

Научная статья
УДК 004.8
DOI 10.35266/1999-7604-2023-1-16-20

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ

Михаил Яковлевич Брагинский^{1✉}, Дмитрий Викторович Тараканов²

^{1, 2} Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

¹ mick17@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>

² sprtdv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>

Аннотация. Данная работа продолжает исследования авторов в области построения компьютерных тренажеров операторов технологических объектов управления. Предлагаемая концепция иерархического (двухуровневого) математического моделирования оперативного персонала, имитирующая динамические свойства человека и реализующая логический вывод принятия решения, позволяет оценивать качество и корректировать траектории обучения при реализации как индивидуального, так и коллективного обучения операторов. Для построения логико-динамической модели процесса обучения использовался аппарат нечеткой логики и Е-сетей (расширение сетей Петри).

Ключевые слова: сети Петри, Е-сети, обучение операторов, человеко-машинная система, компьютерные тренажеры

Для цитирования: Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Моделирование процесса обучения операторов // Вестник кибернетики. 2023. Т. 22, № 1. С. 16–20. DOI 10.35266/1999-7604-2023-1-16-20.

Original article

SIMULATION OF OPERATORS TRAINING

Mikhail Ya. Braginsky^{1✉}, Dmitry V. Tarakanov²

^{1, 2} Surgut State University, Surgut, Russia

¹ mick17@mail.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>

² sprtdv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>

Abstract. The article continues the authors' research on constructing computer simulators for operators of technological control objects. The concept of hierarchical (two-level) mathematical stimulation of operation staff is proposed, which imitates the dynamic features of a man and implements the logical conclusion of decision-making. This resulted in a quality assessment and training correction in implementing both individual and collective operator training. The apparatus of fuzzy logic and E-nets (extended Petri nets) is used when constructing a logical and dynamic model for training purpose.

Keywords: Petri nets, E-nets, operator training, man-machine system, computer simulators

For citation: Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Simulation of Operators Training. Proceedings in Cybernetics. 2023. Vol. 22, No. 1. P. 16–20. DOI 10.35266/1999-7604-2023-1-16-20.

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения эффективности и безопасности функционирования человеко-машинных систем необходимо уделить особое внимание уровню подготовки операторов технологическими объектами управления (ТОУ). Для этого широко используют как электронные информационно-образовательные среды, так и специализированные компьютерные тре-

нажеры [1–4]. При проектировании систем обучения центральными вопросами являются выбор образовательной траектории, использование адекватных заданий с учетом индивидуальных особенностей человека-оператора, его исходного уровня знаний, квалификации. Кроме того, важными компонентами обучения являются математическая модель технического объекта управления и построение адекватной

модели поведения человека-оператора (или группы операторов). Таким образом, целью данной работы является концепция построения логико-динамической модели процесса обучения персонала АСУ ТП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для построения логико-динамической модели предлагается использование Е-сетевого аппарата (модификацию сетей Петри [5–8]), который позволяет моделировать параллельные логико-динамические процессы обучения, визуализировать структуру и поведение исследуемой системы. Для формирования заданий, выбора обучающих траекторий, оценки результатов обучения и коррекции образовательной траектории в системе используется математический аппарат нечеткой логики.

Структурная схема системы обучения операторов содержит следующие основные компоненты модели: нечеткий генератор сценариев обучения, базу заданий, Е-сетевую логико-динамическую модель обучения оперативного персонала (операторов ТОУ), логико-динамическую модель ТОУ, иерархическую модель оператора (группы операторов) (рис. 1).

Нечеткий генератор сценариев обучения содержит перечень результатов обучения, вариацию траекторий обучения, базу заданий. На основании квалификации обучаемого и результатов входного тестирования происходит выбор заданий. Вышеуказанная процедура происходит на базе нечеткого вывода. Е-сетевая схема моделирования отражает логику и динамику процесса обучения как одного, так и коллектива операторов.



Рис. 1. Структурная схема системы обучения операторов ТОУ

Примечание: составлено авторами.

