Оригинальная статья

УДК 355.233.21: 623.592 © И.С. Полевщиков✉[1,2], 2026

[1] ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», 125080, г. Москва, Россия
[2] ФГАОУ ВО «ПНИПУ», 614990, г. Пермь, Россия
✉ e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

Original Paper

UDC 355.233.21: 623.592 © I.S. Polevshchikov[1,2], 2026

[1] ROSBIOTECH – Russian Biotechnological University, Moscow, 125080, Russian Federation
[2] Perm National Research Polytechnic University (PNIPU), Perm, 614990, Russian Federation
✉ e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

Концептуальные основы разработки тренажерных комплексов для обучения операторов технологических установок на основе автоматизированной системы контроля*

Conceptual foundations for the development of training complexes for operators of process units based on an automated control system

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-1-67-72

Разработана концепция компьютерных тренажерных комплексов (КТК) для обучения операторов технологических установок, в частности в горнодобывающей отрасли, на основе автоматизированной системы контроля (АСК) формирования сенсомоторных навыков. Рассматриваемые КТК отличаются от известных множеством взаимосвязанных подсистем, применение которых обеспечивает функциональные возможности настройки упражнений для обучения навыкам эксплуатации технологических установок, автоматическое формирование индивидуальных вариантов упражнений обучаемым, автоматическое оценивание результатов их выполнения. В соответствии с общей концепцией разработаны методы моделирования упражнений в КТК на основе формализованного представления виртуальных технологических процессов. Представленные методы являются основой разработок специализированного программного и информационного обеспечения КТК, обладающих функциональными возможностями вариативной настройки параметров предметной области технологического процесса, выполнения и автоматического оценивания упражнений в зависимости от задач обучения, требуемого уровня сложности упражнений. Результаты исследования планируются к внедрению для профессиональной подготовки персонала в учебных заведениях и обучения непосредственно на предприятиях.

Ключевые слова: *математическое моделирование, компьютерный тренажерный комплекс, автоматизированная си-*

ПОЛЕВЩИКОВ И.С.
Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами,
доцент кафедры информатики и вычислительной техники пищевых производств,
ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»,
125080, г. Москва, Россия,
доцент кафедры информационных технологий и автоматизированных систем,
ФГАОУ ВО «ПНИПУ»,
614990, г. Пермь, Россия,
e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10162, https://rscf.ru/project/23-79-10162/.*

стема контроля, технологические процессы, обучение персонала горнодобывающей отрасли.

Для цитирования: Полевщиков И.С. Концептуальные основы разработки тренажерных комплексов для обучения операторов технологических установок на основе автоматизированной системы контроля // Уголь. 2026;(1): 67-72. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-1-67-72.

Abstract

A concept has been developed for computer-based training complexes for training operators of process units, especially in the mining industry, based on an automated control system for developing sensorimotor skills. The computer-based training complexes under consideration are different from the known ones by a set of interconnected subsystems, which application provides functional capabilities to customize exercises for training in the operation of process units, as well as automatic formation of individual exercise options for the trainees, and automatic evaluation of their performance results. Methods for modelling exercises in the computer-based training complex have been developed in accordance with the general concept and based on a formalized representation of the virtual technological processes. The methods presented are the basis for developing a dedicated software and information system for the computer-based training complexes with the possibility to adjust parameters of the subject area of the technological process, perform and automatically evaluate exercises depending on the training objectives and the required level of the exercise complexity. The research results are planned to be implemented for professional training of personnel in educational institutions and training programmes immediately in companies.

Keywords

Mathematical modelling, computer-based training complex, automated control system, technological processes, training of personnel in the mining industry.

Acknowledgments

The study was financially supported by the Russian Science Foundation under research project No. 23-79-10162, https://rscf.ru/project/23-79-10162/.

For citation

Polevshchikov I.S. Conceptual foundations for the development of training complexes for operators of process units based on an automated control system. *Ugol'*. 2026;(1):67-72. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-1-67-72.

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональное обучение операторов производственных процессов в различных отраслях промышленности, в частности в горнодобывающей отрасли [1], является важной задачей в условиях современной социально-экономической ситуации, проблем продовольственной безопасности, импортозамещения, технологического суверенитета [2, 3]. Качественное и безопасное выполнение производственных процессов зависит от владения операторами на требуемом уровне профессиональными сенсомоторными навыками работы на оборудовании.

