

УДК 004.4'24

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ТАНКЕРОМ

Скрипко А. А.¹, Скрипко Л. П.²

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия

Статья **поступила** 28.02.2025, **принята** к публикации 30.03.2025. Опубликована онлайн.

Аннотация. Автоматизированная система управления и контроля требует усовершенствования, так как поднимается спрос на многофункциональные работы, необходимость выполнять широкий круг разнообразных задач в условиях промышленного производства, возможности перенастройки на различные функции выполнения температурного режима при реагировании на внешние воздействия. Разработана математическая модель энергоэффективности при разогреве мазута индукционным методом и представлена реализация в программном обеспечении MasterSCADA. В статье приводятся

примеры современных технологий термоизоляции и подчеркивается значимость снижения углеродного следа. Рассмотрены инновационные решения, которые способствуют повышению безопасности и экономической эффективности транспортировки нефтепродуктов.

Ключевые слова: транспортировка нефтепродуктов, индукционный нагрев, энергоэффективность, автоматизированные системы управления, термоизоляция, мазут, морской транспорт

INNOVATIVE APPROACHES TO THE TRANSPORTATION OF PETROLEUM PRODUCTS BY TANKER

Skripko A. A.¹, Skripko L. P.²

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F. M. Apraksin – branch of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia

Abstract. The automated control and monitoring system requires improvement, as the demand for multifunctional work increases, the need to perform a wide range of diverse tasks in industrial production, and the possibility of reconfiguration to various temperature control functions in response to external influences. A mathematical model is written and an implementation is presented in the MasterSCADA software. The article provides examples of modern thermal insulation technologies

and highlights the importance of reducing the hydrocarbon footprint. Innovative solutions that contribute to improving the safety and economic efficiency of transportation of petroleum products are considered.

Keywords: transportation of petroleum products, induction heating, energy efficiency, automated control systems, thermal insulation, fuel oil, marine transport

Постановление Правительства Российской Федерации от 9 сентября 2023 г. №1473 О комплексной государственной программе Российской Федерации «Энергообеспечение энергетической эффективности» направлено на решение вопросов энергоэффективности всех технологических процессов, включая переработку и транспортировку нефтепродуктов. По данным конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) около 80% объема мировой торговли в тоннах приходится на морской транспорт [1].

Наиболее распространенным нефтепродуктом, транспортируемым нефтерудовозами, является мазут. Это важное сырье для энергетики и промышленности, однако большая вязкость создает достаточно большие трудности при его транспортировке и отгрузке, в холодных климатических условиях. Температура застывания мазута марки М100 составляет 25 °С.

Обеспечение равномерного и стабильного разогрева мазута необходимо для предотвращения его загустения и снижения риска повреждения трубопроводов и оборудования. Современные технологии направлены на решения этих проблем, с учетом экономичности и экологичности процессов отгрузки, загрузки и транспортировки нефтепродуктов.

Наиболее широко используемые методы разогрева мазута это: паровой, электрический. Паровой метод основывается на циркуляции пара по трубам, окружающим резервуар с мазутом. Это надежный метод долгое время используется в Астраханском газоперерабатывающем заводе (АГПЗ). Однако большие потери тепла, особенно в зимнее время года снижает энергоэффективность и увеличивает эксплуатационные расходы.

Энергетические подогреватели применяются как дополнения к паровым, обеспечивают равномерность нагрева, но ведут к большим затратам электроэнергии и эксплуатационным расходам.

Самый перспективный на сегодняшний день метод, который уже начинает

внедряться в судовой отрасли – это индукционный нагрев. Технология индукционного метода базируется на использовании электромагнитного поля (токов Фуко), для разогрева металлических частей танка, что передает тепло мазуту. Существенные преимущества включают в себя точный контроль температуры, снижение теплоконтроля, быструю адаптацию к изменению внешних условий [2]. Индукционный нагрев равномерно распределяет тепло и сокращает риск застывания мазута.

Новые пути повышения энергоэффективности при транспортировке заключаются в использовании интеллектуальных систем управления. Технологии умных датчиков и программного обеспечения позволяют осуществлять контроль над основными параметрами: температурой и давлением, управлять системами подогрева в реальном времени.

Эти системы могут автоматически подстраиваться под изменения температуры окружающей среды, обеспечивая оптимальный уровень разогрева мазута и минимизировать энергозатраты. На рисунке 1 представлен пример умных датчиков для интеллектуальной системы разогрева мазута в танкере.

