнера имеют ту же самую входящую дугу. То же самое справедливо и для исходящих дуг. На рис. 2 мультивершины обозначены двойными границами. Не умаляя общности, будем считать мультивершинами все вершины графа. При этом обычная вершина представляет контейнер из одного элемента.

В табл. 2 показан состав вершин-контейнеров графа переключений (операции представлены номерами пунктов программы переключений).



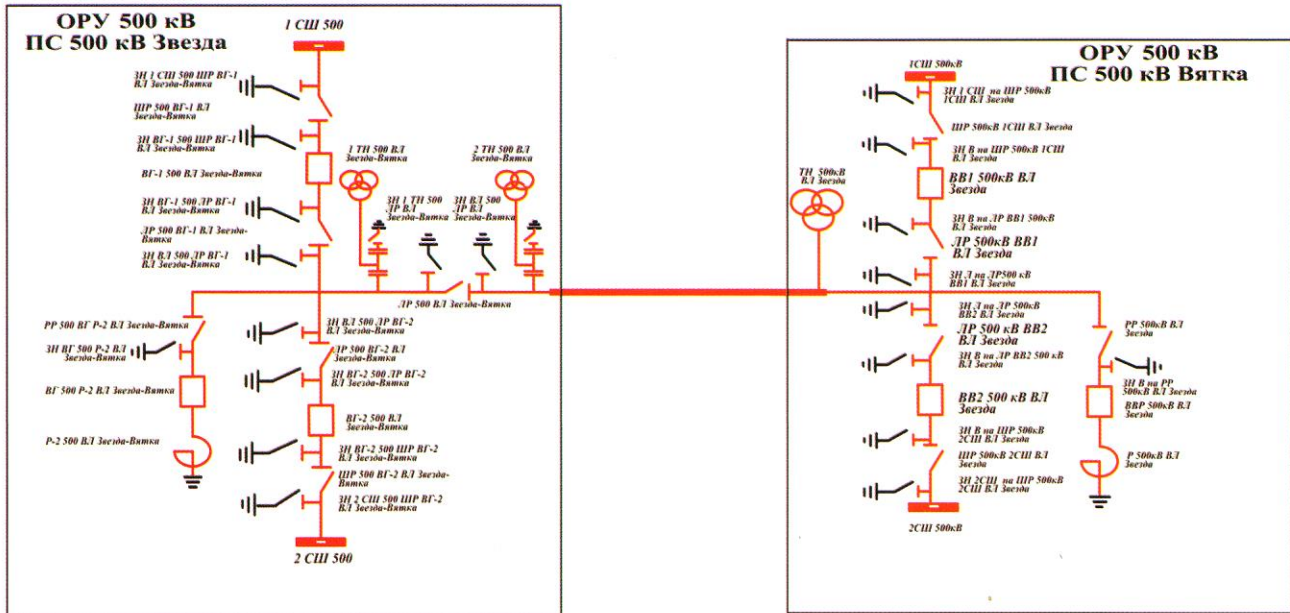


Рис. 1. Схема подключения ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка к распределительным устройствам ПС 500 кВ Звезда и Вятка

Приведём формальное описание данного графа:

$$G = (A, S),$$

где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} = \{1, 2, \dots, 11\}$  – множество вершин (мультивершин);  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\} = \{(1, 3), (1, 2), \dots, (4, 11)\}$  – множество рёбер.

Отметим, что наиболее заметное внешнее отличие ТОП от СКТ – это способ реализации действий обучаемых: в тренажёрах объектами воздействия являются элементы графического интерфейса, а само “поле выбора” охватывает всю графическую “картинку”; в системах тестирования обучаемому на каждом шаге предъявляется ограниченное число альтернатив (вариантов выбора) или же предлагается ввести некоторое числовое значение. Именно это отличие существенно усложняет составление разработчиком компьютерных тестов для подобных задач; на каждом этапе теста он должен сформировать множество допустимых действий (которые при проведении тестирования будут считаться правильными) и, кроме того, ещё и “придумать” правдоподобные дистракторы (недопустимые, отвлекающие действия).