Применение компьютерных тренажеров и аналогичных средств автоматизированного обучения позволяет интенсифицировать процесс профессиональной подготовки персонала различных отраслей, способствует лучшему формированию знаний и навыков [4, 5, 6].

Следует отметить современные исследования по созданию тренажеров и других аналогичных программно-аппаратных средств, в частности тренажеров в сферах промышленности [7], энергетики [8], транспорта [9, 10, 11, 12], виртуальных лабораторий и цифровых двойников [13, 14, 15].

Анализируя существующие исследования, релевантные тематике создания и применения тренажеров и других компьютерных средств обучения, выделим несколько ключевых недостатков в части формирования профессиональных сенсомоторных навыков у операторов технологических установок:

– автоматизированный контроль формирования элементов компетенций у специалистов основан в значительной степени на тестировании знаний или трудоемкой дистанционной проверке учебных заданий преподавателем, что недостаточно для контроля формирования сенсомоторных навыков у операторов;

– значительное число работ (например, доктора технических наук В.М. Дозорцева [4]) посвящено созданию тренажеров для формирования у операторов навыков контроля технологических процессов, осуществляемых преимущественно автоматически (главным образом для энергетической и нефтехимической отраслей);

– опубликованные исследования во многом посвящены математическому и программному обеспечению для решения задач имитации реальных производственных процессов в тренажерах, в меньшей степени рассмотрена разработка методов и алгоритмов интегральной оценки качества выполнения упражнений и уровня сформированных навыков согласно нормативам, анализа данных об обучении одного и группы операторов;

– многие тренажеры изначально ориентированы на обучение определенным производственным процессам без возможности настройки преподавателем необходимых параметров упражнений в соответствии со спецификой требуемой предметной области, совершенствующихся со временем курсов упражнений и методик обучения.

Актуальность настоящего исследования обусловлена разработкой научно-технических основ создания компьютерных тренажерных комплексов (КТК), математическое, программное и информационное обеспечение которых способствует одновременному выполнению двух задач: 1) снижение трудоемкости создания, реализации и модернизации курсов упражнений для контроля операторских навыков; 2) повышение качества сформированных профессиональных навыков у операторов технологических установок.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА (КТК) ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДА

Разработана концептуальная модель КТК для обучения операторов технологических установок на основе автоматизированной информационной системы контроля

(АСК) формирования сенсомоторных навыков. Создание рассматриваемой концепции КТК основано на развитии работ [2, 3, 16, 17]. Спецификой функционирования КТК является гибкая настройка параметров виртуальной производственной среды и процесса обучения в данной среде.

Отличительной особенностью КТК согласно разработанной концепции, схематично представленной на *рис. 1*, является интеграция программных подсистем и базы данных (БД), обеспечивающая функциональные возможности:

– формирования индивидуальных вариантов упражнений обучаемым операторам на основе настроек преподавателей, определяемых формализованным описанием имитируемого технологического процесса;

– накопления, обработки, визуализации данных о выполнении операторами упражнений в виртуальной производственной среде, моделируемой в КТК.

В структуру КТК включены прикладные программные подсистемы, в частности подсистема автоматизированной оценки эффективности и сравнения курсов упражнений на КТК.

Математическая модель КТК определяется множествами параметров, формируемых на выходе каждого из блоков КТК *(см. рис. 1)*, и взаимосвязями данных параметров. Построение концептуальной модели основано на учете особенностей производственных процессов, выполнение которых требует от операторов владения на высоком уровне сенсомоторными навыками работы с технологическими установками (например, перегрузочные процессы [17, 18]).

На вход подсистемы 2 *(см. рис. 1)* передаются три множества параметров:

$Y_{\text{tch}} = \{y_i^{\text{tch.}} \mid i = \overline{1, N_{\text{tch}}}\}$ – параметры, определяющие специфику имитируемой в упражнении реальной технологической операции (последовательность действий в ходе данной операции, специфические свойства операции);

$Y_{\text{act.}} = \{y_j^{\text{act.}} \mid j = \overline{1, N_{\text{act.}}}\}$ – параметры, определяющие допустимое множество выполняемых оператором действий в упражнении и специфику выполнения данных действий в зависимости от способа имитации в КТК реального оборудования;

$Y_{\text{ass}} = \{y_k^{\text{ass.}} \mid k = \overline{1, N_{\text{ass}}}\}$ – параметры, определяющие особенности оценки качества выполнения обучаемыми упражнений в КТК согласно нормативам технологических операций и оценки уровня сформированности навыков.

