

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.031.6

Евгений Рафаилович Пантелеев

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор кафедры программного обеспечения компьютерных систем, Россия, Иваново, телефон (4932) 26-98-60, e-mail: erp@poks.ispu.ru

Арман Арсенович Мукучян

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», магистрант кафедры программного обеспечения компьютерных систем, Россия, Иваново, e-mail: 15508@gapps.ispu.ru

Модель и метод построения контекстной помощи для отработки навыков оператора энергоблока на тренажере

Авторское резюме

Состояние вопроса. Формирование навыков управления непосредственно на объекте создает существенные риски аварий, а отработка сценариев действий оператора при авариях «на натуре» принципиально невозможна. Поэтому использование компьютерных тренажеров для подготовки операторов является мировой практикой. Формирование навыков предполагает повторение упражнений и сопровождается ошибками. Для повышения эффективности обучения компьютерные тренажеры предусматривают возможность остановки модели объекта для работы со справочными документами. Однако они не дают немедленного ответа на вопрос, в чем заключается допущенная ошибка и как следовало действовать в данной ситуации. Целью исследования является сокращение времени поиска обучающей информации, релевантной текущему контексту, путем разработки динамической модели сценариев тренажа и метода ее интерпретации, проецирующего ситуацию ошибки на соответствующий фрагмент учебного материала.

Материалы и методы. Адекватной моделью сценариев действий пользователя компьютерного приложения являются сети Петри, увязывающие действия с условиями, определяющими возможность их выполнения. Однако возможность выполнения действий оператора компьютерных тренажеров, в отличие от действий пользователя приложения, обусловлена не только состоянием интерфейса управления, но и состоянием самого объекта. Это определяет необходимость усовершенствования предложенных ранее моделей и методов их интерпретации.

Результаты. Предложена модель сценариев в виде открытой сети Петри, отличающаяся динамической маркировкой позиций значениями переменных объекта управления и наличием переходов, которые срабатывают при получении дискретных сигналов от системы управления. Предложены метод интерпретации запросов к открытой сети Петри, возвращающий справочную информацию, релевантную контексту, и способ интеграции контекстной помощи в компьютерных тренажерах, отображающий состояние объекта и действия оператора на структуру открытой сети Петри.

Выводы. Результаты реализованы в компьютерных тренажерах энергоблока 215 МВт Сургутской ГРЭС-1, разработка которого ведется ООО Текон-Автоматика, и могут найти применение при разработке компьютерных тренажеров подобных объектов. Обеспечена линейная вычислительная эффективность доступа к контекстной информации.

Ключевые слова: контекстная помощь, компьютерный тренажер, сети Петри

Evgeny Rafailovich Pantelev

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Computer Systems Software Support Department, Russia, Ivanovo, telephone (4932) 26-98-60, e-mail: erp@poks.ispu.ru

Arman Arsenovich Mukuchan

Ivanovo State Power Engineering University, Master Degree Student of Computer Systems Software Support Department, Russia, Ivanovo, e-mail: 15508@gapps.ispu.ru

Model and method of contextual help to develop skills of power unit operator using training simulator

Abstract

Background. Development of operator skills at the facility may lead to significant risks of accidents, and emergency drills in case of accidents “on-site” is impossible. Therefore, the use of computer simulators for operator training is an established international practice. Skill honing means repetition of exercises and is prone to errors. To increase the efficiency of training, computer simulators provide the ability to stop simulation to refer to tutorials. However, tutorials do not provide an immediate solution of the problem, as for what the mistake is and how one should act in a particular situation. The aim of the study is to reduce the time for contextual information search by, first, developing a dynamic model of training scripts, and second, developing a method to interpret the above model and to find error description.

Materials and methods. Petri net (PN) is an adequate model of action scenarios for a user of a computer application. Petri net links actions and the conditions of their execution. However, in contrast to the actions of the application user, the ability of the operator to perform actions is determined not only by the state of the control interface, but also by the state of the object itself. Thus, it is necessary to improve previously proposed models and methods of their interpretation.

Results. A scenario model in the form of an open Petri net (OPN) is proposed. The model novelty is the dynamic marking of positions with the values of the variables of the control object and the presence of transitions that are triggered when discrete signals of the control system are received. The authors propose the method of interpreting OPN queries which returns reference information relevant to the context. A method of integrating contextual help into simulator which projects the state of the object and the operator's actions on the structure of the OPN is proposed.

Conclusion. The results of the study have been implemented in 215 MW power unit simulator of Surgut State District Power Station №1, which is being developed by Tekon-Avtomatika LLC. The results can be used during development of computer simulators of similar objects. Linear computation efficiency of the access to context information is provided.

Key words: contextual help, computer simulator, Petri net

DOI: 10.17588/2072-2672.2021.3.066-075

Введение. Потребность в создании сред искусственной реальности для отработки навыков оперативного управления сложными энергетическими объектами достаточно давно осознана в инженерном и научном сообществах. Предназначенные для этих целей среды искусственной реальности получили название тренажеров, или симуляторов, в англоязычной традиции – систем подготовки на базе симуляторов (simulation-based training). Под тренажерами принято понимать системы подготовки персонала, обладающие тремя ключевыми признаками [1]:

1) адекватное моделирование производственной реальности;

2) наличие у обучаемого инструментов взаимодействия с этой искусственной

реальностью (оперативные рабочие места, АРМы, имитаторы пультов и щитов);

3) наличие в системе явно сформулированных учебных целей (сценариев тренажа), ролей (инструктор) и ресурсов (должностные инструкции, справочные руководства), обеспечивающих их достижение.

