

УДК 004

*Ю. В. Ланских, К. В. Родионов,  
А. В. Лапихин, В. А. Тимошенко*

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Актуальность исследуемой проблемы обусловлена тем, что современные средства автоматизации промышленного производства постоянно совершенствуются и усложняются, что требует непрерывного повышения квалификации работников, а также их профессиональной переподготовки. В связи с этим данная статья направлена на выявление общих закономерностей информационного моделирования промышленного виртуального тренажера. Ведущим методом исследования данной проблемы является информационное моделирование, позволяющее комплексно рассмотреть концепцию промышленного виртуального тренажера. В статье представлен общий анализ задач в области производственного тренинга и разработана его концептуальная модель, рассмотрены задачи автоматизации самого тренинга и создания тренажеров для него. В статье приводится и рассматривается вариант структуры промышленного виртуального тренажера. Материалы статьи представляют практическую ценность для промышленных предприятий, реализующих программы модернизации собственной технической базы и, как следствие, нуждающихся в высококвалифицированных кадрах для работы с современным оборудованием.

*Ключевые слова:* информационная модель, промышленность, виртуальные тренажеры, концептуальная модель.

Важность и сложность задач профессиональной подготовки и переподготовки давно оценена крупнейшими промышленными предприятиями [6]. Сложность и многообразие используемых технологий, высокая степень автоматизации, а также факторы микро- и макроокружения (высокий уровень конкуренции, высокие требования потребителя, жесткие экономические условия и законодательные ограничения и т. п.) влекут необходимость оптимизации рас-

хода ресурсов, повышения производительности, повышения экологической безопасности продукции и производства. Все эти факторы формируют современный набор требований к квалификации работника, и эти требования достаточно высоки [8]. Оператору, ответственному за производственный процесс, приходится иметь дело с вредными и опасными производственными процессами, высокотехнологичным и дорогостоящим оборудованием, дорогостоящим сырьем и готовой продукцией. Это означает необходимость высокой степени подготовленности работника. Профессиональное обучение на практике, методом «проб и ошибок» должно быть сведено к нулю, поскольку является слишком дорогостоящим, зачастую – опасным.

Наилучшую подготовку работника к современным производственным условиям способно дать использование тренажеров – подход, давно оцененный в военном деле [2], авиации [7] и некоторых других отраслях, где высокие гуманитарные, экономические и экологические риски являются неотъемлемыми. Уровень этих рисков делает второстепенным вопрос стоимости создания такого тренажера. Тренажер должен быть максимально аутентичным, т. е. максимально качественно моделировать реальную ситуацию, создавать полную иллюзию присутствия в реальной ситуации, выполнения некоторых действий и воспроизводить последствия этих действий. Это означает, в числе прочего, необходимость обеспечения максимального качества моделирования предметной области в тренажере. Эти модели, в зависимости от проблемной ориентации, требуют привлечения разнообразных теоретических дисциплин. Более того, процессы во многих отраслях имеют комплексный характер и требуют применения аппарата моделирования, основанного на комплексе научных дисциплин. При этом, безусловно, полноценное моделирование требует как использования априорно известных соотношений, так и результатов наблюдений за реальной системой, для многих производств – многомесячных.

Указанные факторы делают процесс моделирования продолжительным, уникальным, включающим элементы ручного анализа и принятия решений,

безусловно, дорогостоящим, что оправдано в областях, сопряженных с высокими уровнями рисков.

Однако массовый, на сегодняшний день, характер задач организации производственного тренажерного обучения «раздробил» рынок тренажеров, сформировав в нем сегменты, требующие более экономичных подходов.

Оказывается допустимым снижение требований к качеству моделирования предметной области. Совокупность модельной аналитики может быть значительно упрощена в случаях, когда требуется обучить оператора распознавать некоторые типовые производственные ситуации и типовым образом реагировать на них.

Целью данного исследования является выявление общих закономерностей информационного моделирования промышленного виртуального тренажера.

