

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/NNSC6112>***Р. М. Дюсова¹, Г. Ж. Сейтенова², А. С. Расмухаметова³**¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар²Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана³Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1376-6112>*e-mail: rizagul.dyussova@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСОСОВ И КОМПРЕССОРОВ НА НПЗ ЧЕРЕЗ АВТОМАТИЗАЦИЮ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В КАЗАХСТАНЕ

В статье проводится всесторонний анализ современных систем автоматизации и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров, широко применяемых на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Авторы рассматривают основные подходы к внедрению технологий управления, основанных на системах SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и DCS (Distributed Control System), которые обеспечивают оптимизацию работы оборудования в реальном времени. Особое внимание уделяется математическому моделированию, которое позволяет не только улучшить рабочие режимы насосов и компрессоров, но и предсказать возможные неисправности.

Приведены результаты внедрения предиктивного обслуживания, направленного на прогнозирование износа оборудования, что помогает минимизировать незапланированные простои и снизить затраты на ремонтные работы. В статье проведен сравнительный анализ использования данных решений в Казахстане и за рубежом, что позволяет оценить перспективы внедрения передовых международных практик на казахстанских НПЗ. Отдельное внимание уделено повышению энергетической эффективности оборудования, увеличению его производительности и снижению затрат на

техническое обслуживание. Данный материал может служить полезным ресурсом для инженеров, исследователей и управленцев, работающих в нефтегазовой отрасли, заинтересованных в повышении эффективности и надежности работы производственного оборудования.

Ключевые слова: автоматизация, математическое моделирование, насосы, компрессоры, нефтеперерабатывающий завод, SCADA, DCS, цифровые двойники

Введение

Автоматизация технологических процессов на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) является одним из ключевых факторов повышения их производительности и устойчивости. Насосы и компрессоры, используемые для перекачки нефти и газов, занимают центральное место в инфраструктуре НПЗ, и их надежная и эффективная работа напрямую влияет на эффективность производственных процессов. Однако традиционные методы эксплуатации часто не позволяют своевременно выявлять износ и предотвратить аварийные остановки оборудования, что ведет к значительным простоям и экономическим потерям. В связи с этим вопрос автоматизации управления и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров становится все более актуальным как на международной арене, так и в Казахстане.

Актуальность исследования заключается в необходимости повышения надежности и производительности насосного и компрессорного оборудования на НПЗ через внедрение современных систем автоматизации и математического моделирования. В мировой практике активно развиваются решения на базе цифровых двойников и предиктивного обслуживания, которые уже доказали свою эффективность в снижении затрат и увеличении срока службы оборудования. В Казахстане данные технологии начинают внедряться, что требует научного анализа их эффективности и перспектив дальнейшего развития.

Целью настоящей статьи является анализ эффективности применения систем автоматизации и предиктивного обслуживания насосов и компрессоров на нефтеперерабатывающих заводах, а также выявление наиболее перспективных направлений для их внедрения на казахстанских НПЗ. Кроме того, проводится сравнительный анализ мировых и казахстанских решений в области автоматизации и моделирования, что позволяет оценить возможности адаптации международного опыта в отечественной промышленности.

Новизна исследования заключается в проведении комплексного анализа применения систем предиктивного обслуживания и математического моделирования на НПЗ с акцентом на насосы и компрессоры, а также в оценке

их влияния на производственные и экономические показатели предприятий. В отличие от большинства работ, фокусирующихся на отдельных аспектах автоматизации, данное исследование рассматривает широкий спектр решений, включая цифровые двойники, системы SCADA и методы анализа больших данных, что позволяет создать целостную картину перспектив автоматизации нефтеперерабатывающей отрасли в Казахстане [1-5].

Материалы и методы

Объектами исследования являются насосы и компрессоры, используемые на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Данное оборудование выполняет критические функции от процессов добычи до технологических операций, таких как перекачка и сжатие.

