

Научная статья

УДК 658.512-027.44

<https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-2-7>



Разработка прототипа тренажера оператора АСУТП

Михаил Яковлевич Брагинский, Дмитрий Викторович Тараканов✉

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена изучению понятий эффективности работы человека-оператора и методов оценки эффективности путем разработки прототипа тренажера для оператора АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами). В процессе работы были созданы методы и алгоритмы, обеспечивающие симуляцию управления производственным процессом для оценки эффективности работы операторов при управлении производственными процессами.

Результатом исследования является ПО прототипа тренажера для оценки эффективности работы операторов с дальнейшей возможностью адаптации ПО для реального предприятия.

Ключевые слова: тренажер, человек-оператор, эффективность работы, методы оценки, нечеткая логика

Для цитирования: Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Разработка прототипа тренажера оператора АСУТП // Вестник кибернетики. 2026. Т. 25, № 2. С. 67–73. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-2-7>.

Original article

Prototype development of simulator for operator of ICS

Mikhail Ya. Braginskii, Dmitriy V. Tarakanov✉

Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. The article is devoted to the concept study of performance efficiency for human-operator and efficiency rating methods by developing a prototype simulator for operator of industrial control system (ICS). Methods and algorithms that provide the simulation of production process control to assess operators' performance efficiency rate during process control are introduced.

A software tool was developed by the authors for the prototype simulation for an assessment of operator performance efficiency, which could be applicable in actual enterprises.

Keywords: simulator, human-operator, performance efficiency, efficiency rating, fuzzy logic

For citation: Braginskii M. Ya., Tarakanov D. V. Prototype development of simulator for operator of ICS. *Proceedings in Cybernetics*. 2026;25(2):67–73. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-2-7>.

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность человека-оператора оценивается по результатам проделанной работы и выходным эргономическим показателям, при этом учитываются: суммарный объем выполненной работы, сложность решенной задачи, функциональные особенности и результаты выполнения задач. Также

важно учитывать затраченное время и использованные ресурсы.

Оценку эффективности работы человека-оператора проводят как часть комплексной оценки работы человеко-машинной системы [1, 2].

Главным для оценки работы оператора является анализ как теоретических знаний

об оборудовании, так и навыков работы с ним. Для анализа теоретических знаний существуют специальные тесты, созданные для данной цели [3]. Для оценки работы оператора с оборудованием существуют специальные системы управления, получающие информацию о выполняемой работе для дальнейшего анализа [4].

В качестве примера способа оценки эффективности рассмотрим существующую систему оценки эффективности работы оператора [5].

В производственной машине находится дисплейный модуль, подсоединенный к системе управления для графического представления для оператора и для контроля производительности используемой машины.

Как известно [6, 7], на практике широко используются объекты автоматического и автоматизированного управления, у которых параметры меняются в широком диапазоне. Поэтому в подобных задачах целесообразно использовать подходы, основанные на элементах интеллектуального управления, в том числе применяя аппарат нечетких множеств [8], который показал свою эффективность в условиях априорной неопределенности моделей объектов управления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Аппаратная часть тренажера оператора включала персональные компьютеры с операционной системой Windows 10, подключенные к локальной компьютерной сети организации.

Для выполнения работы (создания прототипа тренажера) была предложена концепция диагностической интеллектуальной системы, основанная на подаваемых сигналах тренажером оператору, распознавании событий и реакций человека-оператора на предупреждающие и аварийные сигналы.

Перед началом работы были поставлены следующие задачи:

1) получение экспериментальных данных о времени реакции оператора на предупреждающие и аварийные сигналы;

2) построение графиков кластеров времени реакции оператора;

3) идентификация кластеров.

Для выполнения всех этих пунктов была написана программа на языке C, обеспечивающая автоматизированное получение данных из журнала событий тренажера и их анализ. Для идентификации кластеров было решено использовать нейронные сети. Всю работу было решено выполнять в среде решения задач технических вычислений Matlab.