Для имитации работы ТОУ используется логико-динамическая модель. Например, в работах [3, 9, 10] для теплоэнергетических систем используется Е-сетевая аналитико-имитационная модель, которая легко «сопрягается» с динамической моделью обучения персонала (операторов ТОУ). В качестве дополнительной компоненты системы обучения операторов ТОУ предлагается использование иерархической (двухуровневой) математической модели человека-оператора, реализующей логический вывод принятия решения и имитирующей динамические свойства человека. Данная компонента может быть построена с помощью искусственной нейронной сети и позволит получить точные характеристики обучающегося, например, быстроты реакции в тех или иных задачах оперативного управле-

ния. При построении математической модели системы обучения операторов ТОУ используются следующие группы переменных:

Y – переменные, характеризующие технологические параметры;

R – переменные, описывающие состояние органов управления АСУ ТП;

Z – переменные, описывающие воздействие внешней среды на объект управления;

H – нечеткий уровень сложности задания;

P1 – номер траектории обучения;

P2 – этап обучения;

D – пакет заданий;

E – оценка обучения каждого этапа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим схему моделирования процесса обучения операторов АСУ ТП (рис. 2).

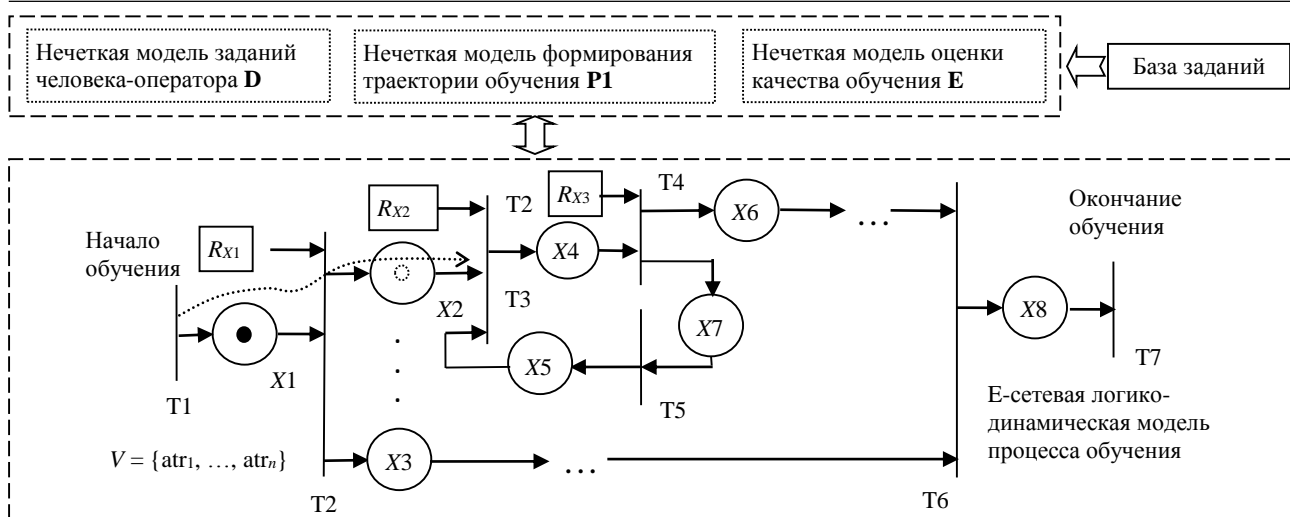


Рис. 2. Е-сетевая модель обучения оператора
 Примечание: составлено авторами.

В представленной модели начальная маркировка Е-сетевой модели $M_0 = \{1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$ соответствует начальному этапу обучения. Фишка сети $V_0 = \{atr_1, \dots, atr_n\}$ содержит следующие атрибуты: ФИО обучающегося, квалификация, номер этапа обучения, результат каждого этапа обучения, итоговая оценка обучения. Кроме того, в качестве дополнительных атрибутов кортежа фишки Е-сети может быть задан набор индивидуальных физиологических параметров человека-оператора [4]. Переход T2 соответствует процедуре входного тестирования обучающегося, и его срабатывание соответствует времени выполнения задания.

