

## Компьютерные тренажерные комплексы для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин навыкам выполнения технологических операций

*И.С. Полевщиков, М.О. Морозов, С.И. Шабалин*

*Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г.  
Разумовского (Первый казачий университет)*

**Аннотация:** В статье представлены результаты развития исследований в области автоматизированного обучения операторов технологических процессов (на примере погрузочно-разгрузочных машин) на компьютерных тренажерных комплексах (КТК). Особенностью разрабатываемых КТК является интеллектуальная автоматизированная система (АС) контроля формирования сенсомоторных навыков, основанная на математических моделях и алгоритмах для представления знаний о технологическом процессе, автоматизированного проектирования учебных курсов для профессиональной подготовки операторов в виртуальной производственной среде, автоматической оценки формирования навыков. Применение КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин, основанных на интеллектуальной АС, способствует повышению качества формирования профессиональных навыков эффективного и безопасного выполнения технологических процессов в различных сферах (например, речные и морские порты, строительство, добыча полезных ископаемых) по результатам прохождения учебных курсов.

**Ключевые слова:** погрузочно-разгрузочные машины, технологический процесс, компьютерный тренажерный комплекс, профессиональные навыки, сенсомоторные навыки, интеллектуальные автоматизированные системы.

### Введение

Важной задачей при обучении операторов различных технологических процессов (в частности, операторов погрузочно-разгрузочных машин) является формирование сенсомоторных навыков качественного и безопасного выполнения работ.

Для решения данной задачи широко применяются компьютерные тренажерные комплексы (КТК), позволяющие имитировать реальную производственную обстановку в процессе обучения операторов. При создании КТК важно обеспечить не только адекватную визуальную и функциональную имитацию реального технологического процесса, но и обработку данных о выполнении обучаемыми упражнений на КТК с целью

---

контроля формирования профессиональных сенсомоторных навыков. Соответствующие модели и алгоритмы обработки данных в недостаточной степени описаны в научной литературе.

Актуальной задачей является развитие моделей, алгоритмов и программного обеспечения КТК погрузочно-разгрузочных машин с целью повышения точности контроля формирования навыков в ходе выполнения упражнений обучаемыми операторами и повышения уровня наглядного визуального представления данных о результатах контроля.

### **Материалы и методы исследований**

Среди современных работ, в которых отражен опыт создания и применения КТК с целью подготовки персонала для управления различными сложными и опасными объектами, выделим примеры трудов, посвященных компьютерным тренажерам в области химических производств, нефтегазовой отрасли [1-3], управления работой электростанций [4], управления транспортными средствами [5]. Отметим подобные компьютерным тренажерам информационные системы, применяемые в профессиональном обучении [6, 7].

В сфере разработки КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин следует выделить работы, посвященные архитектуре КТК и имитации реального производственного процесса [8, 9], автоматизации процесса обучения операторов на КТК, и в частности, контроля формирования навыков [9, 10]. В процессе автоматизированного контроля навыков применяются математические методы, в частности, математическая статистика, сравнительный анализ, экспертная оценка.

Результаты дальнейших исследований в области разработки математического и программного обеспечения КТК, результаты которых представлены далее, основаны на развитии существующих научных трудов с

---

целью повышения качества формирования профессиональных сенсомоторных навыков у операторов погрузочно-разгрузочных машин.

### Результаты разработки КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин

Разработана структура КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин, включающая интеллектуальную автоматизированную систему (АС) контроля формирования сенсомоторных навыков (рис. 1). Применение АС позволяет обрабатывать данные о выполнении обучаемыми упражнений на имитаторе и производить требуемые настройки учебного процесса.