В рамках исследования рассмотрены следующие системы:

SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition), обеспечивающие сбор и анализ данных в реальном времени, а также дистанционное управление процессами;

DCS-системы (Distributed Control System), используемые для централизованного управления работой нескольких агрегатов с возможностью автоматического регулирования рабочих параметров;

программируемые логические контроллеры (PLC), которые выполняют функции автоматического контроля и управления насосами и компрессорами, используя данные с различных сенсоров (температура, давление, расход);

системы предиктивного обслуживания, основанные на применении методов машинного обучения и больших данных (Big Data), обеспечивающие прогнозирование износа и потенциальных отказов оборудования [6, с. 3] [7, с. 26].

Математическое моделирование насосов и компрессоров является ключевым инструментом для анализа и оптимизации их работы. В исследовании использовались следующие подходы и методы:

- CFD (Computational Fluid Dynamics) – методы численного моделирования гидродинамических процессов, позволяющие исследовать распределение потоков жидкости и газа внутри насосов и компрессоров. CFD-моделирование применялось для оценки характеристик потока, давления и скорости с целью повышения эффективности работы оборудования;

- моделирование динамики газовых потоков в компрессорах, направленное на анализ и оптимизацию режимов работы, выявление зон риска (кавитация, перегрев) и минимизацию энергетических потерь;

- модели износа и предсказания отказов, основанные на данных эксплуатации и вибродиагностики, использовались для прогнозирования сроков службы деталей и компонентов оборудования. Применялись инструменты машинного обучения для обработки данных и построения предсказательных моделей.

Для анализа работы насосов и компрессоров применялись следующие методы:

статистический анализ эксплуатационных данных, собранных через SCADA-системы. Для обработки и анализа данных использовались методы корреляционного анализа и регрессионные модели, что позволило выявить зависимости между параметрами работы оборудования и его производительностью;

анализ вибрационных характеристик, осуществляемый с помощью специализированных датчиков и программного обеспечения для оценки состояния механических элементов. Вибродиагностика использовалась для определения возможных дефектов и прогнозирования износа;

тепловой анализ, проводимый с помощью инфракрасных камер и температурных сенсоров для оценки температурных режимов работы насосов и компрессоров. Тепловой анализ позволил выявить зоны потенциального перегрева и отклонения от нормальных условий эксплуатации.

Результаты и обсуждение

Ранее авторами были проведены исследования реакторов и проведено обоснование выбора гидродинамических режимов для построения математических моделей процессов нефтепереработки [9].

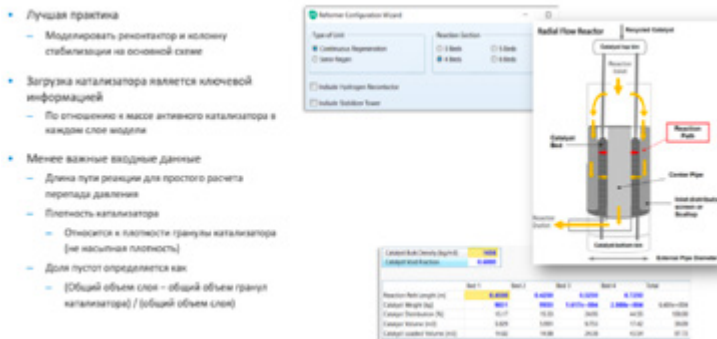


Рисунок 1 – Конфигурация реактора

В Казахстане, как и в мировой практике, насосы и компрессоры составляют значительную часть оборудования на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). В среднем, на казахстанских НПЗ насосы и компрессоры могут занимать от 30 до 40% всего технологического оборудования.

В настоящее время авторами проводится моделирование потоковой схемы с учетом характеристик насосов и компрессоров. В зависимости от мощностей установки определяются необходимые насосы и компрессоры.

Ключевыми критериями оценки эффективности внедрения автоматизации выступали следующие показатели:

- снижение простоев оборудования;
- повышение производительности насосов и компрессоров;
- экономия энергии.

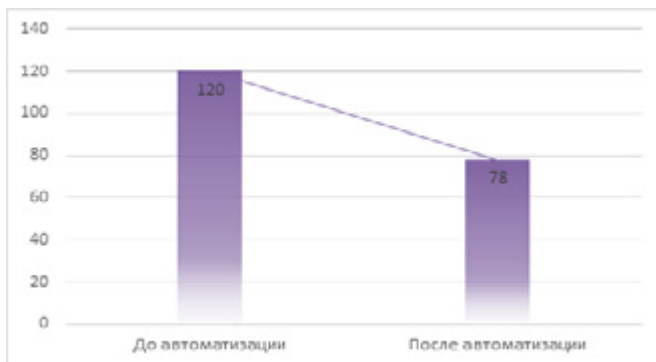


Рисунок 1 – Показатели простоя оборудования до и после внедрения автоматизации

Как видно на рис.1 простой оборудования уменьшился со 120 ч/год до 78 ч/год, что составляет порядка 35%.