В зависимости от уровня знаний и требуемых результатов обучения выбирается необходимая образовательная траектория, что соответствует в Е-сетевой модели изменению маркировки сети, например, $M_1 = \{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$. Переход T3 соответствует начальному этапу обучения для первой образовательной траектории. Пакет заданий **D** в моделируемой системе зависит от выбранной траектории обучения, уровня сложности и номера этапа обучения. Вектор-строка **D** состоит из N элементов (D_1, D_2, \dots, D_N) , в соответствии с которыми i -й обучающийся оператор получает в процессе обучения для исполнения индивидуальное задание D_i . Дальнейшие переходы (T4, T5, ...) Е-сети моделируют этапы обучения, например, T5 реализует процедуру повторения пройденного материала, переход

T6 – итоговое тестирование (рис. 1). По окончании обучения итоговые результаты и рекомендации фиксируются в атрибутах V_0 . Представленная модель позволяет моделировать процесс обучения нескольких операторов.

Для учета в математической модели уровня сложности заданий, времени выполнения и пр. предлагается использовать математический аппарат нечеткой логики [11, 12]. Это позволяет учесть ряд субъективных факторов при формализации процесса обучения человека-оператора. Значение контролируемых переменных рассматриваемой модели целесообразно представить в виде лингвистических переменных.

Для учета взаимосвязей между входными параметрами модели обучения необходимо сформировать базу продукционных нечетких правил Rule: $X \rightarrow Y$.

Перечень входных данных определяется лингвистическими переменными, такими как «сложность задания», «время выполнения», «качество выполнения» и т. д. Кроме этого, задается терм-множество, например: $R^1 = \{R_1^1 = \text{«низкий уровень сложности задания»}, R_1^2 = \text{«средний уровень сложности задания»}, R_1^3 = \text{«высокий уровень сложности задания»}\}$, нечеткое множество на X , описывающее ограничения на значения нечеткой переменной, т. е. $\mu_R(x)$ – функцией принадлежности. Для построения более точной

модели целесообразно использовать модальность высказывания, например, «очень быстрое время выполнения».

На рис. 3 представлены функции принадлежности в графической форме, где $\mu_{R_1^1}(H)$

соответствует функции принадлежности с низким уровнем сложности задания, $\mu_{R_2^1}(H)$ и $\mu_{R_3^1}(H)$ – функции принадлежности со средним и высоким уровнем сложности задания.

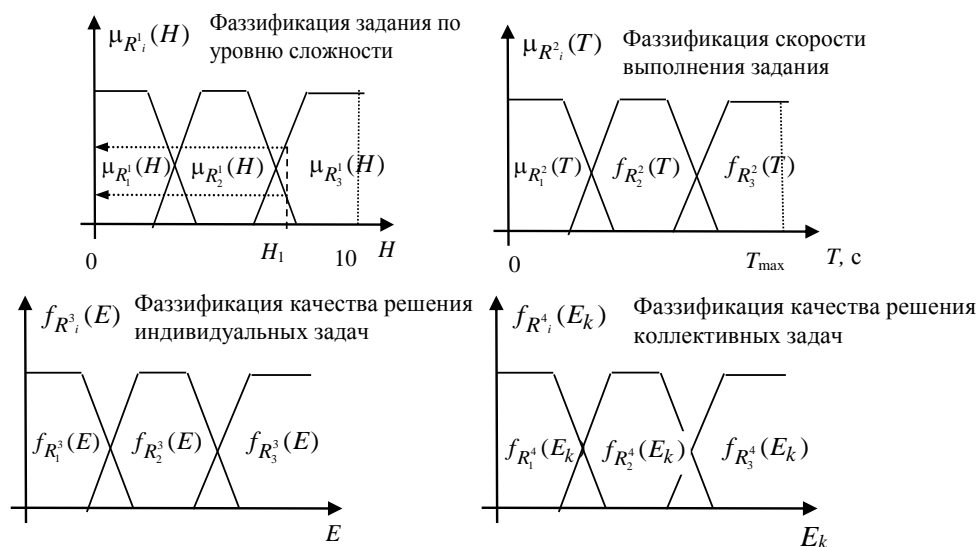


Рис. 3. Функции принадлежности нечетких переменных модели
 Примечание: составлено авторами.