Температура разогрева варьируется при прохождении судна через холодные районы, подача тепла увеличивается, а при благоприятных условиях снижается.

Авторы предлагают новый метод индукционного разогрева мазута с внутренним змеевиком, защищенным металлическим кожухом толщиной от 2 до 10 мм.

Современные разработки в области термоизоляции включают использование композитных материалов с улучшенными характеристиками теплоудержания. Это актуально для длительных рейсов с уменьшением эксплуатационных расходов.

Необходимо учитывать экологичность ситуации, а именно снижение углеродного следа, сокращение выбросов парниковых газов, что возможно добиться токами Фуко с внутренним обогревом.

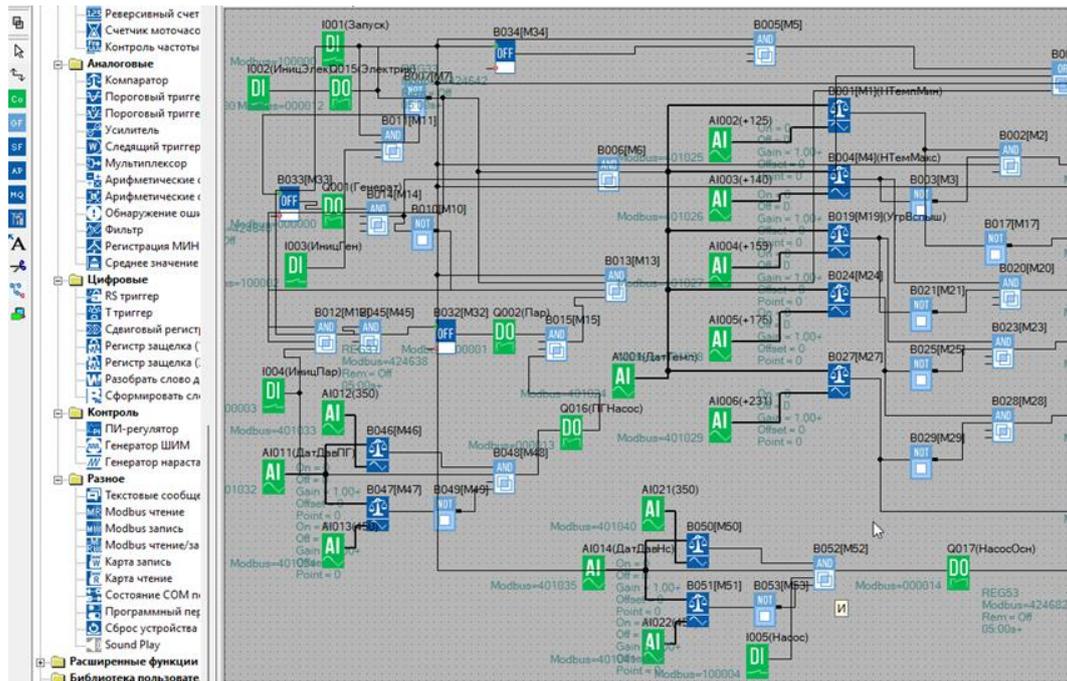


Рисунок 1. Пример умных датчиков для интеллектуальной системы разогрева мазута в танкере [3]

Разработанная математическая модель расчета энергоэффективности индукционного метода разогрева мазута над паровым позволяет оптимизировать параметры системы и адаптировать ее под конкретные условия эксплуатации. Приведена оценка энергопотребления и теплотерь различных систем нагрева [4].

Для оценки энергопотребления и теплотерь различных систем нагрева вводятся следующие параметры: m – масса мазута (кг); c – удельная теплоемкость мазута (Дж/кг·°C); d – толщина стенки (м); A – площадь стенки резервуара (м²); $T_{нач}$, $T_{кон}$ – начальная и конечная температуры мазута (°C); $\alpha_{окр}$ – средний коэффициент теплоотдачи со стенок в окружающую среду (Вт/м²·°C); τ – время нагрева (с); λ – коэффициент теплопроводности материала стенки (Вт/м·°C); $\eta_{и}$ – коэффициент теплопроводности при индукционном методе разогрева; $\eta_{п}$ – коэффициент теплопроводности при паровом методе разогрева.