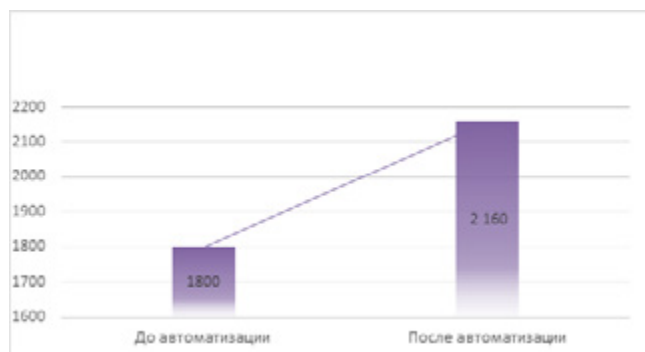


Рисунок 2 – Показатель производительности машин (насосы, компрессоры)

Увеличен показатель производительности насосов и компрессоров с 1800 м³/сут до 2 160 м³/сут.

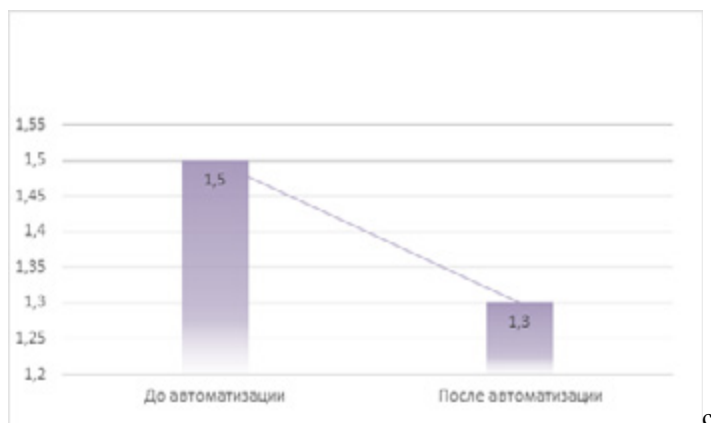


Рисунок 3 – Показатель экономии энергии, МВт-ч

Снижение энергопотребления привело к экономии денежных средств. Благодаря внедрению предиктивного обслуживания снижены расходы на обслуживание насосов и компрессоров на 20-25 %. Это объясняется уменьшением числа аварий и предотвращением критических поломок.

На нефтеперерабатывающих заводах за рубежом (например, в США и Европе) внедрение автоматизации и цифровых двойников насосов и компрессоров привело к снижению аварийности на 50 % и увеличению срока службы оборудования на 30 %. В Казахстане аналогичные системы внедряются постепенно, и результаты показывают положительную динамику, снижение аварийности на 25–30 % и увеличение срока службы на 15-20 %. В США и Европе срок службы насосов увеличен с 5 до 6,5 лет. В Казахстане срок службы насосов увеличен с 5 до 5,75 лет благодаря автоматизации [10].

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется в рамках проекта «Жас ғалым» AP19175752 «Научно-техническое обеспечение энергосбережения и ресурсоэффективности технологии приготовления высокооктановых бензинов и ароматических углеводородов» Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Внедрение автоматизированных систем управления и предиктивного обслуживания на нефтеперерабатывающих заводах демонстрирует высокую эффективность в снижении простоев, повышении производительности

и экономии энергии. Дальнейшая интеграция более продвинутых технологий, таких как цифровые двойники, может привести к еще большему улучшению показателей работы оборудования как на казахстанских, так и на международных предприятиях.

Эти данные демонстрируют положительное влияние автоматизации и предиктивного обслуживания на эксплуатацию насосов и компрессоров в нефтеперерабатывающей промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Иванов, А. А., Петров, В. В., Сидоров, И. И.** Автоматизация насосных и компрессорных систем на нефтеперерабатывающих заводах // Journal of Automation and Control Engineering № 3. – 2019 – С. 89–95. DOI: 10.18178/joaec.7.3.89–95.