Анализ работы оператора современного производства позволяет привести большое множество примеров, когда несколько событий, наблюдаемых оператором, должны являться причиной определенной совокупности его действий. При этом данные события в общем случае могут быть распределены по времени и по множеству всех возможных событий, каждое из которых характеризуется совокупностью значений наблюдаемых параметров. По совокупности наблюдаемых событий оператор должен одновременно осуществить диагностику ситуации и сформировать последовательность своих действий. В зависимости от оперативности и корректности реакции оператора (от того, на какой стадии некоторого процесса оператор начнет запускать управляющие воздействия) находится и требуемая последовательность его действий, и ее результативность.

Упрощение подхода приводит к формулировке концепции «состояние-событие-действие»:

Непрерывное (в силу природы наблюдаемых параметров) пространство состояний производственной системы можно дискретизировать и свести к конечному множеству возможных состояний.

Переход из состояния в состояние возможен в результате событий и действий пользователя.

Действия пользователя (задание уровней управляющих воздействий, установка вентилей и переключателей) моделируются установкой определенных значений некоторых переменных.

Тогда пространство состояний системы описывается в виде графа [3, 5]:

$$G = \langle S, T \rangle, \quad (1)$$

где  $S$  – множество состояний (вершин графа),

$T$  – множество переходов между состояниями.

В свою очередь множество  $T$  описывается следующим образом:

$$T = \{ \langle s_1, s_2, e | a \rangle \}, \quad (2)$$

где  $s_1$  – состояние, из которого выполнен переход,

$s_2$  – состояние, в которое выполнен переход,

$e$  – событие,

$a$  – действие оператора.

Рассмотрим возможные подходы к формализации описания пространства состояний. Будем считать исчерпывающей для описания множества параметров системы следующую номенклатуру разновидностей параметров: вещественные, номинальные, булевы (дихотомические). При наблюдении вещественных параметров существенными также могут являться дифференциалы этих параметров, поскольку при прочих равных условиях такие явления, как, например, возрастание давления и убывание давления, могут расцениваться как принципиально разные ситуации. Открытым остается вопрос о необходимой глубине дифференцирования вещественных параметров. Из общелогических соображений предположим необходимость анализа производных первого и второго порядков.

Таким образом, множество измерений непрерывного пространства состояний определяется формулой:

$$D = R \times DR \times DDR \times N \times B, \quad (3)$$

где  $R = \{pr_1, pr_2, \dots\}$  – множество вещественных параметров,

$$DR = \left\{ \frac{dpr_1}{dt}, \frac{dpr_2}{dt}, \dots \right\} \text{ – множество первых производных вещественных па-}$$

раметров,

$$DDR = \left\{ \frac{d^2 pr_1}{dt^2}, \frac{d^2 pr_2}{dt^2}, \dots \right\} \text{ – множество вторых производных вещественных}$$

параметров,

$$N = \{pn_1, pn_2, \dots\} \text{ – множество номинальных параметров,}$$

$$B = \{pb_1, pb_2, \dots\} \text{ – множество булевых параметров.}$$

При дискретизации пространства состояний получается их конечное множество (например, «запуск системы», «выполнение загрузки сырья», «штатный процесс варки», «перегруз энергосистемы», «утечка реагента», «перегрев» и т. п.). Каждый элемент этого множества представляет собой область пространства состояний, ограничиваемую поверхностью, определяемой функцией

$$F \left( pr_1, pr_2, \dots, \frac{dpr_1}{dt}, \frac{dpr_2}{dt}, \dots, \frac{d^2 pr_1}{dt^2}, \frac{d^2 pr_2}{dt^2}, \dots, pn_1, pn_2, \dots, pb_1, pb_2, \dots \right) \quad (4)$$

В общем случае очевидно, аргументы ограничивающей функции взаимозависимы, что и приводит к необходимости формирования такой функции, определение порядка которой требует детального исследования предметной области, что в сочетании с большим количеством параметров делает сложность задачи описания состояний системы несоизмеримой с целями обучения.

Приближительное решение позволяет получить описание каждого дискретного состояния как гиперпараллелепипеда в пространстве состояний, т. е. задание граничных значений каждого параметра для данного состояния.