Обобщенная структура тренажера, отражающая отмеченные выше признаки, показана на рис. 1. Она включает два контура управления: контур управления технологическим процессом, замыкающийся на оператора и автоматику, и контур управления обучением, замыкающийся на инструктора и инструктивные материалы. Однако следует заметить, что контур управления обучением, который замыкается через инструктора, реализует обратную связь с запаздыванием, равным продолжи-

тельности тренажа, так как инструктор оценивает работу оператора путем апостериорного анализа записей в журнале регистрации действий. Контур управления обучением через инструктивные материалы и вовсе можно считать разомкнутым, так как справочный ресурс не позиционируется в соответствии с текущим состоянием объекта управления и итеративный поиск справочной информации, соответствующей контексту, осуществляет сам оператор.

По сравнению с использованием для обучения персонала реальных установок, тренажеры обладают рядом неоспоримых преимуществ [2].

1. Процесс подготовки оперативного персонала не имеет ограничений по времени и месту его проведения, демонстрируя гибкость, присущую распределенным системам обучения в целом.

2. Создаваемая при помощи компьютеров искусственная реальность позволяет масштабировать происходящие в объекте процессы, что делает процесс подготовки оперативного персонала более эффективным.

3. Обучение на тренажере позволяет готовить персонал к действиям в условиях аварийных (неисправности в объекте управления, отказы автоматики) и редко встречающихся на практике ситуаций. Это важнейшее преимущество, так как авторы, например [3], утверждают, что «во время освоения новых технологий управления энергоблоками их аварийность по вине операторов составляет от 25 до 80 %».

Необходимость использования тренажеров для подготовки оперативного персонала закреплена на уровне отраслевых нормативных документов. Так, в Правилах

работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации записано, что специальная подготовка, в том числе с использованием учебно-тренировочных средств (программно-технических средств подготовки персонала, включая автоматизированные обучающие системы, тренажеры, полигоны) диспетчерского, оперативного и оперативно-ремонтного персонала, является одной из обязательных форм работы.

Однако внедрение тренажеров, наряду с очевидными преимуществами, имеет и специфические издержки [2]. В частности, высокая вовлеченность обучаемого в управление объектом увеличивает степень его персональной ответственности за принимаемые решения. В то же время, как было отмечено выше, справочные ресурсы, обеспечивающие достижение учебных целей, не предусматривают помощи по запросу в контексте сложившейся ситуации управления. В результате оператор в сложной ситуации вынужден просматривать в поисках решения объемные нормативные и справочные документы, отвлекаясь на детали, не имеющие отношения к возникшей проблеме.

Целью исследования является сокращение времени поиска обучающей информации, релевантной текущему контексту, путем разработки подсистемы контекстной помощи, включающей в себя динамическую модель сценариев тренажа, управляемую состоянием объекта и действиями оператора, и метод ее интерпретации, проецирующий ситуацию ошибки на соответствующий фрагмент справочного материала (рис. 2).

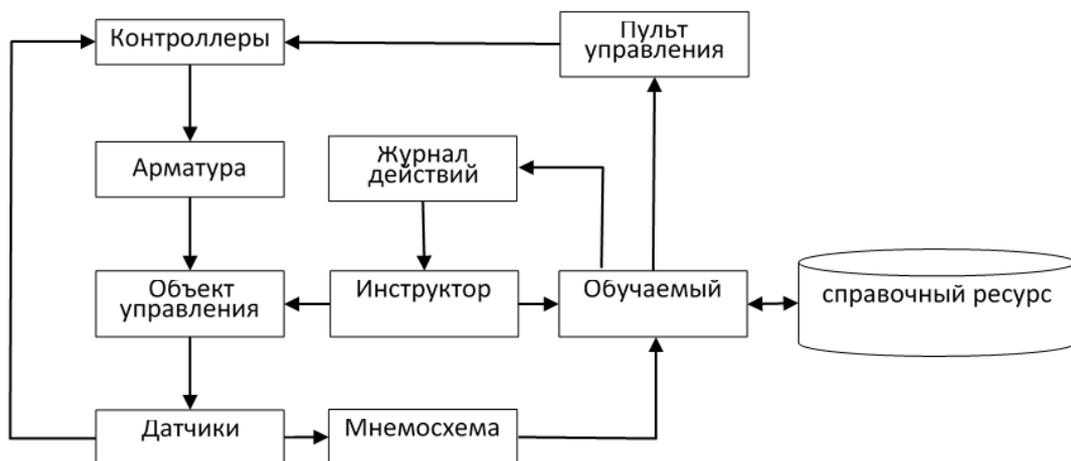


Рис. 1. Обобщенная структура тренажера

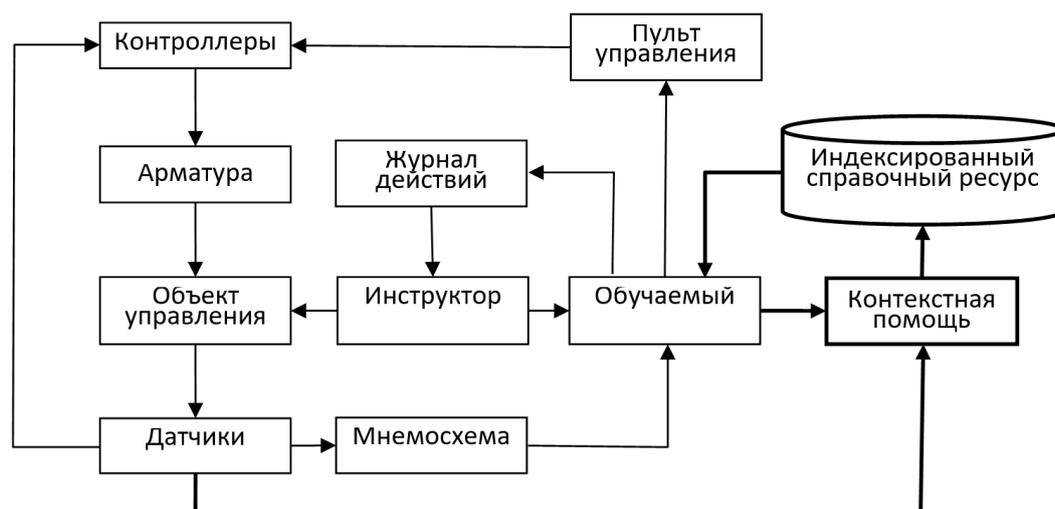


Рис. 2. Подсистема контекстной помощи

Материалы и методы. Предшествующими исследованиями [4] установлено, что наиболее подходящей моделью представления сценариев действий пользователя компьютерного приложения являются сети Петри (СП). Этот выбор аргументирован, с одной стороны, высокой степенью формализации СП как математической модели, которая характеризуется структурой (двудольный ориентированный граф), состоянием (разметка позиций) и поведением (правила активности и срабатывания переходов), а с другой – успешными прецедентами использования СП в системах управления потоками работ (workflow) [5]. Использование типизированных маркеров, условий на дугах и переходах, а также возможность иерархической организации этих переходов приближают СП по изобразительным возможностям к традиционным алгоритмическим языкам с сохранением наглядности, присущей графам, и позволяют применять приемы декомпозиции для управления сложностью СП. Однако применение СП для моделирования сценариев тренажа противоречит допущению, которое связывает изменение состояния СП исключительно со срабатываниями переходов, вызванных действиями пользователя [4], так как сами действия пользователя-оператора обусловлены ограничениями на значения технологических параметров объекта (давление газа, температура пара и т.п.). Таким образом, разметка СП, моделирующей сценарий тренажа, изменяется двумя актерами – оператором, фор-

мирующим команды управления, и комплексом тренажера (СУ и модель), изменяющим значение параметров состояния объекта управления и формирующим команды от СУ. Поскольку разметка может изменяться в функции внешних факторов (значений переменных объекта управления), такую модель предлагается назвать открытой сетью Петри (ОСП), в отличие от обычной СП, где начальная разметка изменяется только в результате срабатывания переходов, вызванного действиями пользователя. Свойство открытости в определении ОСП задается функцией, отображающей множество переменных V объекта управления на множество позиций P ОСП и заданной таблично:

$$F_s : V \rightarrow P.$$

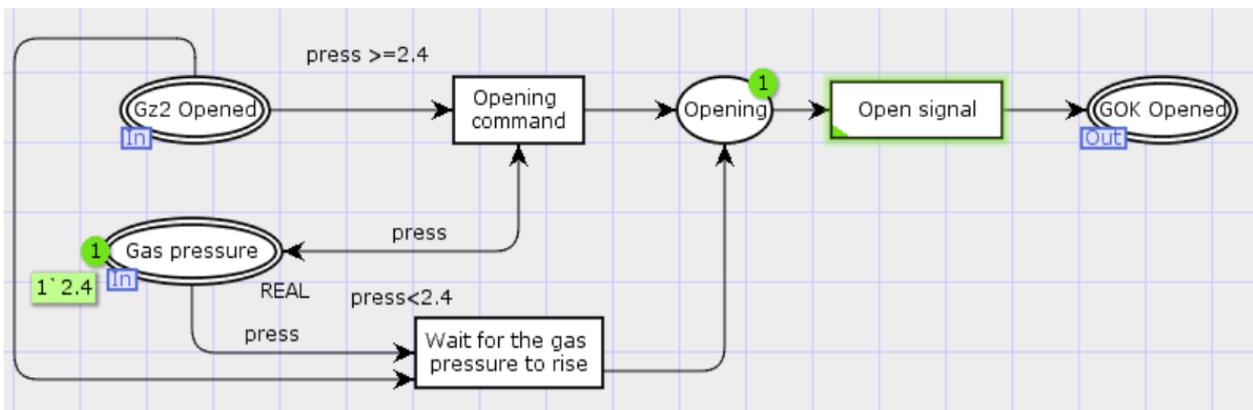
Например, значение вещественной переменной «давление газа» отображается в разметку позиции Gas pressure (рис. 3,а). Значения переменных состояния объекта могут инициировать изменение состояния ОСП, если выполняются условия смены состояния, сформулированные в терминах этих переменных. Для формализации условий смены состояния предлагается использовать описанный в [6] механизм «защиты» (guard) переходов СП. Например, если состояние ОСП должно измениться в результате превышения переменной «давление газа» (press) значения $2,4 \text{ кг/см}^2$, соответствующее условие защиты перехода выглядит как $\text{press} > 2,4$ (рис. 3). Очевидно, что переход не активен, когда условие защиты ложно, и актив-