Нетривиальность этой проблемы связана с тематической сущностью исходной задачи. Так, изображённый на рис. 2 граф задаёт отношение строгого частичного порядка на множестве вершин  $A$  и порождает множество допустимых последовательностей перечисления данных вершин, не нарушающих данное отношение. Например, правильными будут последовательности действий:  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 7, 8, 9, 11\}$ ,  $\{1, 3, 2, 4, 5, 11, 10, 6, 8, 7, 9\}$  и многие другие. Можно предположить, что количество таких последовательностей будет велико, что связано с комбинаторным характером задачи. Как показывает подсчёт, выполненный с

помощью приведённого далее алгоритма 3, количество допустимых последовательностей для графа на рис. 2 составляет 2576. Если же учесть кратности мультивершин, то получим следующую оценку:

$$2576 \times 4! \times 5! \times 2! \times 2! \times 2! \times 2! = 118\,702\,080 \text{ (это очень большая величина!)}$$

Задача, стоящая перед разработчиком компьютерного теста, усложняется тем, что на каждом шаге теста он должен сформировать множество альтернативных вершин-действий для предъявления их тестируемому. Очевидно, что состав этого множества будет зависеть от того, какой выбор был сделан на предыдущих шагах.

Покажем это на примере получения второй из приведённых допустимых последовательностей. Выполним последовательно 11 шагов теста, показывая на каждом шаге множество допустимых

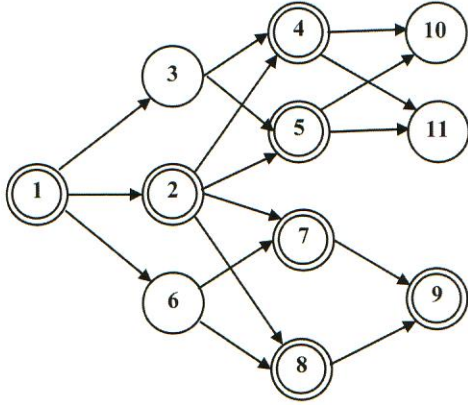


Рис. 2. Граф переключений при выводе в ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка



Таблица 1

## Фрагмент обобщённой программы оперативных переключений при выводе в ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка

| Персонал, выполняющий операцию                                       | Пункт программы переключений | Объект переключений, операция, сообщение  | Время отдачи команды | Время выполнения команды |
|--|------------------------------|---|----------------------|--------------------------|
|  |                              | <b>ПОРЯДОК И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ</b>   |                      |                          |
| <b>Операции по пунктам 5.2, 5.3 выполнять одновременно</b>           |                              |   |                      |                          |
| ОДУ Урала  | 5.2.4<br>(1)                 | Отключить выключатель <b>ВВ1 500 кВ ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |
|  | 5.2.5<br>(1)                 | Отключить выключатель <b>ВВ2 500 кВ ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |
| ОДУ Центра   | 5.3                          | На ПС 500 кВ Звезда:  |                      |                          |
|  | 5.3.1<br>(1)                 | Отключить выключатель <b>ВГ-1 500 ВЛ Звезда - Вятка</b>   |                      |                          |
|  | 5.3.2<br>(1)                 | Отключить выключатель <b>ВГ-2 500 ВЛ Звезда - Вятка</b>   |                      |                          |
| <b>Операции по пунктам 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 выполнять одновременно</b> |                              |   |                      |                          |
| ЦДУ  | 5.4<br>(2)                   | Обобщённый ТС ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка перевести на ручной ввод и ввести значение “Отключено”   |                      |                          |
| ОДУ Центра   | 5.5<br>(2)                   | На Костромской АЭС:<br>Проверить, что автоматически зафиксировался ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка (при отказе зафиксировать вручную) |                      |                          |
| ОДУ Урала  | 5.6.1<br>(2)                 | В ЦСПА Урала зафиксировать ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка и <b>Р 500 кВ ВЛ Звезда</b>  |                      |                          |
|  | 5.6.2<br>(2)                 | В АПНУ ПС 500 кВ Вятка проверить фиксацию ремонта ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка  |                      |                          |
| ОДУ Средней Волги  | 5.7<br>(2)                   | В ЦСПА зафиксировать ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка  |                      |                          |
| ОДУ Урала  | 5.8                          | На ПС 500 кВ Вятка:   |                      |                          |
|  | 5.8.1<br>(3)                 | Проверить, что в устройстве <b>ФОЛ</b> зафиксировался ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка   |                      |                          |
|  | 5.8.2<br>(4)                 | Снять оперативный ток с выключателя <b>ВВ1 500 кВ ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |
|  | 5.8.3<br>(4)                 | Снять оперативный ток с выключателя <b>ВВ2 500 кВ ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |
|  | 5.8.4<br>(5)                 | Вывести приёмник <b>ПРМ/ПРД ETL-24/28 кГц (№ 2) ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка</b> по всем выходным цепям                                   |                      |                          |
|  | 5.8.5<br>(5)                 | Вывести приёмник <b>ПРМ/ПРД ETL-100/88 кГц (№ 1) ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка</b> по всем выходным цепям                                  |                      |                          |
| ОДУ Центра   | 5.9                          | На ПС 500 кВ Звезда:  |                      |                          |
|  | 5.9.2<br>(6)                 | Зафиксировать ключом ремонт ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка в устройстве <b>ФОЛ</b>  |                      |                          |
|  | 5.9.3<br>(7)                 | Снять оперативный ток с выключателя <b>ВГ-1 500 ВЛ Звезда – Вятка</b>   |                      |                          |
|  | 5.9.4<br>(7)                 | Снять оперативный ток с выключателя <b>ВГ-2 500 ВЛ Звезда – Вятка</b>   |                      |                          |
|  | 5.9.5<br>(8)                 | Вывести приёмник <b>ПРД/ПРМ ETL-24/28 кГц (№ 2) ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка</b> по всем выходным цепям                                   |                      |                          |
|  | 5.9.6<br>(8)                 | Вывести приёмник <b>ПРД/ПРМ ETL-100/88 кГц (№ 1) ВЛ 500 кВ Звезда – Вятка</b> по всем выходным цепям                                  |                      |                          |
| ОДУ Центра   | 5.10.1<br>(9)                | Отключить линейный разъединитель <b>ЛР-500 ВЛ Звезда – Вятка</b>  |                      |                          |
| ОДУ Урала  | 5.11                         | На ПС 500 кВ Вятка:   |                      |                          |
|  | 5.11.1<br>(10)               | Отключить линейный разъединитель <b>ЛР 500 кВ ВВ1 ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |
|  | 5.11.3<br>(11)               | Отключить линейный разъединитель <b>ЛР 500 кВ ВВ2 ВЛ Звезда</b>   |                      |                          |