2 **Lopes, I., Figueiredo, M., Sá, V.** Criticality Evaluation To Support Maintenance Management of Manufacturing Systems // International Journal of Industrial Engineering and Management Vol. 11, № 1, 2020 – P. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.24867/IJIEEM-2020-1-248>

3 **Xi, Y., Ren, J., Wang, L., Fu, S.** Receptivity and stability of hypersonic leading-edge sweep flows around a blunt body // Journal of Fluid Mechanics Volume 916 , R2, 2021. DOI: 10.1017/jfm.2021.217.

4 **Глаголева, О. Ф., Пискунов, И. В.** Энергосбережение – приоритетная задача современной нефтегазопереработки // Neftegaz.RU № 1(109), 2021.

5 **Нургалиева, З., Баймуханов, Т.** Внедрение SCADA-систем на нефтеперерабатывающих заводах Казахстана // Kazakhstan Journal of Engineering and Technology Т. 9. – № 2. – 2017 – С. 113–120.

6 **Koroteev, D., Tekic, Z.** Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future // Energy and AI № 3, 2020 – P. 10. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>

7 WIPO. WIPO technology trends 2019: Artificial intelligence. Geneva : World Intellectual Property Organization, 2019 Jul 10.

8 **Сейтенова, Г. Ж., Дюсова, Р. М., Бурумбаева, Г. Р.** Математическое моделирование процессов нефтепереработки как метод ресурсосбережения и энергоэффективности // Журнал «Нефть и газ» № 1. – 2023 – С. 146–153. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.13>

9 Европейская комиссия. Технологии энергоэффективности в нефтегазовом секторе: отчет Европейской комиссии // European Commission Report on Industrial Energy Efficiency. Брюссель EC-200/20. – 2020.

10 КазМунайГаз. Годовой отчет о работе нефтеперерабатывающих заводов Казахстана. Астана: КазМунайГаз, 2019.

REFERENCES

- 1 **Ivanov, A. A., Petrov, V. V., Sidorov, I. I.** Avtomatizatsiya nasosnykh i kompressornykh sistem na neftepererabatyvayushchikh zavodakh [Automation of pumping and compressor systems at oil refineries] // Journal of Automation and Control Engineering T. 7, № 3 – 2019 – P. 89–95. DOI: 10.18178/joace.7.3.89–95.
- 2 **Lopes, I., Figueiredo, M., Sá, V.** Criticality Evaluation To Support Maintenance Management of Manufacturing Systems // International Journal of Industrial Engineering and Management Vol. 11, № 1 – 2020 – P. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.24867/IJEM-2020-1-248>
- 3 **Xi, Y., Ren, J., Wang, L., Fu, S.** Receptivity and stability of hypersonic leading-edge sweep flows around a blunt body // Journal of Fluid Mechanics Volume 916 , R2 – 2021. DOI: 10.1017/jfm.2021.217.
- 4 **Glagoleva, O.F., Piskunov, I.V.** Energosberigenie – prioritetnaya zadacha sovremennoi neftegazopererabotki [Energy saving is a priority task of modern oil and gas processing] // Neftegaz.RU № 1(109) – 2021.
- 5 **Nurgalieva, Z., Baimukhanov, T.** Vnedrenie SCADA-sistem na neftepererabatyvayushchikh zavodakh Kazakhstana [Implementation of SCADA systems at oil refineries in Kazakhstan] // Kazakhstan Journal of Engineering and Technology T. 9, № 2 – 2017 – P. 113–120.
- 6 **Koroteev, D., Tekic, Z.** Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future// Energy and AI № 3 – 2020 – P. 10. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>
- 7 WIPO. WIPO technology trends 2019: Artificial intelligence. Geneva: World Intellectual Property Organization – 2019 Jul 10.
- 8 **Seitenova, G. Zh., Dyussova, R.M. Burumbaeva, G. R.** Matematicheskoe modelirovanie processov neftepererabotki kak metod resursosberezhenia i energoëffektivnosti [Mathematical modeling of oil refining processes as a method of resource saving and energy efficiency] // Oil and Gas Magazine, №1 – 2023 g – P. 146–153. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.13>
- 10 Evropeiskaya komissiya. Tekhnologii energoëffektivnosti v neftegazovom sektore: otchet Evropeiskoi komissii // European Commission Report on Industrial Energy Efficiency. Bryussel’ – 2020 – EC-200/20.
- 11 **KazMunayGaz.** Godovoi otchet o rabote neftepererabatyvayushchikh zavodov Kazakhstana. Astana: KazMunayGaz – 2019.