Энергия для нагрева мазута:

$$Q_{мазут} = m \cdot c \cdot (T_{кон} - T_{нач}), \quad (1)$$

Теплопотери через стенки резервуара:

$$Q_{потери} = \frac{A \cdot (T_{ср} - T_{окр})}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{окр}}} \cdot \tau, \quad (2)$$

где $T_{ср} = \frac{T_{нач} + T_{кон}}{2}$

Общая энергия для парового метода:

$$W_{п} = \frac{Q_{потери} + Q_{мазут}}{\eta_{п}}, \quad (3)$$

Общая энергия для индукционного метода:

$$W_{и} = \frac{Q_{мазут}}{\eta_{и}} + k \cdot Q_{потери}, \quad (4)$$

где k – коэффициент, характеризующий снижение теплотерь при индукционном нагреве ($k < 1$).

Рассмотрим пример расчета энергоэффективности.

Для расчета принимаем: $m = 100000$ кг; $c = 2000$ Дж/кг·°C; $T_{нач} = 20$ °C, $T_{кон} = 60$ °C; $A = 500$ м²; $d = 0.02$ м; $\lambda = 50$ Вт/м·°C; $\alpha_{окр} = 10$ Вт/м²·°C; $\tau = 3600$ с; $\eta_{и} = 0.9$, $\eta_{п} = 0.6$, $k = 0.2$.

Энергия для нагрева мазута:

$$Q_{мазут} = 100000 \cdot 2000 \cdot (60 - 20) = 8 \cdot 10^9 \text{ Дж}, \quad (5)$$

Теплопотери для парового метода составляют:

$$Q_{\text{потери}} = \frac{500 \cdot (40-5)}{\frac{0.02}{50} + \frac{1}{10}} \cdot 3600 = 6.48 \cdot 10^6 \text{ Дж}, \quad (6)$$

Общая энергия для парового метода составляет:

$$W_{\text{п}} = \frac{8 \cdot 10^9 + 6.48 \cdot 10^6}{0.6} \approx 1.34 \cdot 10^{10} \text{ Дж}, \quad (7)$$

Общая энергия для индукционного метода:

$$W_{\text{и}} = \frac{8 \cdot 10^9}{0.9} + 0.2 \cdot 6.48 \cdot 10^6 \approx 8.89 \cdot 10^9 \text{ Дж}, \quad (8)$$

Сравнение энергоэффективности:

$$E_{\text{сравн}} = \frac{W_{\text{п}}}{W_{\text{и}}} \approx 1.51$$

За счет сокращения времени обработки нагрева углеводородного сырья, снижения энергопотерь, равномерного нагрева, снижения потери тепла в окружающую среду индукционный метод эффективнее примерно на 51%.

Интеллектуальные системы управления и контроля и соответствующее оборудование для нагрева мазута позволяет значительно уменьшить энергопотребление и полностью исключить человеческий фактор из данного технологического процесса. Это исключает время простоя судов, риск аварии индукционного метода разогрева с солнечными панелями.

Автоматизированные системы управления и контроля при индукционном методе разогрева помогут сохранять конкурентоспособность за счет увеличения производительности и уменьшения времени простоя оборудования.

Современные системы могут собирать и анализировать данные, что позволяет предсказывать потенциальные проблемы и заранее принимать меры для их предотвращения.

Также автоматизированные системы управления позволяют с легкостью перенастраивать оборудование для работы с различными материалами, что повышает адаптивность к требованиям рынка.

При соответствии требованиям новых экологических стандартов, транспортировка становится более безопасной, экономически выгодной и устойчивой.

На рисунке 2 представлена интеллектуальная система управления для разогрева мазута, основанная на нечеткой логике.

Транспортировка нефти и нефтепродуктов на нефтерудовозах требует поддержания оптимальной температуры мазута для предотвращения его загустения. Это особенно актуально при работе в условиях низких температур. Традиционно для нагрева мазута используются паровые системы и электрические подогреватели, которые обладают рядом недостатков: высокими энергозатратами, значительными теплопотерями и сложностью эксплуатации [5].

Применение индукционных токов Фуко открывает новые возможности для повышения эффективности и экономичности нагрева. Индукционный метод нагрева позволяет передавать тепло непосредственно через стенки резервуара, минимизируя потери.

Современные методы разгрузки топлива с использованием автоматизированных систем управления и контроля позволяют значительно сократить время выгрузки топлива. Оптимизация технологического процесса разгрузки и транспортировки нефтепродуктов помогает снижать трудозатраты, время простоя.