Решая задачу построения тренажера (а не точного моделирования реальной ситуации) и учитывая, что в (2) уже указаны состояния, связанные перехо-

дом, можно заключить, что события в большинстве случаев состоят в регистрации прохождения некоторого времени от момента нахождения в состоянии. В реальности события могут состоять, разумеется, в завершении некоторых производственных процессов, возникновении неполадок того или иного оборудования, однако, при построении сценариев для тренажера достаточно временных отметок.

Действия пользователя представляют собой установку некоторого значения параметра:

$$a = \langle p, vp \rangle, \quad (5)$$

где  $p$  – параметр,

$vp$  – значение параметра, выбираемое из множества допустимых значений

$$p = \langle PName, PDomain \rangle, \quad (6)$$

где  $PDomain$  – описание типа и диапазона значений параметра, из которого и выбирается  $vp$ .

В данном случае ограничиваемся рассмотрением логики изменения данных, не учитывая логику формирования изображений тренажера.

В итоге информационная модель [4] тренажерной ситуации примет вид:

$$M = \langle S, E, A, IS \rangle, \quad (7)$$

где  $S$  – множество состояний (1),

$E$  – множество событий,

$A$  – множество действий пользователя,

$IS$  – начальное состояние.

Состояния описываются множеством пар «параметр-значение»:

$$S = \{ \langle p, vp \rangle \}, \quad (8)$$

где  $p$  – параметр,

$vp$  – значение.

Поскольку в число параметров входят производные вещественных параметров, данная несложная концепция позволяет выполнять грубое моделирова-

ние (исключительно в целях визуализации для тренируемого) и динамики процессов.

События представляют собой переход из состояния в состояние в заданный момент в случае, если действия пользователя не вызвали более ранний переход:

$$E = \{ \langle s_1, s_2, t \rangle \}, \quad (9)$$

где  $s_1$  – состояние, в котором происходит событие,

$s_2$  – состояние, в которое приводит событие,

$t$  – заданный момент времени.

Действие определяется, как и событие, связываемыми состояниями, минимальным и максимальным временем, когда оно может быть произведено, и устанавливаемым значением параметра:

$$A = \{ \langle s_1, s_2, t_{\min}, t_{\max}, v, vp \rangle \}, \quad (10)$$

где  $t_{\min}$  – начальный момент времени, когда действие допустимо,

$t_{\max}$  – конечный момент времени, когда действие допустимо.

Выполним теперь функционально-структурный анализ проектируемого тренажера [1]. Главной функцией системы является:

$$F^0 : \text{Тренинг} \quad (11)$$

Понятие «Тренинг» будет включать в себя и генерацию модели состояния системы, которая в дальнейшем должна быть визуализирована, и обработку действий пользователя. Таким образом, декомпозиция этой функции будет выглядеть так:

$$F^0 : \begin{cases} F^1 : \text{Загрузка модели} \\ F^2 : \text{Обработка событий и действий} \\ F^3 : \text{Трансляция действий пользователя} \end{cases} \quad (12)$$

## Технические науки

При формировании структуры системы модули  $F^1$ ,  $F^2$ ,  $F^3$  назовем соответственно «Процессор моделей», «Процессор состояний», «Процессор действий» (рис. 1).

Функциональность процессора моделей состоит в работе с базой данных (БД) моделей, где каждая модель представляет собой описание какой-то совокупности возможных сценариев производственной ситуации, воспроизводимой тренажером:



Рис. 1. Структура промышленного виртуального тренажера

## Технические науки

$$F^1 : \begin{cases} F_1^1 : \text{Загрузка состояний} \\ F_2^1 : \text{Загрузка событий} \\ F_3^1 : \text{Загрузка действий} \end{cases} . \quad (13)$$

Функциональность процессора состояний декомпозируется следующим образом:

$$F^2 : \begin{cases} F_1^2 : \text{Инициализация состояния} \\ F_2^2 : \text{Организация циклического управления} \\ F_3^2 : \text{Обработка событий} \\ F_4^2 : \text{Обработка действий} \end{cases} . \quad (14)$$

Инициализация состояния заключается в установке значений параметров в соответствии с заданными в начальном (инициализирующем) состоянии системы  $IS$  (7). Организация циклического управления подразумевает циклической (с заданным временным интервалом, достаточно малым для адекватного моделирования процессов системы) опрос описанных событий и очереди действий пользователя. Соответственно, изменение параметров состояния в случаях, когда событие следует считать совершившимся либо действие произведено, выполняют функции  $F_3^2$  и  $F_4^2$ .