вен, когда оно истинно. Необходимо отметить, что, так как значение переменной Press определяется внешними по отношению к ОСП факторами, срабатывание перехода ОСП не должно привести к изменению этого значения. Поэтому позиция Gas pressure связана с переходом двунаправленной дугой. Однако срабатывание перехода может изменить разметку ОСП и таким образом активизировать другие переходы, соответствующие командам оператора или СУ. Например, после команды оператора на открытие запорной арматуры Opening Command (рис. 3,а) тренажер начинает моделировать процесс открытия задвижки, который заканчивается срабатыванием концевого выключателя «задвижка открыта» и формированием соответствующего управляющего сигнала СУ, отображающегося в переход СП Open signal (рис. 3,б).

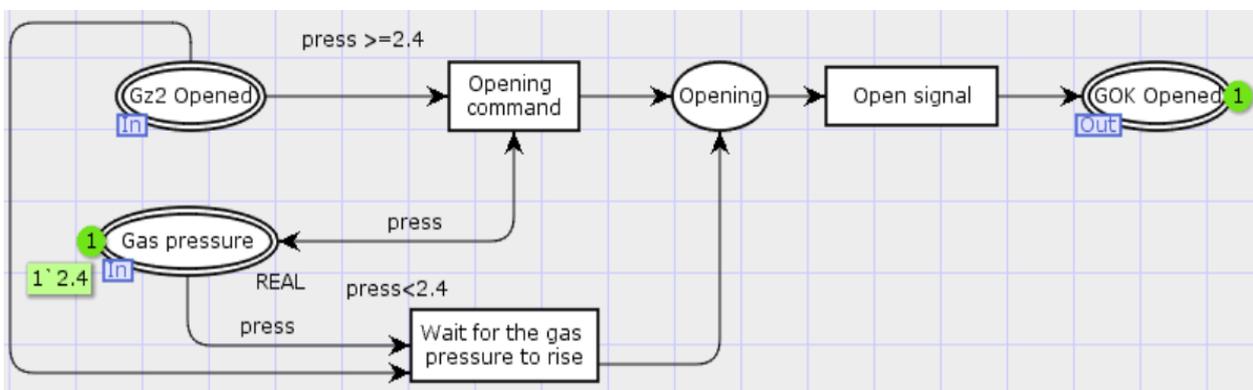
Таким образом, предложенная модель сценариев тренажа в виде открытой СП (ОСП) имеет следующие отличия:

1) динамическую маркировку позиций значениями переменных объекта управления. Позиции ОСП разбиты на два непересекающихся подмножества: P_i – позиции, разметка которых формируется внутри ОС; P_o – позиции, разметка которых формируется извне.

2) наличие переходов, которые срабатывают при выполнении условий, наложенных на значения переменных объекта управления. Переходы ОСП разбиты на два непересекающихся подмножества: T_o – переходы, срабатывание которых активируется оператором; T_c – переходы-датчики, срабатывание которых активируется управляющими сигналами СУ. Отображение множества O действий оператора на множество T переходов ОСП задается при помощи таблично заданной функции $F_o: O \rightarrow T_o$. Отображение множества C команд СУ на множество T переходов ОСП задается при помощи таблично заданной функции $F_c: C \rightarrow T_c$.



а)



б)

Рис. 1. Изменение состояния ОСП в результате внешних воздействий: а – маркировка после срабатывания перехода Opening command (команда оператора); б – маркировка после срабатывания перехода Open signal (команда СУ)

Эти отличия позволяют:

1) моделировать в рамках единого формализма изменения состояния сценария двумя актерами: оператором, формирующим команды управления, и комплексом ОУ – СУ, изменяющим значение параметров состояния объекта управления и формирующим команды от СУ;

2) построить отображение множества переходов ОСП на множество контекстных инструкций в шаблоне «ожидать команду» для переходов из T_0 и контекстных инструкций в шаблоне «выполнить команду» для переходов из T_i .

Результаты. Предложенная модель сценария тренажа в виде ОСП является информационной основой метода интерпретации событий в контексте приложения. Этот метод отличается от рассмотренного в [4] способом интерпретации действий оператора и сигналов о состоянии объекта и системы управления. Располагая информацией о типе события, интерпретатор вычисляет значение одной из таблично заданных функций F .

Если событие заключается в изменении значения переменной v , связанной с позицией $p = F_s(v)$, интерпретатор размещает в этой позиции маркер, соответствующий текущему значению переменной.