Примечания: 1. В колонке “пункт программы переключений” в скобках указаны номера вершин графа рис. 2. 2. Принятые обозначения: ВВ – воздушный выключатель, ВЛ – воздушная линия, ВГ – выключатель элегазовый, ТС – телесигнал, ЦСПА – централизованная система противоаварийной автоматики, АПНУ – автоматика предотвращения нарушения устойчивости, ФОЛ – факт отключения линии, ПРМ/ПРД – комплект приёмник/передатчик.



действий. Выбранное тестируемым действие будем обозначать подчёркиванием.

- Шаг 1. [1]
- Шаг 2. [2, 3, 6]
- Шаг 3. [2, 6]
- Шаг 4. [4, 5, 6]
- Шаг 5. [5, 6]
- Шаг 6. [6, 10, 11]
- Шаг 7. [6, 10]
- Шаг 8. [6]
- Шаг 9. [7, 8]
- Шаг 10. [7]
- Шаг 11. [9]

Разработаем алгоритм динамического формирования списка допустимых действий на каждом шаге компьютерного теста, основываясь на понятии *минимального элемента* частично упорядоченного множества [9]. Напомним, что минимальным считается элемент множества, не имеющий предшествующих элементов, или, что то же самое, если соответствующая ему вершина не имеет входящих дуг (вершина имеет нулевую полустепень захода). Практически это соответствует условию, когда действие, приписанное той или иной вершине, может быть совершено, так как все условия для этого выполнены. Очевидно, что у множества есть несколько минимальных элементов.

**Алгоритм 1.** Построение множества минимальных элементов для заданного частично упорядоченного множества  $A$ .

*Вход.* Множество вершин  $A$  и множество направленных дуг  $S$ .

*Выход.* Подмножество  $B$ , содержащее все минимальные элементы множества  $A$ .

*Метод.* Для каждого элемента  $a_i$  множества  $A$  последовательно перебираются все остальные элементы  $a_j$  этого множества и для каждой пары  $(a_j, a_i)$  проверяется, встречается ли она в множестве  $S$ . Если совпадение обнаружено хотя бы для одного элемента  $a_j$ , то делается вывод, что  $a_i$  – не минимальный элемент; в противном случае  $a_i$  – минимальный элемент и он включается в множество  $B$ .

Запись алгоритма 1 на псевдокоде.  
/\* описание функции MinSet(A,S)\*/

```

B = пустое множество;
foreach (x in A) {
  foreach (y in A) {
    if (x == y) continue;
    if((y, x) in S) goto fin;
  }
  B.push back(x);
fin:
}
return B;

```

**Алгоритм 2.** Формирование списка допустимых действий на каждом шаге компьютерного теста.

*Вход.* Рёберный граф сценария выполнения теста, представленный множествами вершин (операций)  $A$  и направленных дуг  $S$ .

*Выход.* На каждом шаге алгоритм выдаёт множество допустимых действий  $B \subseteq A$ . В процессе выполнения алгоритма формируется цепочка допустимых действий.

*Метод.* Алгоритм имеет вид цикла while – do с условием завершения “текущее множество вершин пусто”. В каждом цикле вначале определяется множество минимальных элементов текущего множества вершин  $A$  (множество  $B$ ). Вызывается внешняя функция  $F(B)$ , которая случайным образом выбирает из множества  $B$  некоторый элемент  $a$ ; эта функция имитирует выбор варианта ответа тестируемым. Далее из множества  $A$  удаляется элемент  $a$  и текущая итерация цикла завершается. Необходимо отметить, что операция удаления элемента из множества (в алгоритме это  $A-a$ ) выполняется с учётом “контейнерной” природы вершин, т.е. пока в контейнере остаётся хотя бы один элемент, вершина из множества  $A$  не удаляется.

Запись алгоритма 2 на псевдокоде.

```

while {
  B = MinSet(A,S);
  a = F(B);
  A = A - a;
}
do A ≠ пустое множество;

```

**Алгоритм 3.** Построение всех допустимых последовательностей для множества  $A$  с учётом связей, содержащихся в множестве  $S$ .

*Вход.* Множество вершин  $A$  и множество направленных дуг  $S$ .

*Выход.* Массив  $V$ , содержащий множество всех допустимых последовательностей для множества  $A$ .

*Метод.* Данный алгоритм реализуется как рекурсивная функция, построенная на базе алгоритма 2, в котором вместо обращения к внешней функции  $F(B)$  организован перебор всех элементов множества  $B$  и для каждого из них выполняется рекурсивный вызов.

Запись алгоритма 3 на псевдокоде.

Т а б л и ц а 2

Состав вершин-контейнеров графа переключений

| Вершина-контейнер | Операция переключений       |
|-------------------|-----------------------------|
| 1                 | 5.2.4, 5.2.5, 5.3.1, 5.3.2  |
| 2                 | 5.4, 5.5, 5.6.1, 5.6.2, 5.7 |
| 3                 | 5.8.1                       |
| 4                 | 5.8.2, 5.8.3                |
| 5                 | 5.8.4, 5.8.5                |
| 6                 | 5.9.2                       |
| 7                 | 5.9.3, 5.9.4                |
| 8                 | 5.9.5, 5.9.6                |
| 9                 | 5.10.1                      |
| 10                | 5.11.1                      |
| 11                | 5.11.3                      |



```

5.2.4 5.2.5 5.3.1 5.3.2 ----> 5.2.5
5.2.4 5.3.1 5.3.2 ----> 5.3.1
5.2.4 5.3.2 ----> 5.3.2
5.2.4 ----> 5.2.4
5.4 5.5 5.6.1 5.6.2 5.7 5.8.1 5.9.2 ----> 5.8.1
5.4 5.5 5.6.1 5.6.2 5.7 5.9.2 ----> 5.6.1
5.4 5.5 5.6.2 5.7 5.9.2 ----> 5.6.2
5.4 5.5 5.7 5.9.2 ----> 5.5
5.4 5.7 5.9.2 ----> 5.9.2
5.4 5.7 ----> 5.4
5.7 ----> 5.7
5.8.2 5.8.3 5.8.4 5.8.5 5.9.3 5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.8.4
5.8.2 5.8.3 5.8.5 5.9.3 5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.8.5
5.8.2 5.8.3 5.9.3 5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.9.3
5.8.2 5.8.3 5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.9.4
5.8.2 5.8.3 5.9.5 5.9.6 ----> 5.9.6
5.8.2 5.8.3 5.9.5 ----> 5.8.3
5.8.2 5.9.5 ----> 5.8.2
5.9.5 5.11.1 5.11.3 ----> 5.9.5
5.10.1 5.11.1 5.11.3 ----> 5.11.1
5.10.1 5.11.3 ----> 5.10.1
5.11.3 ----> 5.11.3