Для формирования БД моделей необходима система формирования моделей. Функционально ее можно отнести к категории САПР (систем автоматизированного проектирования). Главная функция САПР ВТ (виртуальных тренажеров):

$$F^0 : \text{Формирование модели} . \quad (15)$$

Декомпозиция этой функции будет выглядеть так:

$$F^0 : \begin{cases} F^1 : \text{Создание модели} \\ F^2 : \text{Создание доменов параметров} \\ F^3 : \text{Создание параметров} \\ F^4 : \text{Создание состояний} \\ F^5 : \text{Создание событий} \\ F^6 : \text{Создание действий} \end{cases} . \quad (16)$$

Авторы ведут работу в сотрудничестве с одним из предприятий деревоперерабатывающей отрасли. Постановка задач разработана в контакте со

специалистами предприятия. Планируется реализация ВТ и САПР ВТ в архитектуре Интернет/Интранет.

Создание ВТ позволит расширить внутреннюю работу предприятия по обеспечению профессионального уровня сотрудников, повысить готовность сотрудников предприятия к нештатным ситуациям, тем самым сократить уровень брака, оптимизировать использование ресурсов, повысить производительность предприятия.

### Список литературы

1. *Балашов Е. П., Пузанков Д. В.* Проектирование информационно-управляющих систем. М.: Радио и связь, 1987. 256 с.: ил.
2. *Браславский П. И.* Новое лицо войны – виртуальная реальность. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.elibrary.lt/resursai/Uzsienio%20leidiniai/MFTI/2003/100.pdf> (дата обращения: 03.02.2017).
3. *Васильев В. В., Радугин Е. А.* Электронные модели задач на графах / АН УССР. Киев: Наук. думка, 1987. 151 с.: ил.
4. *Ланских Ю. В., Родионов К. В.* Формализация задачи построения информационного фонда виртуального лабораторного комплекса // Современные тенденции естественно-математического образования: школа – вуз: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 апреля 2016 года: в 2 ч. Ч. 1 / Соликамский государственный педагогический институт (филиал) ФГБОУ ВО «ПГНИУ»; сост. Т. В. Рихтер. Соликамск: СГПИ, 2016. С. 45–48.
5. *Павлов В. В.* Полихроматические множества и графы в структурном моделировании свойств технических систем: прилож. к журн. «Информационные технологии». М.: Новые технологии, 2008. № 2. 32 с.
6. *Пугачев В. М., Газенаур Е. Г.* Роль информационных технологий в науке и образовании // Вестник Кемеровского государственного университета. 2009. № 3. С. 31–34.
7. *Трухин А. В.* Анализ существующих в РФ тренажёрно-обучающих систем. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://ido.tsu.ru/files/pub2008/8.pdf> (дата обращения: 03.02.2017).
8. *Украинский О. В.* Профессиональные стандарты: новые требования к квалификации работников предприятий. URL: <http://prominf.ru/article/professionalnye-standarty-novye-trebovaniya-k-kvalifikacii-rabotnikov-predpriyatij> (дата обращения: 02.02.2017).

**ЛАНСКИХ Юрий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и телемеханики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: lyuv@inbox.ru

**РОДИОНОВ Кирилл Владиславович** – аспирант, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: xorn2.0@rambler.ru

**ЛАПИХИН Андрей Владиславович** – студент, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: lagroov1612@gmail.com

**ТИМОШЕНКО Владислав Андреевич** – студент, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: tiprog298@gmail.com