Если событие инициировано действием оператора или сигналом датчика СУ, интерпретатор вычисляет соответствующий переход как $t = F_o(o)$ или $t = F_c(c)$. В том случае, когда переход t активен, интерпретатор активирует правило его срабатывания, иначе генерируется сообщение о попытке активации оператором недопустимого действия. Следует заметить, что ситуация ошибки никогда не возникает в контексте обработки сигнала датчика СУ, так как условие активности соответствующего перехода автоматически выполняется в результате действия пользователя, запустившего процесс, об окончании которого сигнализирует датчик.

Обработка события, вызвавшего срабатывание перехода, завершается проверкой наличия активного запроса оператора о действиях, необходимых для выполнения некой операции из текущего контекста. Запрос будем называть активным, если список рекомендованных интерпретатором действий, определяющий последовательность срабатывания переходов ОСП, не отработан оператором до конца. Алгоритм

построения списков рекомендованных действий по дереву достижения запрошенного состояния из текущего контекста ранее описан в [4]. Для дальнейшего обсуждения будем использовать следующие обозначения. Пусть на момент окончания обработки события существует список вариантов действий, не отработанных оператором: $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n)$, где каждый элемент этого списка w_i является списком последовательных действий в рамках соответствующего варианта. С учетом этого обозначения наличие активного запроса – это наличие в множестве вариантов W списка ненулевой длины:

$$\exists w_i \in W : |w_i| > 0.$$

При наличии активного запроса состояние W должно быть актуализовано. Если оператор, следуя пошаговой инструкции системы контекстной помощи, выполнил рекомендованную операцию w_{j1} , соответствующую первому элементу хотя бы одного варианта из W , то:

- из W удаляются все списки w_j , которые начинаются с $w_{j1} \neq w_{j1}$, так как они не соответствуют последовательности действий пользователя и далее не рассматриваются:

$$W = W \setminus \{w_j \in W : w_{j1} \neq w_{j1}\};$$

- из всех списков $w_j \in W$ удаляются w_{j1} :

$$w_j = w_j \setminus \{w_{j1}\}.$$

Если оператор «ушел с маршрута», выполнив доступное действие, не рекомендованное вариантами из W , это равносильно отказу от пошаговых рекомендаций и приводит к сбросу активности запроса:

$$W = \emptyset.$$

Рассмотрим работу выше описанного алгоритма для абстрактного примера. Пусть для СП (рис. 4) пользователь запрашивает пошаговую помощь для достижения состояния, обусловленного наличием маркера в позиции 7.

Для запрошенного состояния строится дерево – подграф инвертированной СП (рис. 5). Дерево перерабатывается в список $W = ((a, c, f), (a, d, g), (b, e, h))$. Очевидно, что пользователю будет предложено выполнить действия, связанные с переходом a либо b .