Поступило в редакцию 23.10.24

Поступило с исправлениями 01.11.24

Принято в печать 04.12.24

*Р. М. Дюсова¹, Г. Ж. Сейтенова², А. С. Расмухаметова³

¹Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

23.10.24 ж. баспаға түсті.

01.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЗАҚСТАНДА МӨЗ-ДЕГІ СОРҒЫЛАР МЕН КОМПРЕССОРЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Бұл мақалада мұнай өңдеу зауыттарында кеңінен қолданылатын сорғылар мен компрессорларға арналған заманауи автоматтандыру және алдын ала техникалық қызмет көрсету жүйелерінің жан-жақты талдауы ұсынылады. Авторлар SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) және DCS (Distributed Control System) жүйелеріне негізделген басқару технологияларын енгізудің негізгі тәсілдерін қарастырады, бұл жабдықтың жұмысын нақты уақытта оңтайландыруды қамтамасыз етеді. Арнайы назар математикалық модельдеуге аударылған, бұл сорғылар мен компрессорлардың жұмыс режимдерін жақсартуға ғана емес, сонымен қатар ықтимал ақауларды болжауға мүмкіндік береді.

Жабдықтың тозуын болжауға бағытталған алдын ала техникалық қызмет көрсетуді енгізу нәтижелері келтірілген, бұл жоспардан тыс тоқтап қалуды азайтып, жөндеу шығындарын төмендетуге көмектеседі. Мақалада Қазақстанда және шетелде осы шешімдерді қолданудың салыстырмалы талдауы жүргізілген, бұл халықаралық тәжірибелерді Қазақстан мұнай өңдеу зауыттарында енгізу перспективаларын бағалауға мүмкіндік береді. Ерекше назар жабдықтың энергия тиімділігін арттыруға, оның өнімділігін арттыруға және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға аударылған. Бұл материал мұнай-газ өнеркәсібінде жұмыс істейтін инженерлерге, зерттеушілерге және менеджерлерге өндірістік жабдықтың тиімділігі мен сенімділігін арттыруға қызығушылық танытатын пайдалы ресурс бола алады.

Кілтті сөздер: автоматтандыру, математикалық модельдеу, сорғылар, компрессорлар, мұнай өңдеу зауыты, SCADA, DCS, цифрлық егіздер.

*R. M. Dyusova¹, G. Zh. Seytenova², A. S. Rasmukhametova³

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

³Almaty University of Power Engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 23.10.24

Received in revised form 01.11.24

Accepted for publication 04.12.24

OPTIMIZING PUMPS AND COMPRESSORS AT REFINERIES THROUGH AUTOMATION AND MODELING IN KAZAKHSTAN

This article provides a comprehensive analysis of modern automation and predictive maintenance systems for pumps and compressors widely used at oil refineries. The authors examine the main approaches to implementing control technologies based on SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) and DCS (Distributed Control System) systems, which ensure real-time optimization of equipment operation. Special attention is given to mathematical modeling, which not only enhances the operating modes of pumps and compressors but also predicts potential failures.

The results of implementing predictive maintenance aimed at forecasting equipment wear are presented, helping to minimize unplanned downtimes and reduce repair costs. The article offers a comparative analysis of the use of these solutions in Kazakhstan and abroad, allowing for an assessment of the prospects for adopting advanced international practices at Kazakh refineries. Particular focus is placed on improving the energy efficiency of equipment, increasing its productivity, and reducing maintenance costs. This material can serve as a valuable resource for engineers, researchers, and managers in the oil and gas industry who are interested in enhancing the efficiency and reliability of production equipment.

Keywords: automation, mathematical modeling, pumps, compressors, oil refinery, SCADA, DCS, digital twins.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz