

**Гончаров Р. Д.**, кандидат технических наук, доцент, **основной автор**, <https://orcid.org/0009-0005-9717-4764>

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, пр-т. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, 410012, Российская Федерация, [professor6666@gmail.com](mailto:professor6666@gmail.com)

**Днекешев А. А.**, магистр технических наук, <https://orcid.org/0000-0002-2352-7898>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Казахстан, [dnekeshev1991@gmail.com](mailto:dnekeshev1991@gmail.com)

**Жаксыбаев Д. О.**, доктор PhD, <https://orcid.org/0000-0001-6355-5431>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Казахстан, [darhan03.92@mail.ru](mailto:darhan03.92@mail.ru)

**Goncharov R. D.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **the main author**, <https://orcid.org/0009-0005-9717-4764>

«Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., bldg. 4, building 3, 410012, Russian Federation, [professor6666@gmail.com](mailto:professor6666@gmail.com)

**Dnekeshev A. A.**, Master of Technical Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-2352-7898>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, [dnekeshev1991@gmail.com](mailto:dnekeshev1991@gmail.com)

**Zhaxybayev D. O.**, PhD, <https://orcid.org/0000-0001-6355-5431>

NAO NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, [darhan03.92@mail.ru](mailto:darhan03.92@mail.ru)

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ  
В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ  
APPLICATION OF THE PIECEWISE LINEAR APPROXIMATION METHOD  
TO SOLVING OPERATIONAL MANAGEMENT PROBLEMS OF AN OIL REFINERY  
IN EMERGENCY SITUATIONS**

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассматривается задача повышения эффективности оперативного управления нефтеперерабатывающим предприятием при возникновении сложных аварийных ситуаций, требующих немедленного реагирования, строгой координации действий и минимизации ущерба. Актуальность работы обусловлена высокой степенью риска при ведении технологических процессов в нефтехимической отрасли, где сбои и аварии могут иметь критические последствия как для производственного цикла, так и для окружающей среды.

Предложен методический подход, основанный на применении кусочно-линейной аппроксимации, позволяющий упростить интегральную форму задачи управления путём перехода к дискретной модели, обеспечивающей быстрое и точное вычисление оптимальных стратегий. Введены определения метрик расстояния между состояниями объекта, а также функции ущерба, учитывающей важность различных параметров технологической системы через весовые коэффициенты. В качестве метода оптимизации используется динамическое программирование, обеспечивающее поэтапный выбор наилучшей траектории ликвидации аварийной ситуации.

Проведена формализация условий переходов, разработаны модели допустимых траекторий с учетом ограничений. Апробация предложенного метода выполнена на примере реального производственного инцидента, что позволило на практике подтвердить точность и устойчивость предложенного подхода. Полученные результаты могут быть применены при разработке автоматизированных систем управления безопасностью на промышленных предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли.

**ANNOTATION**

This article considers the problem of increasing the efficiency of operational management of an oil refinery in the event of complex emergency situations that require immediate response, strict coordination

of actions and damage minimization. The relevance of the work is due to the high degree of risk in the management of technological processes in the petrochemical industry, where failures and accidents can have critical consequences for both the production cycle and the environment.

A methodological approach based on the use of piecewise linear approximation is proposed, which allows simplifying the integral form of the control problem by switching to a discrete model that ensures fast and accurate calculation of optimal strategies. Definitions of metrics of the distance between the states of the object, as well as the damage function, taking into account the importance of various parameters of the technological system through weighting factors, are introduced. Dynamic programming is used as an optimization method, providing a step-by-step selection of the best trajectory for eliminating an emergency situation.

The transition conditions are formalized, models of admissible trajectories are developed taking into account the restrictions. The proposed method was tested using a real production incident as an example, which allowed us to confirm the accuracy and sustainability of the proposed approach in practice. The results obtained can be used in developing automated safety management systems at industrial enterprises in the oil refining industry.

**Ключевые слова:** оперативное управление, нефтеперерабатывающее предприятие, аварийные ситуации, кусочно-линейная аппроксимация, динамическое программирование, минимизация ущерба, дискретная модель, траектория управления, математическое моделирование, промышленная безопасность.

**Key words:** operational management, oil refinery, emergency situations, piecewise linear approximation, dynamic programming, damage minimization, discrete model, control trajectory, mathematical modeling, industrial safety.

**Введение.** В современном производстве, особенно в области нефтепереработки, оперативное управление в условиях возникновения аварийных ситуаций является одной из наиболее актуальных задач. Аварийные ситуации способны привести к значительным экономическим потерям и экологическим проблемам, вследствие чего своевременное и эффективное управление приобретает решающее значение [1]. Традиционные методы решения задач управления часто оказываются недостаточно эффективными ввиду высокой сложности вычислений [2] и больших временных затрат [3].