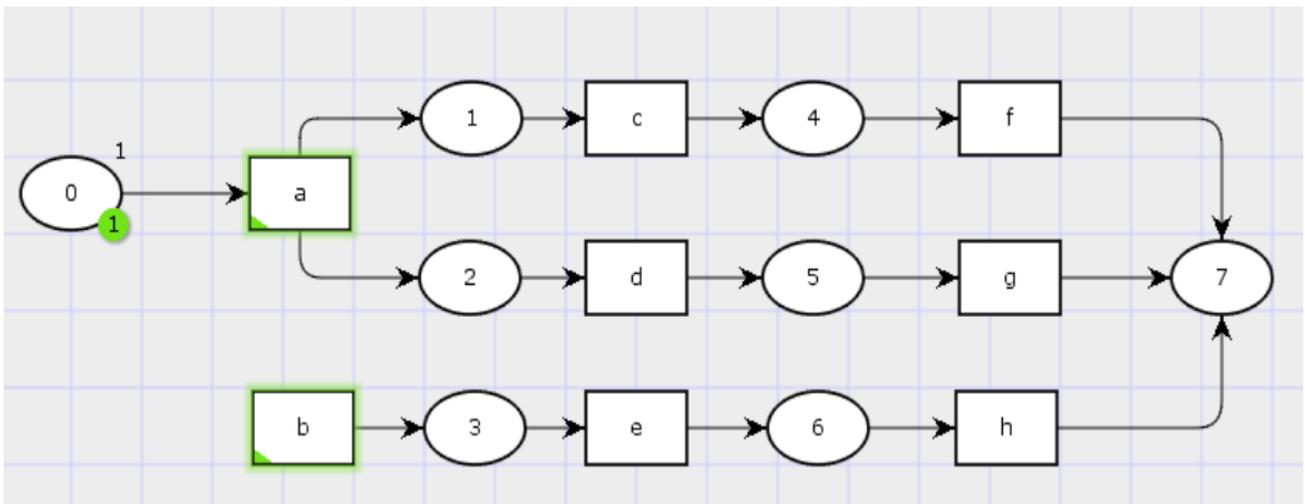


Рис. 4. ОСП для абстрактного примера

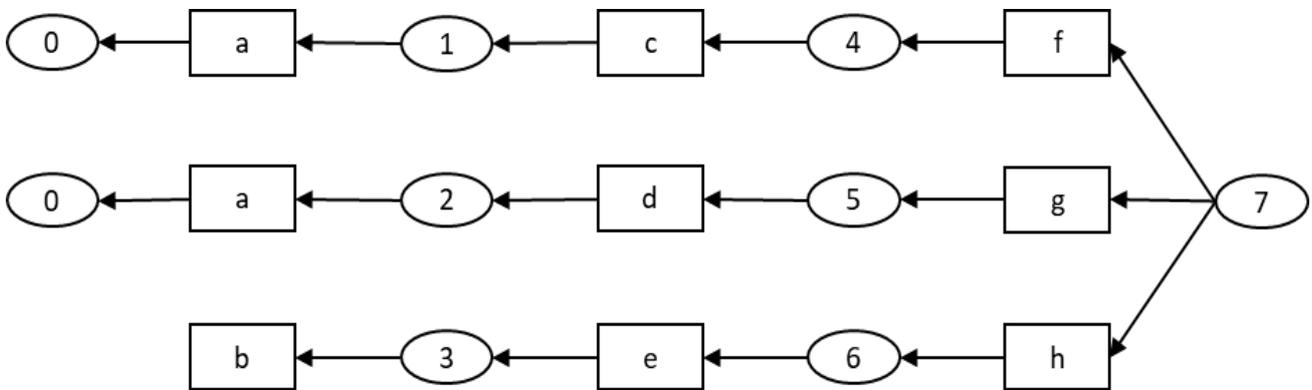


Рис. 5. Дерево на СП

Допустим, пользователь, следуя рекомендациям, выполняет действие w_{i1} , такое что $F_o(w_{i1}) = a$. Из W удаляются все w_j , которые начинаются с $w_{j1} \neq w_{i1}$, в оставшихся вариантах удаляются первые действия, после этого $W = ((c, f), (d, g))$. Пользователю рекомендуется выполнить действия, связанные с переходом с либо d . Дальнейшие действия пользователя и системы уменьшают количество вариантов и конкретизируют путь достижения запрошенного состояния.

Предлагается также способ интеграции СКП (системы контекстной помощи) виртуально по стандартным каналам ввода/вывода программируемого логического контроллера (ПЛК), необходимым для обмена данными с ОУ. Для успешной интеграции необходимо задать таблицами функциональные соответствия F_o, F_c, F_s . Для привязки переходов СП к разделам индексированного файла помощи также

необходима табличная модель соответствия переходов индексам справочного ресурса. Таким образом, интеграция предложенного инструмента требует минимума трудозатрат, так как не предполагает изменения исходного кода тренажера и ограничивается вычислением таблично заданных функций.

Описанный метод был апробирован на разрабатываемом компанией ООО «ТеконАвтоматика» приложении «Тренажер энергоблока 215 МВт Сургутской ГРЭС-1». Вместе с виртуальными ПЛК, выполняющими техпрограммы СУ и моделирующими ОУ, запускается интерпретатор ОСП, который изменяет состояние сетевой модели в соответствии с действиями оператора и изменением состояния тренажера. После запроса помощи по описанному в [4] алгоритму высчитываются все наборы действий, выполнение которых приведет систему в запрошенное состояние.

Рассмотрим фрагмент сценария проверки заполнения газопроводов котла при-

родным газом. Разработчик описывает сценарий следующим образом. «Проверка заполнения газопроводов котла природным газом осуществляется путем поочередного открытия запорной арматуры газопровода в следующей последовательности:

1. 11ННГ00АА001 (ГЗ-1);
2. 11ННГ00АА002 (ГЗ-2);
3. 11ННГ00АА002 (ГОК);
4. 11ННГ00АА801 (ГР);

После открытия 11ННГ00АА002 (ГЗ-2) проконтролировать повышение давления газа к котлу 11ННГ00СР001 до $2,4 \text{ кг/см}^2$ » (сценарий приведен в «Программе и методике проведения предварительных испытаний тренажера конденсационного энергоблока 215 МВт Сургутской ГРЭС-1»). Очевидно, что процесс открытия запорной арматуры должен быть обработан в 2 шага – команда на открытие от пользователя и сигнал об открытии (привязка к действиям пользователя) с концевого выключателя (привязка к действиям системы). ОСП для данного сценария представлена на рис. 6.

Наибольший интерес представляет подстановочный переход Open GOK (рис. 3,а), так как сочетает в себе все виды внешних воздействий на ОСП, упомянутые выше. В данной подсети переход Opening command привязан к действию пользователя, переход Open signal связан с дискретным сигналом с концевого выключателя запорной арматуры (действие системы). Маркировка позиции Gas pressure привязана к значению переменной (датчика) ОУ – давлению газа. Изменение маркера происходит в обход логики работы замкнутых СП. Значение обновляется при каждом цикле работы контроллера.

Топологический анализ данной сети позволяет вычислить множество вариантов последовательностей действий, приводящих из начального состояния в конечное, а привязка – корректно изменять состояние СП и отображать доступные действия. Пе-

реход Wait for pressure bar (рис. 3,а) не связан с действиями системы и пользователя, активен, пока не активны дальнейшие действия пользователя, и необходим для отображения подсказки «Дождитесь повышения давления».