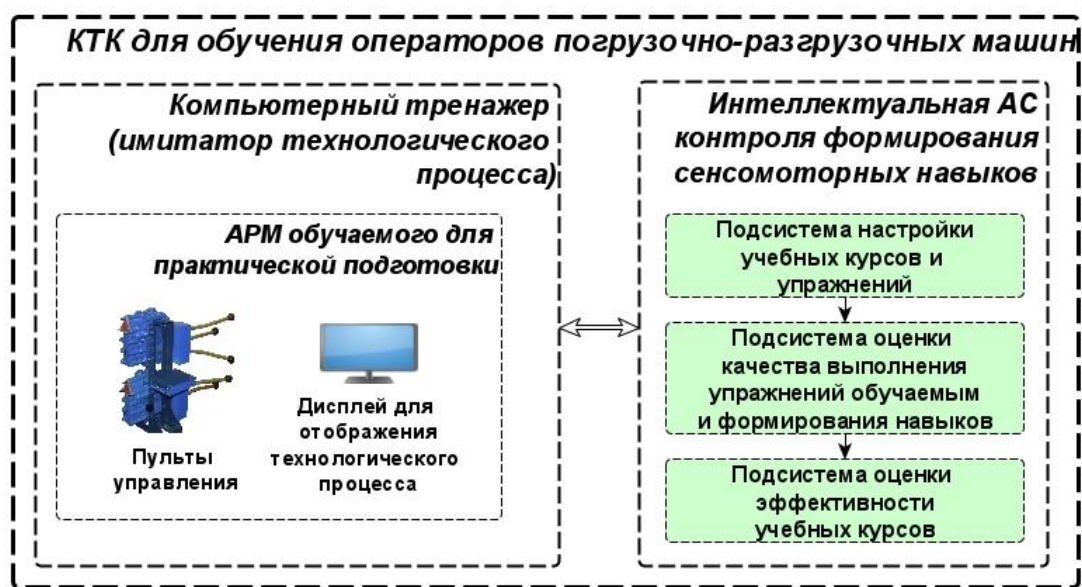


Рис. 1. – Структура КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин

Основой работы АС как компонента КТК является обобщенная *математическая модель технологического процесса*, настраиваемая знаниями об определенном технологическом процессе, имитируемом в тренажере, для последующей генерации индивидуальных вариантов упражнений в рамках учебного курса с целью формирования у операторов совокупности сенсомоторных навыков эффективного и безопасного

выполнения технологических операций.

Модель включает совокупность параметров, взаимосвязано описывающих:

1) логико-временные особенности выполнения технологического процесса, определяемые последовательностью действий оператора и результатов данных действий, переходами между состояниями виртуальной производственной среды и ее отдельных компонентов в ходе выполнения упражнения (например, для перегрузочного процесса на порталном кране – состояния груза, крана, объектов речного порта);

2) объекты виртуальной производственной среды и параметры технологического процесса (например, виртуальная производственная среда перегрузочного процесса основана на моделировании параметров крана, грузов, транспорта, персонала, погодных условий, типовых нештатных и аварийных ситуаций и т.д.);

3) первичные данные о результатах и качестве выполнения технологического процесса (например, сигналы о нажатии определенного рычага, моменты времени нажатия рычага, координаты груза и т.д.) и критерии качества выполнения технологического процесса, получаемые на основе обработки первичных данных (например, точность установки груза, время выполнения переноса груза, плавность поворота стрелы крана и т.д.); моменты времени сбора первичных данных и определения на их основе критериев качества.

На основе *настройки параметров обобщенной математической модели знаниями об определенном технологическом процессе* разрабатываются *математические модели конкретных технологических операций*, на базе каждой из которых при обучении операторов на КТК формируются индивидуальные варианты упражнений. Например, для обучения операторов порталного крана на КТК разрабатываются математические модели

---

технологических операций для описания типового набора упражнений, выполняемых на КТК (подъем/опускание груза, поворот стрелы крана при переносе груза, гашение колебаний груза и т.д.).

На основе математических моделей определенных технологических операций производится формирование *индивидуальных вариантов выполнения упражнений* для обучаемых. Алгоритмы формирования индивидуальных вариантов упражнений позволяют:

1) Производить *настройку* экспертом (в частности, преподавателем) *параметров выполнения упражнений*, например, какие действия (составляющие технологической операции) включить/исключить при выполнении упражнения, какие критерии качества измерять, какой результат должен быть достигнут в ходе выполнения упражнения.