От параметров множеств $Y_{\text{tch.}}$, $Y_{\text{act.}}$, $Y_{\text{ass.}}$ зависят процессы настройки упражнений, генерации индивидуальных вариантов упражнений, их выполнения обучаемыми операторами, автоматического оценивания качества формирования профессиональных навыков. В зависимости от программно-аппаратной реализации КТК (в частности, наличия физических макетов реального оборудования, применения средств 3d-графики, VR/AR) параметры и их допустимые значения могут отличаться.

Структуру упражнения на КТК, процесс его выполнения обучаемым оператором и оценивания представим предикатами: $Q_{\text{tch.}}(y_{11}^{\text{tch.}}, y_{12}^{\text{tch.}}, ..., y_{N\text{tch.}N\text{var.}}^{\text{tch.}})$, $Q_{\text{act.}}(y_{11}^{\text{act.}}, y_{12}^{\text{act.}}, ..., y_{N\text{act.}M\text{var.}}^{\text{act.}})$,

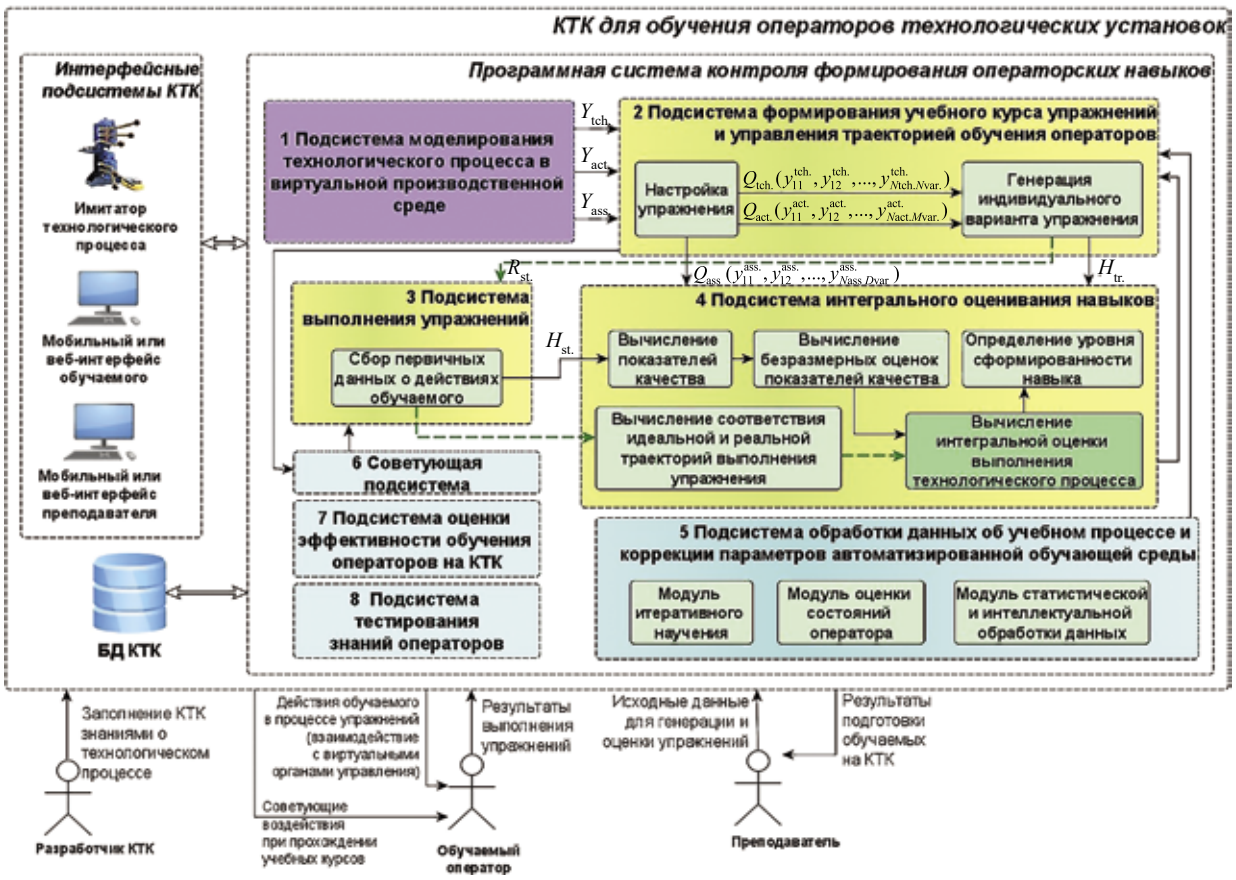

Рис. 1. Структура КТК (концептуальная модель) для обучения операторов

Fig. 1. Structure of the computer-based training complexes (conceptual model) for operator training

$Q_{\text{ass}}(y_{11}^{\text{ass.}}, y_{12}^{\text{ass.}}, ..., y_{N\text{ass }D\text{var}}^{\text{ass.}})$, переменные которых определяются значениями параметров $y_i^{\text{tch.}} \in Y_{\text{tch.}}$, $y_j^{\text{act.}} \in Y_{\text{act.}}$, $y_k^{\text{ass.}} \in Y_{\text{ass.}}$ соответственно.

Изначально преподаватель выполняет настройку упражнения, используя множество параметров $Y_{\text{tch.}}$, $Y_{\text{act.}}$, $Y_{\text{ass.}}$ *(см. рис. 1),* определяющих настройки виртуальной производственной среды, структуру и свойства упражнений на КТК, процессы их выполнения обучаемым оператором и оценивания. Согласно установленным настройкам упражнения автоматически формируется его индивидуальный вариант для выполнения обучаемым, определяемый отношением $R_{\text{st.