Применение индукционных токов Фуко для нагрева мазута в танкерах позволяет значительно снизить энергопотребление за счёт уменьшения теплопотерь. Экономия энергии и топлива достигает 20-30% [4] при внедрении данной технологии.

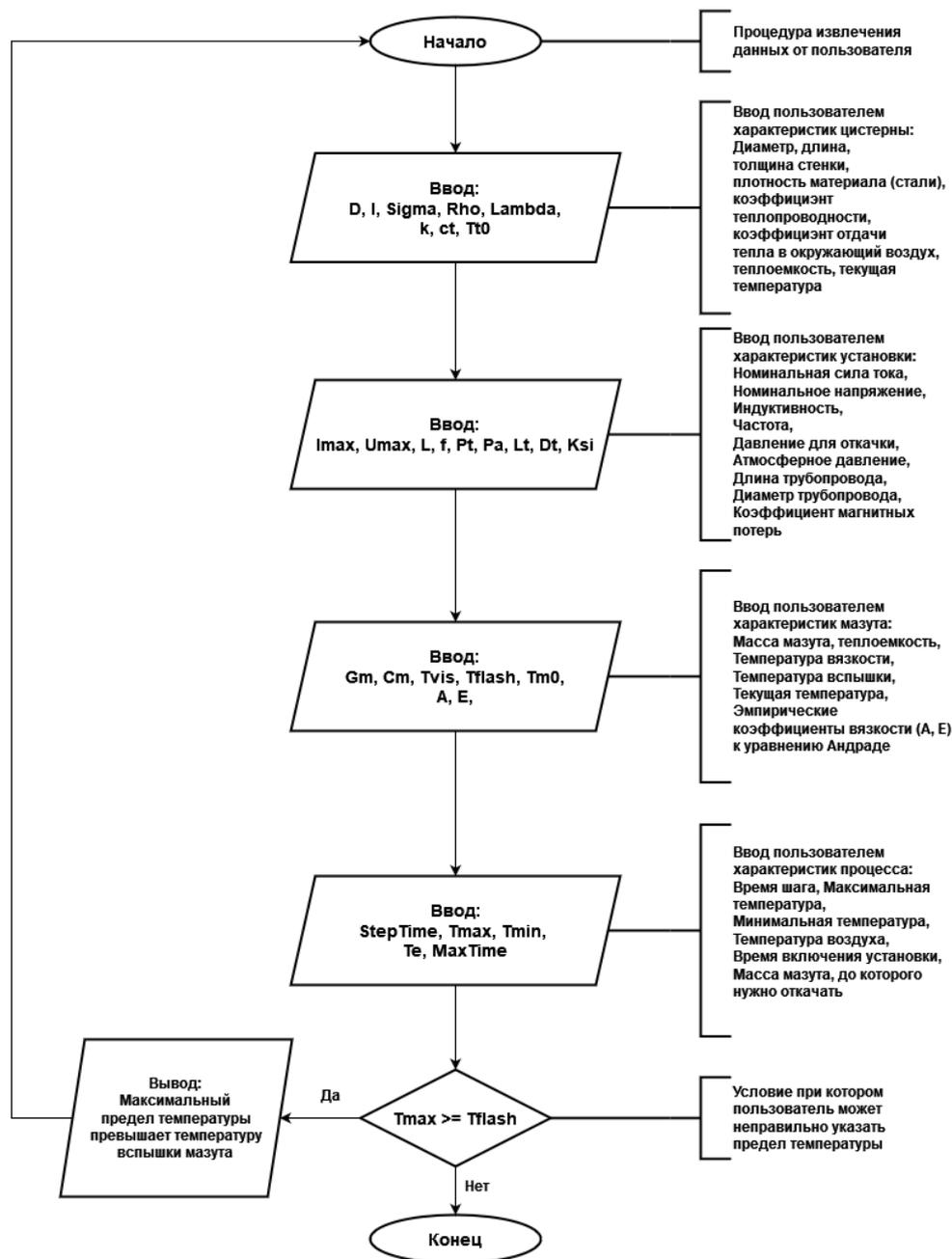


Рис.2. Интеллектуальная система управления для разогрева мазута, основанная на нечеткой логике [4]

Автоматизированные системы управления и контроля снижают риск человеческих ошибок и повышают безопасность при работе с опасным и легко воспламеняющимся топливом [6]. Разработанная математическая модель позволяет оптимизировать параметры системы и адаптировать её под конкретные условия эксплуатации.