В процессе работы был разработан прототип тренажера оператора (рис. 1) с использованием языков HTML и JavaScript для создания пользовательского графического интерфейса и программирования внутренней логики функционирования. В качестве технологического объекта управления был выбран котел, в котором происходит нагрев теплоносителя, а также регулирование объема жидкости и контроль давления внутри котла. По сути, данный объект является аналогом (симулятором) котельной установки с измерительными элементами трех видов: датчиками давления (P), температуры (T) и уровня теплоносителя (L). Значения показаний этих датчиков отображаются рядом (на рис. 1 эти значения показаны в прямоугольных полях с серым фоном) жирным шрифтом, под ними показаны значения уставок (заранее заданных технологических границ) в виде дроби. Верхняя часть этой дроби показывает верхнюю уставку, нижняя часть – нижнюю уставку.

Работа оператора заключается в реагировании на ситуации. Например, в момент, когда температура теплоносителя на объекте управления становится равной максимальной, оператор должен выключить нагревательный элемент, а когда становится ниже – включить его. Время реакции оператора на эти события может быть различным (например, по причине усталости); данные о времени реакции оператора записывались в специальный текстовый файл [9, 10].

Для управления насосом, нагревателем и сливным краном (вентилем) на экране тренажера оператора были размещены чек-боксы

(показаны внизу рис. 1) с обозначением альтернативного способа управления – путем нажатия на клавиши *Q*, *W*, *E* для насоса, крана и нагревателя соответственно.

Программа тренажера оператора формирует журнал событий и позволяет получить

данные, проанализировав которые можно увидеть, в какие моменты происходило включение и отключение исполнительных механизмов (далее – ИМ) и какие значения принимали физические параметры объекта управления.

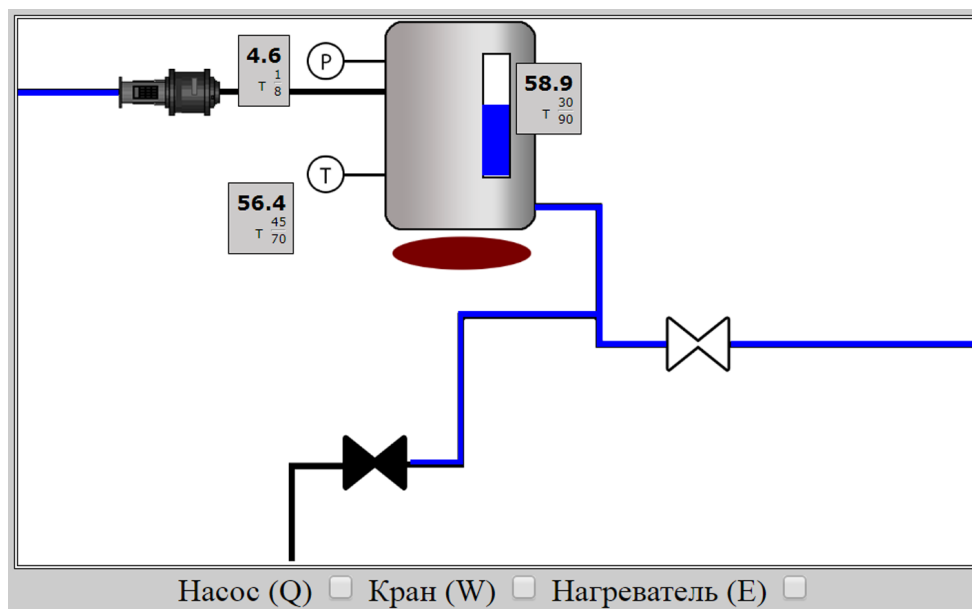


Рис. 1. Экран оператора в прототипе тренажера
Примечание: составлено авторами.

Журнал событий формирует записи каждые 0,1 секунды, поэтому количество записей в журнале составляет $10 \cdot T$, где T – время работы в тренажере оператора. Большое количество записей мешает ручному поиску моментов включения и выключения ИМ и вычислению времени их работы.