}}$ на основе указанных выше предикатов $Q_{\text{tch.}}$, $Q_{\text{act.}}$, $Q_{\text{ass.}}$. В общем виде совокупность результатов выполнения индивидуального варианта упражнения конкретным обучаемым оператором в виртуальной производственной среде КТК представим отношением $H_{\text{st.}}$. Автоматическое оценивание выполнения упражнения заключается в сравнении отношения $H_{\text{st.}}$ с нормативными (эталонными) результатами выполнения упражнения, описываемыми отношением $H_{\text{tr.}}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В УПРАЖНЕНИЯХ НА КТК

Упражнению в КТК соответствует модель технологического процесса, в общем виде представляемая графом:

$V_{\text{prc.}} = \langle S_{\text{prc.}}, E_{\text{prc.}} \rangle$, где $S_{\text{prc.}} = \{s_a^{\text{prc.}} \mid a = \overline{1, N_{\text{prc.}}}\}$ – множество состояний имитируемой в упражнении реальной производственной среды, $E_{\text{prc.}} = \{e_b^{\text{prc.}} \mid b = \overline{1, M_{\text{prc.}}}\}$ – множество переходов между состояниями производственной среды, осуществляемых посредством действий обучаемого или в автоматическом режиме.

При моделировании технологических процессов для реализации курса упражнений в КТК допустимо использовать параметризованные состояния, фактически представляемые предикатом и в общем виде записываемые как $s_{\text{par.}}(x_1^{\text{par.}}, x_2^{\text{par.}}, ..., x_{N\text{par.}}^{\text{par.}})$, где $x_1^{\text{par.}}$, x_2^{par}, …, $x_{N\text{par.}}^{\text{par.}}$ – изменяемые (настраиваемые экспертом) параметры производственного процесса согласно цели и методики обучения операторов технологических установок.