Формирование оценки обучения и корректировки траектории обучения формализуется с помощью правила вида: Rule_i: if $H_1 = R_1^1 \wedge T_1 = R_2^2 \wedge \dots$, then $y_1 = B_1 \wedge y_2 = B_2$.

На основании нечетких продукционных правил осуществляется активизация функций принадлежности $\mu(y)$ и выполняется процедура дефаззификации как вычисление «центра массы». Результаты нечеткого вывода записываются в качестве значения атрибута фишки (маркера) Е-сетевой схемы и далее заносятся в нечеткий генератор сценариев обучения (см. рис. 1).

Например, Rule₁: ЕСЛИ «уровень начальных знаний обучающегося низкий» И «скорость выполнения задания низкая», ТО «уровень квалификации обучающегося низкий» И «необходимо выбрать базовую траекторию обучения».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования была разработана концепция адаптивной системы обучения операторов ТОУ, которая включает Е-сетевую логико-динамическую модель процесса обучения, модель нечеткого генератора сценария обучения, логико-динамическую модель ТОУ и иерархическую (двухуровневую) математическую модель человека-оператора.

Нейросетевой модуль идентификации оператора с адаптивной Е-сетевой математической моделью обучения может быть использован при разработке курса обучения операторов ТОУ и построении компьютерных тренажеров для обеспечения надежности человеко-машинных систем и решения ключевой задачи повышения качества обучения операторов АСУ ТП с учетом их индивидуальных особенностей.

Список источников

1. Благодарный Н. С., Кобозев В. Ю., Колмогоров А. Г. и др. Компьютерные тренажеры-имитаторы для обучения персонала безаварийной экс-

References

1. Blagodarnyi N. S., Kobozev V. Yu., Kolmogorov A. G. et al. Computer Training Simulators-Imitators for Educating the Staff on Accidentless Usage of