С целью автоматизированного сбора данных (АСД) была написана функция в среде Matlab. Эта функция позволяет сформировать кластеры событий для дальнейшей идентификации.

Журнал событий изначально формировался в виде таблицы, однако существуют проблемы с занесением первоначальных данных в Matlab:

- строка данных не распределяется по ячейкам;
- отсутствует признак работы ИМ в моменты нормальной работы;
- нечисловое значение признака при работе вне диапазона уставок;

– символьные значения столбца AUTO.

Для решения этих проблем было использовано редактирование таблиц Excel. Excel позволяет с помощью специальной вставки перераспределить данные по ячейкам и столбцам, а также в автоматизированном режиме заменить символьные значения на числовые:

- заменить символьные значения Н и L в столбцах SP, ST, SL на 1 и -1 соответственно;
- заменить символьные значения true и false в столбце AUTO на 1 и 0 соответственно;
- пустые ячейки в столбцах SWITCH: PUMP, HEATER, TAP заполнить 0.

Таким образом можно заносить данные в Matlab.

Алгоритм работы функций представлен на рис. 2.

Были разработаны алгоритмы сбора данных в те моменты, когда значения контролируемых параметров становились больше или меньше заданных границ (уставок) для верхнего и нижнего пределов соответственно. Исходя

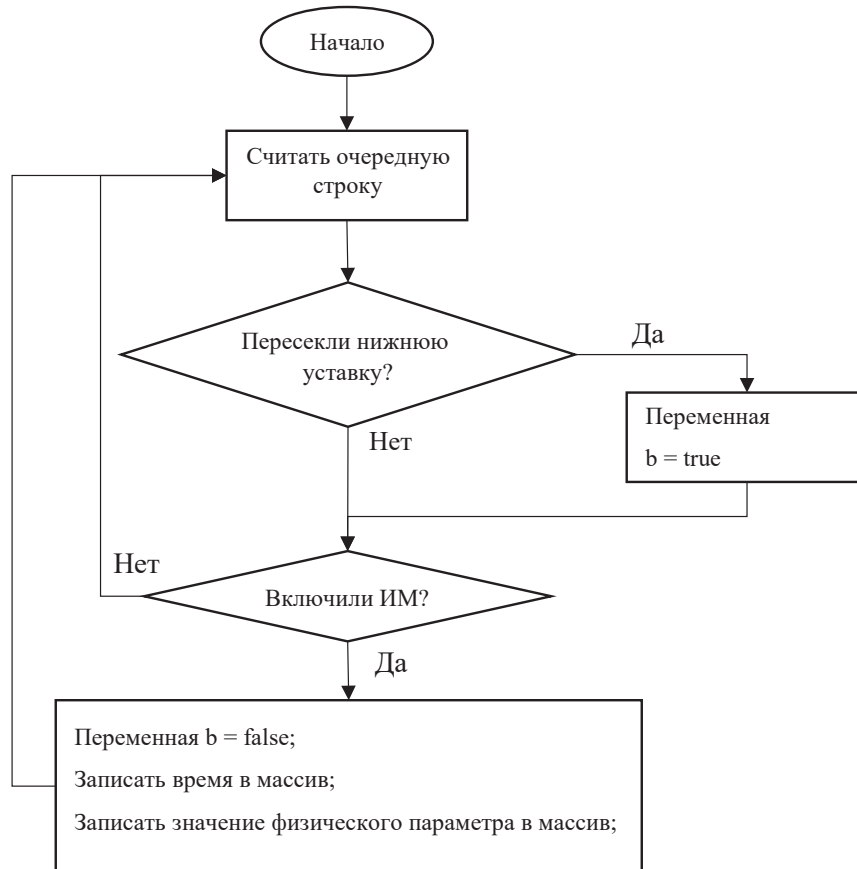


Рис. 2. Алгоритм функции АСД из журнала событий
 Примечание: составлено авторами.