Последовательность действий, полученных при топологическом анализе, может содержать в себе как действия пользователя, так и действия системы. Единственным отличием обработки таких переходов является их отекстовка для пользователя по шаблону, описанному выше.

Полученный инструмент может быть выпущен в виде динамически подключаемой библиотеки в случае, когда математическая модель и станция оператора находятся на одной машине, либо в виде сетевой службы. В обоих случаях продукт предоставляет интерфейс установки значений привязанных переменных и запроса и получения контекстной помощи.

Ниже приведена трассировка отработки сценария с запущенным приложением контекстной помощи. В данном случае запрошена помощь «Проверка заполнения газопроводов природным газом», когда ГЗ-1 уже открыта (рис. 7). На рис. 7 представлена мнемосхема, с помощью которой оператор управляет ОУ; в нижнем правом углу представлено окно контекстной помощи; порядок действий оператора и команд системы подписан на мнемосхеме (первым предложенным действием является 3).

После подачи команды открытия ГЗ-2 (согласно предложенной подсказке) появляется подсказка «Ожидать команду «Сигнал с КВ»» (действие 4).

Как только ГЗ-2 открыта, система контекстной помощи предлагает дождаться повышения давления до заданного значения (действие 5) и только после этого продолжить открытие запорной арматуры (действия 6–7).

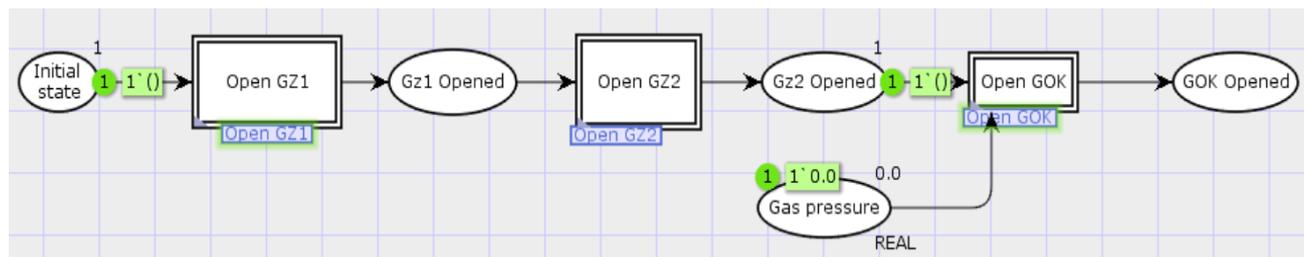


Рис. 6. СП для фрагмента сценария «Заполнение газопроводов котла природным газом»