На *рис. 2* показан пример разработанной модели перегрузочного процесса на основе параметризованных состояний. Модель используется для построения курса

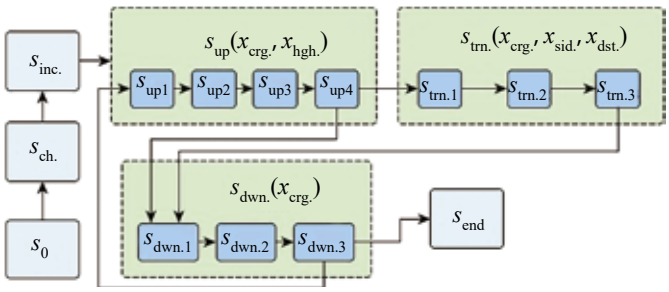

Рис. 2. Модель перегрузочного процесса на основе параметризованных состояний

Fig. 2. A model of the load transfer process based on the parametrized states

упражнений в КТК с целью формирования у операторов технологической установки сенсомоторных навыков транспортировки груза [17, 18].

Состояния математической модели перегрузочного процесса согласно *рис. 2*:

s_0 – начальное состояние (оператор занимает рабочее место – кресло-пульт тренажера);

$s_{\text{ch.}}$ и $s_{\text{inc.}}$ – подготовительные действия по имитации отключения механизма блокировки электропитания и включения электропитания соответственно на макете кресло-пульта;

$s_{\text{up}}(x_{\text{crg.}}, x_{\text{hgh.}})$ – подъем крюка/груза (включает подсостояния s_{up1}, s_{up2}, s_{up3}, s_{up4} имитируемого процесса подъема); здесь: $x_{\text{crg.}}$ – груз ($x_{\text{crg.}} = 1$) или только крюк ($x_{\text{crg.}} = 0$) требуется поднять; $x_{\text{hgh.}}$ – высота, на которую требуется поднять;

$s_{\text{dwn.}}(x_{\text{crg.}})$ – опускание крюка/груза (включает подсостояния $s_{\text{dwn.1}}$, $s_{\text{dwn.2}}$, $s_{\text{dwn.3}}$ имитируемого процесса опускания); здесь: $x_{\text{crg.}}$ – груз ($x_{\text{crg.}} = 1$) или только крюк ($x_{\text{crg.}} = 0$) требуется опустить;

$s_{\text{trn.}}(x_{\text{crg.}}, x_{\text{sid.}}, x_{\text{dst.}})$ – поворот стрелы крана (включает подсостояния $s_{\text{trn.1}}$, $s_{\text{trn.2}}$, $s_{\text{trn.3}}$ имитируемого процесса поворота); здесь: $x_{\text{crg.}}$ – груз ($x_{\text{crg.}} = 1$) или только крюк ($x_{\text{crg.}} = 0$) требуется повернуть; $x_{\text{sid.}}$ – сторона, в которую требуется повернуть, т.е. вправо ($x_{\text{sid.}} = 1$) или влево ($x_{\text{sid.}} = 0$); $x_{\text{dst.}}$ – расстояние, на которое требуется повернуть;

$s_{\text{end.}}$ – производится имитация выключения электропитания на макете кресло-пульта крана.

Переходы между состояниями на *рис. 2* могут соответствовать нажатию обучаемым оператором определенных кнопок и рычагов кресло-пульта в заданном направлении либо осуществляться автоматически (например, при совпадении крюка или груза с определенной областью моделируемой технологической среды).

На основе параметризированной модели на *рис. 2* допустимо конструировать различные по уровню сложности и контролируемым навыкам варианты упражнений. Например, упражнение, включающее последовательное выполнение действий только с крюком, а именно подъем на 5 м, поворот вправо на 10 м, опускание, подъем на 4 м, поворот влево на 7 м, опускание, опишем кортежем:

$$V_1 = \left\langle \begin{matrix} s_0, s_{\text{ch.}}, s_{\text{inc.}}, s_{\text{up}}(0,5), s_{\text{trn.}}(0,1,10), \\ s_{\text{dwn.}}(0), s_{\text{up}}(0,4), s_{\text{trn.}}(0,0,7), s_{\text{dwn.}}(0), s_{\text{end}} \end{matrix} \right\rangle.$$

Упражнение, включающее последовательное выполнение действий с крюком и грузом, а именно подъем крюка на 4 м, опускание крюка, подъем груза на 5 м, поворот груза влево на 6 м, опускание груза, опишем кортежем:

$$V_2 = \left\langle \begin{matrix} s_0, s_{\text{ch.}}, s_{\text{inc.}}, s_{\text{up}}(0,4), s_{\text{dwn.}}(0), \\ s_{\text{up}}(1,5), s_{\text{trn.}}(1,0,6), s_{\text{dwn.}}(1), s_{\text{end}} \end{matrix} \right\rangle.$$

Модель процесса перемещения груза на *рис. 2* допустимо усложнять добавлением состояний, соответствующих неверным действиям обучаемого (например, нажатие рычага не в том направлении) или выходу за пределы нормативов технологических процессов (например, истечение максимального времени выполнения упражнения), что зависит, в том числе, от специфики программно-аппаратной реализации КТК согласно задачам обучения с его применением.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (КУРСА) УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРА НА КТК

Учебный курс упражнений в КТК для обучения операторов технологических установок представим графом переходов $G_{\text{ex.}} = <U_{\text{ex.}}, E_{\text{rel.}}>$, где $U_{\text{ex.}} = \{u_r \mid r = \overline{1, N_{\text{ex.}}}\}$ – множество упражнений в учебном курсе (узлы графа), каждое из которых соответствует определенной технологической операции на имитируемом в КТК оборудовании, а $E_{\text{rel.}} = \{e_q \mid q = \overline{1, N_{\text{rel.}}}\}$ – множество взаимосвязей между упражнениями (дуги графа). На *рис. 3* показан пример (фрагмент) частного случая графа, описывающего упрощенный курс упражнений на КТК для обучения оператора перегрузочной установки сенсомоторным навыкам перемещения единицы груза.

Наличие дуги $e_q = <u_r, u_h>$, обозначенной сплошной линией, между узлами графа на *рис. 3* означает, что выполнение упражнения u_r производится после освоения навыка, формируемого по результатам выполнения упражнения u_h. Наличие дуги $e_w = <u_h, u_r>$, обозначенной пунктирной линией, обозначает обратные связи, возврат к одному из предыдущих упражнений u_h, если упражнение u_r выполнено, например с результатом, значительно не соответствующим нормативам.

Граф $G_{\text{ex.}}$ определяет взаимосвязь упражнений на тренажере, порядок их выполнения обучаемым оператором для освоения требуемых сенсомоторных навыков реализации типовых штатных и нештатных ситуаций на технологической установке. Конкретный путь (маршрут) в графе $G_{\text{ex.}}$ в ходе профессиональной подготовки оператора на КТК зависит от цели учебного процесса, определяется настройками преподавателя и/или адаптируется к индивидуальным особенностями оператора при работе на тренажере.

Состояния u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 *(см. рис. 3)* обозначают выполнение оператором упражнений в КТК, имитирующих процессы: u_1 – подъема груза, u_2 – опускания груза, u_3 – подъема и опускания груза, u_4 – поворота, u_5 – подъема, поворота, опускания груза.

Каждое состояние u_r в графе $G_{\text{ex.}}$ представим графом переходов $u_r = \left\langle U_r^{\text{lev.}}, E_r^{\text{lev.}} \right\rangle$, где $U_r^{\text{lev.}} = \{u_{rc} \mid c = \overline{1, N_{\text{lev.}}}\}$ – множество допустимых уровней сложности упражнения, а $E_r^{\text{lev.}} = \{e_{rd} \mid d = \overline{1, M_{\text{lev.}}}\}$ – множество переходов упражнения из одного уровня сложности в другой.

Уровень сложности $u_{rc} \in U_r^{\text{lev.}}$ определяется спецификой процесса выполнения и оценивания упражнения, а именно: множеством действий, допустимых для обучаемого посредством макетов реального оборудования (рычаги, пульты управления, кнопки) или VR/AR (в простейшем случае допустима реализация тренажера только как программного обеспечения на компьютере, планшете, смартфоне по аналогии с компьютерными играми); множеством советующих воздействий обучаемому (рекомендаций, подсказок в визуальной, звуковой и других формах); множеством вычисляемых показателей качества в ходе и по результатам выполнения упражнения.

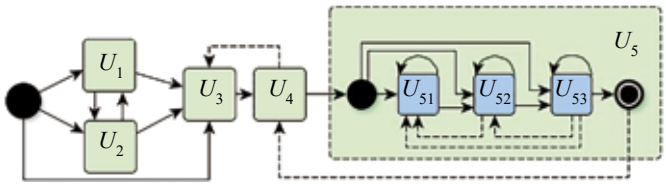

Рис. 3. Пример курса упражнений на КТК в форме графа

Fig. 3. An example of an exercise course in the form of a graph for the computer-based training complex

С каждым уровнем сложности $u_{rc} \in U_r^{\text{lev.}}$ сопоставим предикат $P_{\text{com.}}(\Delta_1^{\text{com.}}, ..., \Delta_{N\text{com.}}^{\text{com.}})$, где значения $\Delta_z^{\text{com.}}$ $(z = \overline{1, N_{\text{com.}}})$ являются характеристиками выполнения и оценивания упражнения, определяющими допустимые действия обучаемого, советующие воздействия, показатели качества.

Переход $e_{rd} \in E_r^{\text{lev.}}$ обозначает увеличение, уменьшение или сохранение текущего уровня сложности упражнения при его повторном выполнении. Условия переходов e_{rd} между уровнями сложности упражнения могут явно настраиваться преподавателем до начала обучения операторов, а также выполняться автоматически с учетом адаптации к индивидуальным возможностям каждого обучаемого и результатов обработки данных о подготовке определенного количества операторов на КТК за период времени.

В графе на *рис. 3* подсостояния u_{51}, u_{52}, u_{53} обозначают выполнение упражнения с учетом (автоматическим расчетом) следующих показателей качества: u_{51} – безаварийность, u_{52} – безаварийность и точность, u_{53} – безаварийность, точность и время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана и представлена схематично с применением теоретико-множественного аппарата концепция КТК- с АСК-формирования сенсомоторных навыков при обучении операторов технологических установок. Рассмотренная концепция КТК отличается от известных множеством взаимосвязанных подсистем, применение которых обеспечивает функциональные возможности настройки упражнений для обучения навыкам эксплуатации технологических установок, автоматического формирования индивидуальных вариантов упражнений обучаемым, автоматического оценивания результатов их выполнения.

2. Разработан метод моделирования упражнений для АСК-формирования навыков у операторов. Отличительными особенностями метода являются: формализация представления знаний о свойствах изучаемых операторами технологических процессов для их имитации в виртуальной среде КТК; моделирование взаимосвязи упражнений на тренажере, последовательности их выполнения обучаемым оператором для освоения требуемых сенсомоторных навыков реализации типовых штатных и нештатных ситуаций на технологической установке. Применение КТК обеспечивает гибкую настройку отдельных упражнений и курсов упражнений в зависимости от задач обучения и, как следствие, различные по структуре и сложности вариации выполнения упражнений.

3. Результаты исследования применимы для создания КТК с целью профессиональной подготовки операторов (в учебных заведениях и непосредственно на предприятиях) различных видов технологических установок, в частности в сфере угольной промышленности. Использование КТК способствует снижению трудоемкости создания и модификации учебных курсов для подготовки операторов

посредством возможности вариативной настройки параметров предметной области технологического процесса, параметров выполнения и автоматического оценивания упражнений в зависимости от задач обучения, требуемого уровня сложности упражнений.