из вышеописанных алгоритмов, можно сделать вывод, что будут формироваться кластеры, количество которых варьируется от 1 до 4.

Листинг функции автоматизированного сбора данных представлен ниже:

```

function [ Th, dTh, Tl, dTl, Lh, dLh, Ll, dLl] = st(A)
    numOfRows = size(A, 1); % число строк
    b = false;
    c = false;
    j=1;
    k=1;
    for i=2:numOfRows
        if A(i,7) == 1 && A(i-1,7) == 0
            b=true;
        end
        if A(i,13) == 0 && A(i-1,13) == 1 && b == true
            b=false;
            dTh(j) = A(i,10);
            Th(j) = A(i,3);
            j = j + 1;
        end
        if A(i,8) == 1 && A(i-1,8) == 0
            c=true;
        end
        if A(i,14) == 0 && A(i-1,14) == 1 && c == true
            c=false;
            dLh(k) = A(i,11);
            Lh(k) = A(i,4);
            k = k + 1;
        end
    end
end
    
```

Анализ данных осуществлялся с помощью математического аппарата нечетких множеств. Для этого была использована библиотека Fuzzy Logic Toolbox пакета прикладных программ MatLab [2]. Нечеткая кластеризация данных позволяет решить задачу идентификации событий.

Для имитации нормального и аварийных режимов работы использовался инструмент Fuzzy Logic Designer, с помощью которого задаются через функции принадлежности такие параметры системы, как давление в магистрали, температура теплоносителя и уровень жидкости (рис. 3). Используя продукционные правила логического вывода

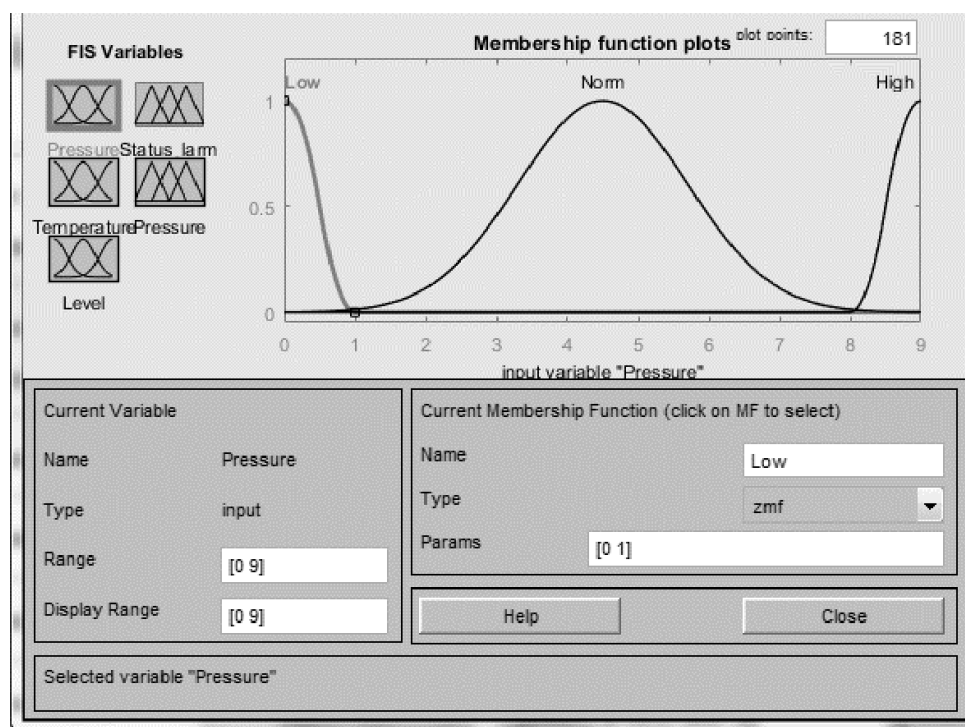


Рис. 3. Процедура фазификации параметров технологического объекта управления

Примечание: кластеризация данных осуществлялась с помощью типовой функции fcm библиотеки Fuzzy Logic.