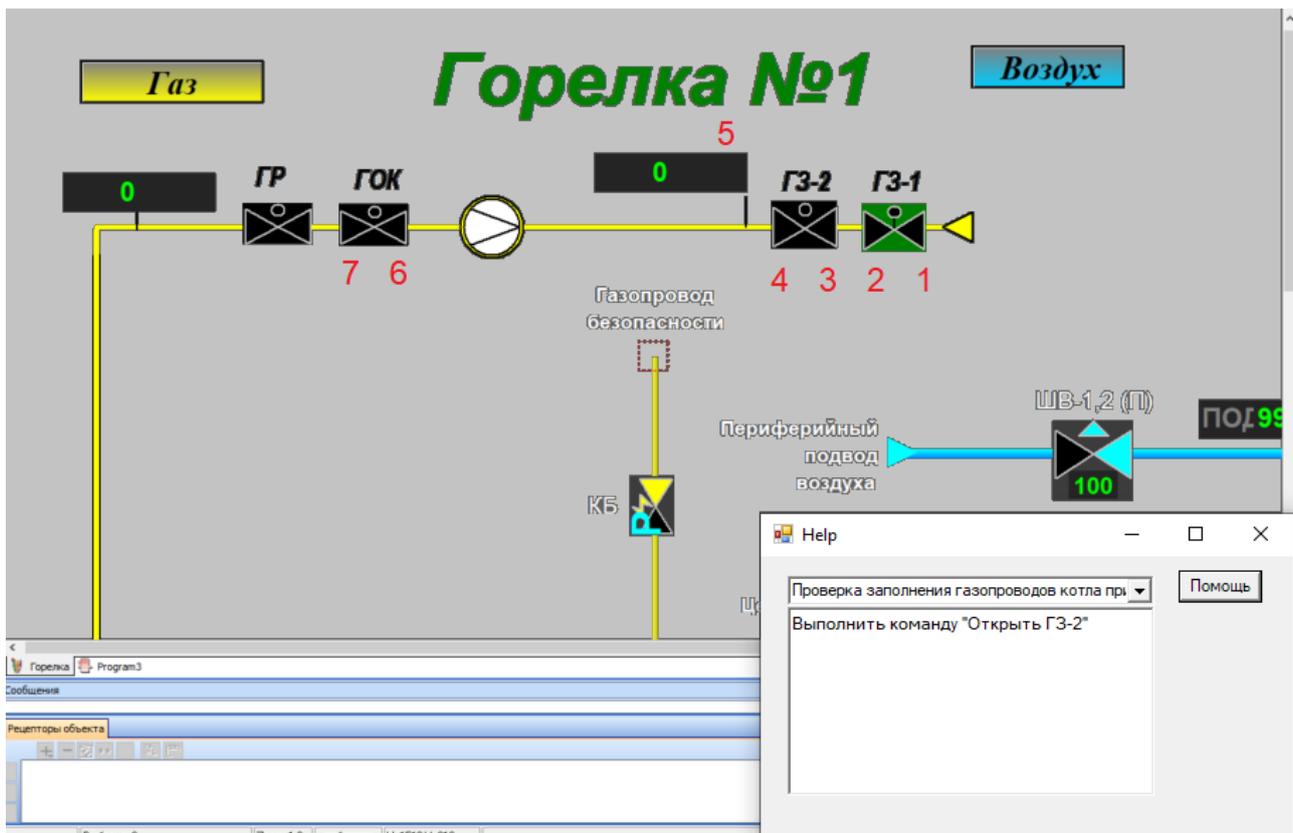


Рис. 7. Обработка сценария «Заполнение газопроводов котла природным газом»

Выводы. Достоверность результатов исследования подтверждается использованием разработанного метода в составе разрабатываемого тренажера энергоблока 215 МВт Сургутской ГРЭС-1. Предложенные подходы позволяют организовать контекстную помощь обучающимся для заранее известных сценариев с минимальными изменениями кода тренажера. Привязка маркировки СП к переменным и переходов к действиям пользователя и датчикам математической модели позволяет адекватно отображать состояние тренажера в ОСП.

Комплекс тренажера с инструментом контекстной помощи позволяет повысить производительность обучения путем уменьшения количества вариантов действий от $n!$ (в худшем случае) до $\sum_{i=1}^n k_i$, где

k_i – количество возможных вариантов на каждом шаге; n – количество шагов.

Полученный инструмент может быть использован в составе различных тренажеров, так как предоставляет интерфейс установки значений и отправки сигналов о действиях пользователя или системы, а этого достаточно для отслеживания состо-

яния приложения и предоставления пошаговой помощи с обработкой ошибочных действий.

Список литературы

1. Дудырев Ф.Ф., Максименкова О.В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // Вопросы образования. – 2020. – № 3. – С. 255–276.
2. Bell B.S., Kanar A.M., Kozlowski S.W.J. Current issues and future directions in simulation-based training in North America // The International Journal of Human Resource Management. – 2008. – Т. 19, № 8. – С. 1416–1434.
3. Виноградов А.Л., Киселев А.И. О разработке тренажеров ТЭС на современном этапе // Вестник ИГЭУ. – 2014. – Вып. 2. – С. 13–17.
4. Метод формирования контекстной помощи пользователю компьютерного приложения в процессе решения прикладной задачи / Е.Р. Пантелеев, А.А. Мукучян, М.А. Кузнецов, А.Л. Алыкова // Вестник ИГЭУ. – 2020. – Вып. 5. – С. 64–76. DOI: 10.17588/2072-2672.2020.5.064-076
5. INCOME/WF – A Petri net based approach to workflow management / A. Oberweis, R. Schätzle, W. Stucky, et al. //

Wirtschaftsinformatik'97, Physica. – Heidelberg, 1997. – S. 557–580.

6. **CPN tools** for editing, simulating, and analysing coloured Petri nets / A.V. Ratzler, L. Wells, H.M. Lassen, et al. // International Conference on Application and Theory of Petri Nets. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – S. 450–462.

References

1. Bell, B.S., Kanar, A.M., Kozlowski, S.W.J. Current issues and future directions in simulation-based training in North America. *The International Journal of Human Resource Management*, 2008, vol. 19, no. 8, pp. 1416–1434.

2. Dudyrev, F.F., Maksimenkova, O.V. Simulyatory i trenazhery v professional'nom obrazovanii: pedagogicheskie i tekhnologicheskie aspekty [Simulators and training equipment in vocational education: pedagogical and technological aspects]. *Voprosy obrazovaniya*, 2020, no. 3, pp. 255–276.

3. Vinogradov, A.L., Kiselev, A.I. O razrabotke trenazherov TES na sovremennom etape

[On the development of simulators for thermal power plants at the present stage]. *Vestnik IGEU*, 2014, issue 2, pp. 13–17.

4. Panteleev, E.R., Mukuchyan, A.A., Kuznetsov, M.A., Alykova, A.L. Metod formirovaniya kontekstnoy pomoshchi pol'zovatelyu komp'yuternogo prilozheniya v protsesse resheniya prikladnoy zadachi [Method of context-dependent assistance for software user solving an applied task]. *Vestnik IGEU*, 2020, issue 5, pp. 64–76. DOI: 10.17588/2072-2672.2020.5.064-076

5. Ratzler, A.V., Wells, L., Lassen, H.M., Laursen, M., Qvortrup, J.F., Stissing, M.S., Westergaard, M., Christensen, S., Jensen, K. CPN tools for editing, simulating, and analysing coloured Petri nets. *International Conference on Application and Theory of Petri Nets*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003, pp. 450–462.

6. Oberweis, A., Schätzle, R., Stucky, W., Weitz, W., Zimmermann, G. INCOME/WF – A Petri net based approach to workflow management. *Wirtschaftsinformatik'97, Physica*. Heidelberg, 1997, pp. 557–580.