2) Осуществлять *адаптивное формирование* (на основе математического моделирования итеративного научения и обработки накопленных данных о результатах обучения операторов на КТК) *индивидуальных вариантов упражнений* для обучаемого. Индивидуальный вариант включает специфические особенности определенных элементов виртуальной производственной среды и оценки качества выполнения технологического процесса в этой среде, в частности, подмножества:

а) допустимых действий оператора с применением имитаторов реального оборудования (увеличение числа допустимых действий ведет к повышению сложности упражнения);

б) фактически используемых критериев качества для оценки выполнения упражнения обучаемым (для поэтапного повышения уровня сложности упражнения добавляются новые критерии качества).

В процессе выполнения обучаемым упражнения на КТК производится автоматическое вычисление отдельных критериев качества, комплексной оценки качества выполнения имитируемой технологической операции.

---

Формируются управляющие воздействия о необходимости перехода к новому упражнению или повторения текущего упражнения (с увеличением или без увеличения его уровня сложности).

Данные о результатах выполнения упражнений сохраняются в базе данных КТК и доступны для просмотра с помощью веб-интерфейса АС (на компьютере или мобильном устройстве) преподавателю и обучаемому. В частности, в одном из интерфейсов (рис. 2) созданного прототипа веб-приложения отображаются результаты выполнения упражнения обучаемым в структурированном табличном виде.

Согласно рис. 2, для каждого выполнения упражнения хранится итоговая (комплексная) оценка качества, формируемая на основе отдельных критериев. Применяются цветовые обозначения оценок для наглядного отображения процесса итеративного научения при формировании сенсомоторных навыков.

ЭТАП №1. Критерии качества: - точность установки груза - число аварийных ситуаций		ЭТАП №2. Критерии качества: - точность установки груза - число аварийных ситуаций - число рывков (резких перемещений рычага)		ЭТАП №3. Критерии качества: - точность установки груза - число аварийных ситуаций - время выполнения переноса груза - число рывков (резких перемещений рычага)		ЭТАП №4. Критерии качества: - точность установки груза - число аварийных ситуаций - время выполнения переноса груза - число рывков (резких перемещений рычага) - угол отклонения груза при повороте стрелы крана	
№ выполнения упражнения	Итоговая оценка (%)	№ выполнения упражнения	Итоговая оценка (%)	№ выполнения упражнения	Итоговая оценка (%)	№ выполнения упражнения	Итоговая оценка (%)
<a href="#">1.1</a>	38	<a href="#">2.1</a>	62	<a href="#">3.1</a>	75	На данный момент не выполнялось	
<a href="#">1.2</a>	59	<a href="#">2.2</a>	78	<a href="#">3.2</a>	76		
<a href="#">1.3</a>	77	<a href="#">2.3</a>	90	<a href="#">3.3</a>	92		
<a href="#">1.4</a>	91	<a href="#">2.4</a>	97				
<a href="#">1.5</a>	93	<a href="#">2.5</a>	97				
<a href="#">1.6</a>	96						

Рис. 2. – Веб-интерфейс с результатами выполнения упражнения на КТК

Для просмотра более детальных результатов выполнения упражнения, в

частности, оценок по отдельным критериям, при выборе № выполнения (в интерфейсе на рис. 2) осуществляется переход к соответствующему интерфейсу (рис. 3). Каждому измеренному критерию качества (некоторая физическая или безразмерная величина) сопоставлена безразмерная оценка от 0% до 100%, в соответствии с нормативами выполнения технологической операции.

С применением веб-приложения преподаватель настраивает процесс расчета безразмерных оценок посредством установки параметров функции полезности [9], что показано на рис. 4.

ЭТАП №2.		
<b>Критерии качества:</b> - точность установки груза - число аварийных ситуаций - число рывков (резких перемещений рычага)		
<b>№ выполнения упражнения</b>	2.1	
<b>Дата и время начала выполнения</b>	15 ноября 2022 г. 12 ч 07 мин 44 с	
<b>Итоговая оценка (%)</b>	<b>62</b>	
<b>Критерий:</b>	<b>Значение:</b>	<b>Оценка (%):</b>
точность установки груза (%)	38	57
число аварийных ситуаций	3	55
число рывков	2	70

Рис. 3. – Веб-интерфейс с детальными результатами упражнения

Одна из функций АС заключается в оценке эффективности различных методик обучения и комплексов упражнений на КТК с применением методов математической статистики. На рис. 5 представлен веб-интерфейс для оценки результатов двух групп обучаемых с целью определения эффективности нового метода обучения (или комплекса упражнений) по сравнению с уже используемым. Наиболее трудоемкие вычисления на основе статистических методов [10] выполняются автоматически, а пользователь веб-приложения (в

Критерий качества: точность установки груза		
Значение безразмерной оценки:	Знак	Значение (%):
0	≥ ▾	75
1	≤ ▾	10

Рис. 4. – Веб-интерфейс настройки параметров функции полезности для критерия качества «Точность установки груза»:

$$d_{acc.} = \begin{cases} 1, & x < 10 \\ (75 - x)/65, & x \in [10, 75], \text{ где } x - \\ 0, & x > 75 \end{cases}$$

точность установки груза (%)

частности, преподаватель учебных курсов для операторов) получает данные об оценке в наглядном виде, что упрощает процесс дальнейшего принятия решений.

Контрольная группа (до обучения)	Группа Кр-22-1 (конт.) до обучения. <a href="#">Выбрать группу</a>
Контрольная группа (после обучения)	Группа Кр-22-1 (конт.) после обучения. <a href="#">Выбрать группу</a>
Экспериментальная группа (до обучения)	Группа Кр-22-2 (эксп.) до обучения. <a href="#">Выбрать группу</a>
Экспериментальная группа (после обучения)	Группа Кр-22-2 (эксп.) после обучения. <a href="#">Выбрать группу</a>
Выбор статистического критерия	<input checked="" type="radio"/> критерий Крамера-Уэлча ( <i>рекомендуемый</i> ) <input type="radio"/> критерий Вилкоксона-Манна-Уитни <input type="radio"/> критерий однородности «хи-квадрат»
Состояния групп до обучения	равны ⓘ
Состояния групп после обучения	отличаются ⓘ
Насколько лучше или хуже результат экспериментальной группы после обучения	лучше ≈ на 47% ⓘ
Примечание специалиста	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">           1. Экспериментальная группа допустила в 2 раза меньше ошибок.            2. Время переноса груза у экспериментальной группы меньше в 1,5 раза.         </div>
Соответствие результата цели сравнения состояний двух групп	<input checked="" type="radio"/> соответствует <input type="radio"/> не соответствует

Рис. 5. – Веб-интерфейс оценки эффективности обучения на КТК

### Заключение

Применение КТК для обучения операторов погрузочно-разгрузочных машин, основанных на интеллектуальной АС контроля формирования сенсомоторных навыков, способствует повышению качества формирования профессиональных навыков эффективного и безопасного выполнения технологических процессов по результатам прохождения учебных курсов:

– повышается точность оценивания качества выполнения упражнений (и формирования навыков в целом) посредством сбора и обработки данных о действиях обучаемого на КТК с применением математических методов;

– результаты выполнения упражнений хранятся в базе данных КТК и доступны для просмотра (в наглядном структурированном виде) преподавателю и обучаемому с помощью веб-приложения;



– снижается трудоемкость работы преподавателей в процессе настройки упражнений и оценки эффективности учебных курсов с помощью интерфейсов веб-приложения (все сложные вычисления выполняются автоматически).

Сферой применения данных КТК является обучение операторов технологических процессов различных отраслей экономики РФ, где востребованы погрузочно-разгрузочные работы (например, речные и морские порты, строительство, добыча полезных ископаемых).