```

a)

```

5.2.4 5.2.5 5.3.1 5.3.2 ----> 5.3.1
5.2.4 5.2.5 5.3.2 ----> 5.3.2
5.2.4 5.2.5 ----> 5.2.5
5.2.4 ----> 5.2.4
5.4 5.5 5.6.1 5.6.2 5.7 5.8.1 5.9.2 ----> 5.7
5.4 5.5 5.6.1 5.6.2 5.9.2 ----> 5.6.2
5.4 5.5 5.6.1 5.8.1 5.9.2 ----> 5.4
5.5 5.6.1 5.8.1 5.9.2 ----> 5.8.1
5.5 5.6.1 5.9.2 ----> 5.6.1
5.5 5.9.2 ----> 5.5
5.8.2 5.8.3 5.8.4 5.8.5 5.9.2 ----> 5.8.4
5.8.2 5.8.3 5.8.5 5.9.2 ----> 5.8.2
5.8.3 5.8.5 5.9.2 ----> 5.8.5
5.8.3 5.9.2 ----> 5.8.3
5.9.2 5.11.1 5.11.3 ----> 5.11.1
5.9.2 5.11.3 ----> 5.11.3
5.9.2 ----> 5.9.2
5.9.3 5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.9.3
5.9.4 5.9.5 5.9.6 ----> 5.9.6
5.9.4 5.9.5 ----> 5.9.4
5.9.5 ----> 5.9.5
5.10.1 ----> 5.10.1

```

b)

Рис. 3. Примеры последовательностей операций:

a – первый прогон программы; б – второй прогон программы

c = пустая последовательность;

V = пустой массив последовательностей;

AllSeq(c, A, S); /\* вызов рекурсивной функции \*/  
/\* описание рекурсивной функции AllSeq\*/

if (A == пустое множество) { V = V + c; return; }  
foreach(x in MinSet(A, S)) AllSeq(c+x, A-x, S);

Продemonстрируем работу алгоритмов 1 – 3 для рассматриваемого примера программы переключений. На каждом шаге теста будем формировать множество допустимых операций по алгоритму 2 и случайным образом выбирать одну из них, имитируя действия тестируемого. Выбранная операция вычёркивается из исходного множества операций (с учётом наличия мультивершин) и осуществляется возврат к началу цикла. Число повторений цикла, очевидно, будет равно общему числу операций в программе переключений (в примере 22). На рис. 3 представлены результаты двух прогонов программы. Результаты различаются из-за использования случайного выбора операции на каждом шаге теста.

## Выводы

1. Полученные в настоящей статье результаты позволяют практически реализовать проведение компьютерного тестирования по проверке умений производить правильные переключения при высо-

кой степени автоматизации процесса подготовки тестовых заданий.

От методиста требуется:

составить граф сценария переключений и наполнить мультивершины графа пунктами программы переключений. Представленные в статье алгоритмы позволяют на каждом шаге теста динамически определять список допустимых (правильных) операций;

сформулировать некоторое множество дистракторов – “неправильных” (отвлекающих) операций, которые не являются тривиально ошибочными. Эти дистракторы будут автоматически “подмешиваться” к динамически формируемым на каждом шаге множествам правильных операций с использованием некоторого эвристического правила. Например, при составлении дистракторов их можно привязывать к правильным операциям из программы переключений с использованием отношения “многие – ко многим”.

2. Применение предложенной технологии построения тестовых задач позволяет значительно расширить их применение для подготовки оперативного персонала энергосистем по переключениям в электроустановках, что в свою очередь позволит повысить объективность оценки уровня подготовки персонала за счёт хорошо разработанной теоретической и практической базы тестологии [11], развивающейся более 120 лет.

## Список литературы

1. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации. Зарегистрированы Министром от 16.03.2000 г. № 2150. М: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004.
2. Жданов П. В. Аварии в сетях МОГЭС по вине персонала. – Электрические станции, 1930, № 12.
3. Сидоров К. И. Тренировочный пульт для аварийных игр ГРЭС им. Красина. – Электрические станции, 1936, № 11.
4. Дьяков А. Ф. Надёжная работа персонала в энергетике. М: Изд-во МЭИ, 1991.
5. Иванченко А. Н., Шлыков П. В. Об одном способе формализации структур тестовых заданий. – Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2002, спецвыпуск: Математическое моделирование и компьютерные технологии.
6. Инструкция по переключениям в электроустановках. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2007.
7. СТО 59012820.29.020.005-2011. Правила переключений в электроустановках. Стандарт ОАО “СО ЕЭС”, утверждён приказом ОАО “СО ЕЭС” от 25.10.2011 г. № 325.
8. Тренажёрный комплекс по оперативным переключениям TWR12 / Будовский В. П., Несифорова Т. В., Рожков А. С., Бохан К. А. – Электрические станции, 2014, № 6.
9. Гуров С. И. Булевы алгебры, упорядоченные множества, решётки: Определения, свойства, примеры. М.: Либроком, 2013.
10. Евстигнеев В. А. Применение теории графов в программировании. М.: Наука, 1985.
11. Чельщикова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. М.: Логос, 2002.