Инновационные технологии и автоматизированные системы управления легко перестраиваются к любым погодным

условиям за счет улучшения производственных показателей при внедрении индукционного метода нагрева.

Также автоматизированные системы позволяют отслеживать и управлять технологическими процессами в реальном времени.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию конструкции индуктора и интеграцию системы с другими энергоэффективными технологиями.

Список литературы

1. Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности»: постановление правительства Рос. Федерации от 9 сентября 2023г. №1473 – С.14. – Прил.: Правительство Российской Федерации
2. Правила морской перевозки нефти и нефтепродуктов наливом на танкерах: РД 31.11.81.36-81; утв. Министерством морского флота СССР / Мортехинформреклама. – М., 1985. – 85 с.
3. Скрипко Л.П., Скрипко А.А. Энергоэффективность в технологическом процессе при транспортировке мазута. 68-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвящённая 30-летию со дня присвоения АТИРПиХ статуса технического университета, Астрахань, 27–31 мая 2024 года: материалы / Астраханский государственный технический университет. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2024. – 1 CD-ROM. – Систем. требования: Microsoft Windows XP и выше. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный
4. Скрипко А.А., Скрипко Л.П., Повышение качества и энергоэффективности при транспортировке углеводородного сырья // Информационные технологии и технические средства управления (ICCT-2024) = International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT-2024): материалы VIII Междунар. научн. конфер., 1–5 октября 2024 г., Владикавказ / под общ. ред. Е.А. Барабановой, К.А. Выговтова; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук Минобрнауки РФ – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 16,4 Мб). – М.: ИПУ РАН, 2024
5. Петров А. П. Экологическая безопасность. Ограничение выбросов серы судовыми энергетическими установками / А. П. Петров, Г. Е. Живлюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2019. - №1(53). - С. 130-145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145
6. Коршунов Г.И., Ли Ш.М. Сокращение времени производственного цикла морской транспортировки нефти на основе внедрения методов менеджмента и технологических инноваций // Информационно-управляющие системы. 2013. № 5. С. 86-92.

References

1. On approval of the comprehensive state program of the Russian Federation "Energy saving and increasing energy efficiency": Resolution of the Government of the Russian Federation of September 9, 2023 No. 1473 - 14 p. - Appendix: Government of the Russian Federation
2. Rules for the sea transportation of oil and oil products in bulk on tankers: RD 31.11.81.36-81; approved. by the USSR Ministry of the Marine Fleet. Mortekhinformreklama. - M., 1985. - 85 p.
3. Skripko L.P., Skripko A.A. Energy efficiency in the technological process during transportation of fuel oil. 68th International Scientific Conference of Astrakhan State Technical University dedicated to the 30th Anniversary of ATIRPiH being granted the status of a technical university, Astrakhan, May 27–31, 2024. Publishing House of Astrakhan State Technical University, Astrakhan, 2024.
4. Skripko A.A., Skripko L.P., Improving the quality and energy efficiency in the transportation of hydrocarbon raw materials. Information technologies and technical means of control (ICCT-2024) = International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT-2024): Proc. of the VIII Int. scientific conf., October 1–5, 2024, Vladikavkaz. Moscow: IPU RAS, 2024

5. Petrov A.P., Zhivlyuk G.E. Environmental Safety. Limiting Sulfur Emissions from Marine Power Plants. Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. - 2019. - No. 1 (53). - pp. 130-145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145

6. Korshunov G.I., Li Sh.M. Reducing the production cycle time of marine oil transportation based on the implementation of management methods and technological innovations. Information management systems. 2013. No. 5. pp. 86-92.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

Анастасия Андреевна Скрипко, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления», специальность 3.2.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16, skripkoanastasia@mail.ru

Людмила Петровна Скрипко, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф. М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, стр. 6.

Anastasia Andreevna Skripko, Postgraduate at the Department of Automated Information Processing and Management, specialty 3.2.1 System Analysis, Management and Information Processing, Statistics, Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva str., Astrakhan, Russia, 414056

Lyudmila Petrovna Skripko, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor at the Department of Mathematical and Natural Sciences, Caspian Institute of Sea and River Transport named after General-Admiral F. M. Apraksin – branch of Volga State University of Water Transport, 6, Nikolskaya st. Astrakhan, Russia, 414000