в вышеуказанном редакторе, можно получать соответствующий отклик моделируемой системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная программа прототипа тренажера была применена для оценки времени реакции оператора в процессе выполнения трудовых функций.

В ходе проведения экспериментов были получены данные, которые характеризуют степень уровня реакции того или иного обучающегося при управлении технологическим объектом. Накопленные данные были подвергнуты процедуре кластеризации, и на рис. 4 представлен пример такого массива данных.

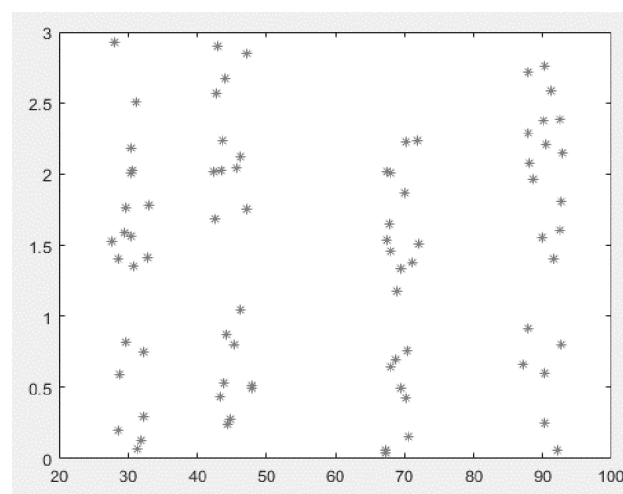


Рис. 4. Зависимость времени реакции оператора (по оси Y) от значения физических параметров модели (ось X)

Примечание: составлено авторами.

Для решения задачи кластеризации данных использовалась функция *fcm*. Результат одной из задач представлен на рис. 5. Символами «*» обозначены центры кластеров.

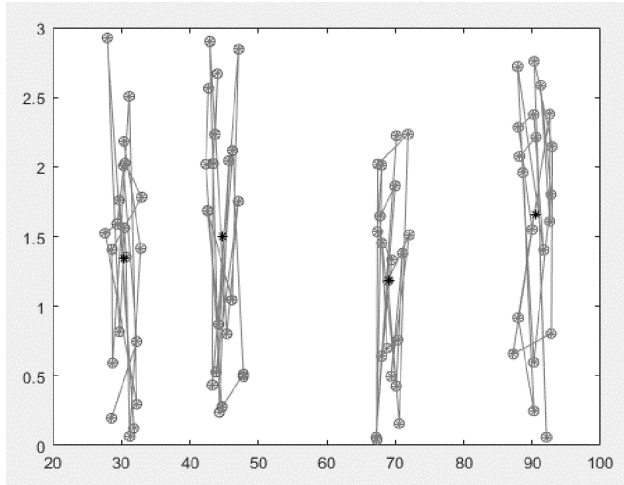


Рис. 5. Визуализация полученных кластеров
Примечание: составлено авторами.

Список источников

1. Дружинин Г. В. Учет свойств человека в моделях технологий. М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. 327 с.
2. Семенистая Е. С., Подопрыголова О. Н., Семунина Н. С. Анализ методов оценки надежности деятельности человека-оператора // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. № 2. С. 209–217.
3. Благодарный Н. С., Кобозев В. Ю., Колмогоров А. Г. и др. Компьютерные тренажеры-имитаторы для обучения персонала безаварийной эксплуатации энерготехнологических котлов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1, № 1. С. 7–14.
4. Гусев Д. В., Климов Р. С. Программный комплекс априорного оценивания показателей качества профессиональной деятельности оператора эргатической системы // Программные системы и вычислительные методы. 2015. № 4. С. 374–389.
5. Путконен А. Система для оценки производительности машины и эффективности работы ее оператора : патент 2458403C2 Рос. Федерация № 2009120025/08 ; заявл. 26.05.2009 ; опубл. 10.08.2012. URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_2009120025_20101210_A_RU (дата обращения: 10.02.2023).
6. Душков Б. А., Ломов Б. Ф., Рубахин В. Ф. и др. Деятельность оператора в системе «человек – машина» // Основы инженерной психологии. 2-е изд., доп. и перераб. М. : Высшая школа, 1986. Гл. 8. С. 169–196.
7. Литвинов В. А. Компьютерные тренажеры как средство эффективного формирования компетен-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что использованные методы исследования и разработанные алгоритмы обработки были адекватно применены в процессе решения поставленной задачи. Был спроектирован и реализован прототип симулятора объекта управления, который можно использовать для тренировки и профессионального отбора операторов человеко-машинных систем. В целом данное решение позволяет отслеживать мгновенное время реакции человека (оператора), что соответствует его текущему физиологическому состоянию. В перспективе это позволит повысить эффективность работы операторов и диспетчеров в управлении техническими системами.

References

1. Druzhinin G. V. Uchet svoystv cheloveka v modelyakh tekhnologiy. Moscow: MAIK “Nauka/Interperiodika”; 2000. 327 p. (In Russ.).
2. Semenistaya E. S., Podoprygolova O. N., Semunina N. S. Analiz metodov otsenki nadezhnosti deyatel'nosti cheloveka-operatora. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskies nauki*. 2008;(2):209–217. (In Russ.).
3. Blagodarniy N. S., Kobozev V. Y., Kolmogorov A. G. et al. Computer training simulators-imitators for educating the staff on accidentless usage of energotechnological boilers. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015;1(1):7–14. (In Russ.).
4. Gusev D. V., Klimov R. S. Programmnyy kompleks apriornogo otsenivaniya pokazateley kachestva professional'noy deyatel'nosti operatora ergaticheskoy sistemy. *Programmnye sistemy i vychislitelnye metody*. 2015;(4):374–389. (In Russ.).
5. Putkonen A. System for evaluating performance of production machine and efficiency of operator thereof. RU Patent 2458403C2 No. 2009120025/08, filed May 26, 2009, issued August 10, 2012. URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_2009120025_20101210_A_RU (accessed: 10.02.2023). (In Russ.).
6. Dushkov B. A., Lomov B. F., Rubakhin V. F. et al. Deyatel'nost operatora v sisteme “chelovek – mashina”. *Osnovy inzhenernoy psikhologii*. 2nd rev. ed. Moscow: Vysshaya shkola; 1986. Chap. 8. p. 169–196. (In Russ.).
7. Litvinov V. A. Kompyuternye trenazhery kak sredstvo effektivnogo formirovaniya kompetentsiy obuchayushchikhsya. *Vestnik Barnaulskogo yuridi-*

- ций обучающихся // Вестник Барнаульского юридического института МВД России. 2020. № 1. С. 210–212.
8. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
9. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Построение многофункционального тренажера по управлению теплоэнергетической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 2. С. 161–168.
10. Вильвер П. Ю., Юрин А. Ю. Специализированный программный комплекс «АСТ» для создания тренажеров // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 136–141.
- cheskogo instituta MVD Rossii. 2020;(1):210–212. (In Russ.).*
8. Leonenkov A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. St. Petersburg: BKHV-Peterburg; 2005. 736 p. (In Russ.).
9. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Construction of multifunctional simulator for controlling heat and power system. *Proceedings in Cybernetics*. 2018;(2):161–168. (In Russ.).
10. Wilwer P. Yu., Yurin A. Yu. “AST” software suite for creating training simulators. *Software & Systems*. 2016;(3):136–141. (In Russ.).

Информация об авторах

М. Я. Брагинский – кандидат технических наук, доцент;
<https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>,
braginskiy_myasurgu.ru
Д. В. Тараканов – кандидат технических наук, доцент;
<https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>,
sprtdv@mail.ru✉

About the authors

M. Ya. Braginskii – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
<https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>,
braginskiy_myasurgu.ru
D. V. Tarakanov – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
<https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>,
sprtdv@mail.ru✉