### Литература

1. Кривонос А.А., Агафонов С.А., Мучкаев В.Ю., Колокин А.А., Никифоров И.А. Применение программных средств универсального тренажерного комплекса для повышения эффективности обучения персонала химических и нефтехимических производств // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 3. С. 86-92.

2. Барашкин Р.Л., Боярский А.О., Калашников П.К., Нургуатова А.С., Попадько В.Е. Разработка системы диспетчерского управления и сбора данных компьютерного тренажера отработки навыков по управлению типовыми объектами нефтегазовой отрасли // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2020. № 4 (561). С. 19-25.

3. Кузьмин О.С., Вдовенко А.В., Куликова Е.С. Обучающий симулятор для отработки навыков персонала нефтегазовых предприятий // Газовая промышленность. 2020. № 9 (806). С. 116-120.

4. Бойко Е.А., Загородний И.В. Корпоративная система для подготовки оперативного персонала тепловых электростанций // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 4. С. 49-55.

5. Стариченков А.Л., Стариченкова Е.А. Компьютерный тренажер

---

управления движением судна на подводных крыльях // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 2-1 (48). С. 203-209.

6. Chookaew S., Howimanporn S. Upskilling and reskilling for engineering workforce: implementing an automated manufacturing 4.0 technology training course // Global Journal of Engineering Education. 2022. V. 24. №1. pp. 34-39.

7. Aldwairi M. Evaluating virtual laboratory platforms for supporting on-line information security courses // Global Journal of Engineering Education. 2022. V. 24. №2. pp. 143-148.

8. Долгова Е.В., Курушин Д.С., Федоров А.Б., Бикметов Р.Р. Организация сетевого взаимодействия элементов мобильного тренажерного комплекса // Инженерный вестник Дона. 2012. №4(1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1266.

9. Полевщиков И.С., Тютюных А.А., Тютюных Е.А. Интеллектуальные компьютерные тренажерные комплексы для обучения операторов технологических установок сенсомоторным навыкам // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: Сборник научных докладов III Международной конференции – выставки (29 марта 2022 года), - Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2022. С. 262-267.

10. 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.

### References

1. Krivonosov A.A., Agafonov S.A., Muchkaev V.Yu., Kolokin A.A.,

---



Nikiforov I.A. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2020. № 3. pp. 86-92.

2. Barashkin R.L., Boyarskiy A.O., Kalashnikov P.K., Nurguatova A.S., Popad'ko V.E. Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti. 2020. № 4 (561). pp. 19-25.

3. Kuz'min O.S., Vdovenko A.V., Kulikova E.S. Gazovaya promyshlennost'. 2020. № 9 (806). pp. 116-120.

4. Boyko E.A., Zagorodniy I.V. Energobezopasnost' i energosberezhenie. 2020. № 4. pp. 49-55.

5. Starichenkov A.L., Starichenkova E.A. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 2-1 (48). pp. 203-209.

6. Chookaew S., Howimanporn S. Global Journal of Engineering Education. 2022. V. 24. №1. pp. 34-39.

7. Aldwairi M. Global Journal of Engineering Education. 2022. V. 24. №2. pp. 143-148.

8. Dolgova E.V., Kurushin D.S., Fedorov A.B., Bikmetov R.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4(1). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1266](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1266).

9. Polevshchikov I.S., Tyutyunykh A.A., Tyutyunykh E.A. Intellektual'nye komp'yuternye trenazhernye komplekсы dlya obucheniya operatorov tekhnologicheskikh ustanovok sensomotornym navykam [Intelligent computer training complexes for training plant operators in sensorimotor skills]. Fabrika budushchego: perekhod k peredovym tsifrovym, intellektual'nym proizvodstvennym tekhnologiyam, robotizirovannym sistemam dlya otrasley pishchevoy promyshlennosti: Sbornik nauchnykh dokladov III Mezhdunarodnoy konferentsii – vystavki (29 marta 2022 goda), Kursk: Izd-vo ZAO «Universitetskaya kniga», 2022, pp. 262-267.

10. Polevshchikov I.S., Talanov A.A. Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie». 2022. № 3. pp. 145-157.

---