Список литературы • References

1. Черских О.И. Подход к устойчивому развитию предприятия открытой угледобычи // Уголь. 2024. № 9. С. 61-66. DOI: 10.18796/0041– 5790-2024-9-61-66.
   Cherskikh O.I. An approach to sustainable development of a surface coal mining company. *Ugol'*. 2024;(9):61-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-61-66.
2. Litvinova E.V., Polevshchikov I.S. Automated system of monitoring professional skills development of food production operators based on a computer simulator. *BIO Web Conf.* 2024;(113):06011. Available at: https://doi.org/10.1051/bioconf/202411306011 (accessed 15.12.2025).
3. Mokrushin S.A., Polevshchikov I.S. Mathematical modeling of food production technological processes in a computer training complex for operator education. *BIO Web Conf.* 2024;(105):03007. Available at: https://doi.org/10.1051/bioconf/202410503007 (accessed 15.12.2025).
4. Venger A.L., Dozortsev V.M. Trust in artificial intelligence: modeling the decision making of human operators in highly dangerous situations. *Mathematics*. 2023;11(24):4956.
5. Лисицына Л.С., Сенчило М.С., Телешев С.А. Создание RLCP-совместимых виртуальных лабораторий для обучения базовым алгоритмам на нейронных сетях // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 134-142.
   Lisitsyna L.S., Senchilo M.S., Teleshev S.A. Creation of RLCP-compatible virtual laboratories for teaching basic algorithms on neural networks. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika.* 2021;(3):134-142 (In Russ.).
6. Тагирова Л.Ф., Зубкова Т.М. Интеллектуальная система адаптивного тестирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23. № 4. С. 757-766.
   Tagirova L.F., Zubkova T.M. Intelligent adaptive testing system. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki.* 2023;23(4):757-766 (In Russ.).
7. Kalwasiński D. Verification of overhead crane simulator in a training centre. *Problems of Mechatronics Armament Aviation Safety Engineering.* 2022;13(1):67-78.
8. Ершова О.В., Чистякова Т.Б. Методы и технологии разработки компьютерных тренажеров для обучения ресурсосберегающему управлению электротехнологическими установками // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 8. С. 115-124.
   Ershova O.V., Chistyakova T.B. Methods and technologies for developing computer simulators for teaching resource-saving control of electrical engineering installations. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike.* 2021;(8):115-124 (In Russ.).
9. Tao R., Ren H., Zhou Yi. A ship firefighting training simulator with physics-based smoke. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022;10(8):1140.
10. Sam O., Le D., Ang G.A., Liu Y., Zhang D. Objective and intelligent training assessment package for maritime training in simulator. *Journal of Physics: Conference Series.* 2022;2311(1):012014.
11. Koç D., Seçkin A.Ç., Satı Z.E. Evaluation of participant success in gamified drone training simulator using brain signals and key logs. *Brain Sciences*. 2021;11(8):1024.
12. Akulov A.S., Zhelieznov K.I., Zabolotnyi O.M., Chabaniuk E.V., Shvets A.O. Simulator for training mining locomotive drivers. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 2022;37(4):27-35.
13. Beloglazov I.I., Petrov P.A., Bazhin V.Yu. The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry. *Eurasian Mining.* 2020;(2):50-54.
14. Ramírez-Romero J., Rodriguez D., Rivera S. Teaching using a synchronous machine virtual laboratory. *Global Journal of Engineering Education.* 2020;22(2):123-129. Available at: http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol22no2/08-Rodriguez-D.pdf (accessed 15.12.2025).
15. Yi-Han Liu, Yu-Tong He, Di Tian, Run-Long Fan, Li Yao. A web-based virtual laboratory for SHRIMP. *Computer Applications in Engineering Education.* 2018;26(5). Available at: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.22053 (accessed 15.12.2025).
16. Полевщиков И.С., Таланов А.А. Алгоритмическое и программное обеспечение подсистемы автоматизированного оценивания эффективности обучения на тренажерном комплексе // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». 2022. № 3. С. 145-157.
   Polevshchikov I.S., Talanov A.A. Algorithmic and software support for the subsystem of automated assessment of training effectiveness on the simulator complex. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie".* 2022;(3):145-157 (In Russ.).
17. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Моделирование процесса автоматизированного управления формированием профессиональных навыков оператора производственной системы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1. С. 181-190.
   Fayzrakhmanov R.A., Polevshchikov I.S. Modeling of the process of automated control of the formation of professional skills of the operator of the production system. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki.* 2016;16(1):181-190 (In Russ.).
18. Shkliaev F., Fayzrakhmanov R. Development of Exercise Designing Module for Computer Training Complex. *Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT.* 2019;7(1):37-41. DOI: 10.25673/13480.

Authors Information
Polevshchikov I.S. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor, Department of Automated Control Systems for Biotechnological Processes, Associate Professor, Department of Informatics and Computer Engineering for Food Production, ROSBIOTECH – Russian Biotechnological University, Moscow, 125080, Russian Federation, Associate Professor, Department of Information Technology and Automated Systems, Perm National Research Polytechnic University (PNIPU), Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 22.04.2025
Поступила после рецензирования: 17.12.2025
Принята к публикации: 29.12.2025

Paper info
Received April 22, 2025
Reviewed December 17, 2025
Accepted December 29, 2025