- плутации энерготехнологических котлов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1, № 1. С. 7–14.
2. Литвинов В. А. Компьютерные тренажеры как средство эффективного формирования компетенций обучающихся // Вестник Барнаульского юридического института МВД России. 2020. № 1. С. 210–212.
 3. Арапова Е. А., Крамаров С. О., Сахарова Л. В. Разработка концепции интеллектуальной платформы для реализации индивидуальной траектории обучения с учетом базового уровня знаний и психотипа обучающегося // Вестник кибернетики. 2022. № 1. С. 6–15.
 4. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Построение многофункционального тренажера по управлению теплоэнергетической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 2. С. 161–168.
 5. Gilbert D., Heiner M., Ghanbar L. et al. Spatial Quorum Sensing Modelling Using Coloured Hybrid Petri Nets and Simulative Model Checking. BMC Bioinformatics. 2019. Vol. 20 (Suppl. 4). P. 173.
 6. Bevilacqua M., Ciarapica F. E., Giovanni M. Timed Coloured Petri Nets for Modelling and Managing Processes and Projects. Procedia CIRP. No. 67. P. 58–62.
 7. Liu F., Heiner M., Gilbert D. Coloured Petri Nets for Multilevel, Multiscale and Multidimensional Modelling of Biological Systems. Briefings in Bioinformatics. 2019. Vol. 20, No. 3. P. 877–886.
 8. Blondin M., Finkel A., Haase C. et. al. The Logical View on Continuous Petri Nets. ACM Transactions on Computational Logic. 2017. Vol. 18, No. 3. P. 1–28.
 9. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Концепция построения аналитико-имитационных моделей человеко-машинных систем управления с помощью E-сетей // Вестник кибернетики. 2020. № 2. С. 50–57.
 10. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Моделирование взаимодействия коллектива операторов в процессе управления технической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 4. С. 100–106.
 11. Романенко Н. Д. Нечеткая логика в проектировании методической системы обучения математике в учреждениях высшего образования // Перспективы науки – 2016 : материалы IV междунар. заоч. конкурса науч.-исслед. работ, Казань, 10 октября 2016 г. Т. 2. Казань : Рокета Союз, 2016. С. 237–242.
 12. Фрейман В. И. Применение методов нечеткой логики для дешифрации и оценивания результатов обучения, представленных в компетентностном формате // Technical Progress of Mankind in the Context of Continuous Extension of the Society's Material Needs. 2015. С. 13–17.
 1. Energo-technological Boilers. Collection of Scientific Works of the Angar State Engineering University. 2015. Vol. 1, No. 1. P. 7–14. (In Russian).
 2. Litvinov V. A. Kompiuternye trenazhery kak sredstvo effektivnogo formirovaniia kompetentsii obuchaiushchikhsia. Vestnik Barnaulskogo iuridicheskogo instituta MVD Rossii. 2020. No. 1. P. 210–212. (In Russian).
 3. Arapova E. A., Kramarov S. O., Sakharova L. V. Concept Development of an Intelligent Platform Aimed at Implementing an Individual Learning Path according to the Student's Basic Level of Knowledge and Psychological Type. Proceedings in Cybernetics. 2022. No. 1. P. 6–15. (In Russian).
 4. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Construction of Multifunctional Simulator for Controlling Heat and Power System. Proceedings in Cybernetics. 2018. No. 2. P. 161–168. (In Russian).
 5. Gilbert D., Heiner M., Ghanbar L. et al. Spatial Quorum Sensing Modelling Using Coloured Hybrid Petri Nets and Simulative Model Checking. BMC Bioinformatics. 2019. Vol. 20 (Suppl. 4). P. 173.
 6. Bevilacqua M., Ciarapica F. E., Giovanni M. Timed Coloured Petri Nets for Modelling and Managing Processes and Projects. Procedia CIRP. No. 67. P. 58–62.
 7. Liu F., Heiner M., Gilbert D. Coloured Petri Nets for Multilevel, Multiscale and Multidimensional Modelling of Biological Systems. Briefings in Bioinformatics. 2019. Vol. 20, No. 3. P. 877–886.
 8. Blondin M., Finkel A., Haase C. et. al. The Logical View on Continuous Petri Nets. ACM Transactions on Computational Logic. 2017. Vol. 18, No. 3. P. 1–28.
 9. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Concept Development of Analytical and Simulation Models for Human-Machine Control Systems Using E-Networks. Proceedings in Cybernetics. 2020. No. 2. P. 50–57. (In Russian).
 10. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Simulation of Human Operators Group Interaction during the Control of Industrial System. Proceedings in Cybernetics. 2018. No. 4. P. 100–106. (In Russian).
 11. Romanenko N. D. Nchetkaia logika v proektirovanii metodicheskoi sistemy obucheniia matematike v uchrezhdeniiakh vysshego obrazovaniia. Perspektivy nauki – 2016 : Proceedings of the IV International Offline Competition of Research Works, Kazan, October 10, 2016. Vol. 2. Kazan : Roketa Soiuz, 2016. P. 237–242. (In Russian).
 12. Freyman V. I. Application of Fuzzy Logic Methods for Decryption and Assessment of Learning Outcomes Presented in the Competence-Based Format. Technical Progress of Mankind in the Context of Continuous Extension of the Society's Material Needs. 2015. P. 13–17. (In Russian).

Информация об авторах

М. Я. Брагинский – кандидат технических наук, доцент.

Д. В. Тараканов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

M. Ya. Braginsky – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.

D. V. Tarakanov – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.