В статье подробно рассматривается применение метода кусочно-линейной аппроксимации как способа упрощения задач управления, снижения сложности вычислений и повышения оперативности принимаемых решений.

**Материалы и методы исследований.** В данном исследовании использовался комплексный подход, сочетающий математическое моделирование, метод кусочно-линейной аппроксимации и динамическое программирование, позволяющие эффективно решать задачи оперативного управления нефтеперерабатывающим предприятием в аварийных ситуациях. В качестве исходных материалов были взяты данные реальных аварийных ситуаций [4], произошедших на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе [5]. Эти данные включали как количественные показатели состояния производственных процессов и технологических линий, так и качественные оценки со стороны экспертов, занимающихся управлением производственной безопасностью.

Основной метод исследования, кусочно-линейная аппроксимация, был выбран по причине высокой сложности исходных задач, включающих интегральные критерии. Традиционное решение таких задач затруднено из-за необходимости вычисления интегралов с переменными верхними и нижними пределами, что существенно увеличивает вычислительные затраты. Метод кусочно-линейной аппроксимации позволяет эффективно преодолеть эту проблему, разбивая сложные интегральные выражения на совокупность простых сумм, вычисляемых на отдельных, дискретных временных интервалах [6,7].

Для применения метода кусочно-линейной аппроксимации был реализован следующий алгоритм:

1. Определение исходного временного интервала функционирования объекта управления, в рамках которого необходимо принять решение об оперативном управлении.

2. Разделение этого временного интервала на несколько более мелких интервалов одинаковой продолжительности, называемых шагами квантования. Выбор шага квантования осуществлялся таким образом, чтобы обеспечить баланс между точностью расчетов и скоростью их выполнения.

3. Введение гипотезы о том, что в пределах каждого шага квантования изменение параметров, характеризующих состояние объекта и внешнюю среду, происходит линейно. Такое допущение существенно облегчает вычисления и не приводит к значимому снижению точности итоговых результатов.

4. Для каждого дискретного интервала времени проводилось определение набора состояний объекта, которые могут быть достигнуты из текущего состояния с учетом возможных управляющих воздействий и изменений внешних условий. Таким образом, формировалась матрица переходов, описывающая допустимые изменения состояния на каждом шаге.

5. Далее, для каждого возможного перехода осуществлялось вычисление функции ущерба, используя математическую модель, включающую в себя как прямые затраты на устранение аварийной ситуации, так и косвенные убытки, возникающие в результате простоя оборудования и нарушений производственного процесса.

В качестве дополнительного математического инструмента был использован метод динамического программирования, предложенный Р. Беллманом. Данный метод идеально подходит для решения многокритериальных и многоэтапных задач, к которым относится задача оперативного управления в условиях аварийной ситуации. Динамическое программирование позволяет поэтапно оптимизировать решение, используя рекуррентные формулы для выбора наиболее рационального перехода из одного состояния в другое [8-15]. Реализация метода динамического программирования проходила по следующим шагам:

1. Определение критериев оптимальности и построение целевой функции, минимизирующей общий ущерб от аварийной ситуации.

2. Создание рекуррентных соотношений для расчета оптимальных решений на каждом шаге времени, с учетом уже рассчитанных оптимальных решений на предыдущих этапах.

3. Осуществление процедуры обратной прогонки, при которой начиная с конечного состояния производится последовательный перебор возможных промежуточных состояний и выбор тех, которые минимизируют интегральный показатель ущерба.

4. Получение окончательной траектории перехода из начального в конечное состояние, обеспечивающей минимизацию общего ущерба.

Для уточнения исходных параметров были использованы экспертные оценки модели и проверки адекватности полученных результатов. Экспертная группа состояла из специалистов предприятия, обладающих глубоким пониманием специфики производственных процессов, а также рисков и последствий аварийных ситуаций.

**Результаты и их обсуждения.** В результате применения метода кусочно-линейной аппроксимации совместно с динамическим программированием были получены обоснованные результаты, подтверждающие эффективность подхода для решения задач оперативного управления нефтеперерабатывающим предприятием в аварийных ситуациях.

Исходная задача управления представлена интегральным выражением, направленным на минимизацию общего ущерба  $J$ :

$$J = \int_{t_0}^{t_k} U(x, u, t) dt \rightarrow \min$$

где,  $U(x, u, t)$  – функция ущерба, зависящая от состояния объекта  $x$ , управляющего воздействия  $u$  и времени  $t$ ;

$t_0, t_k$  – начальный и конечный моменты времени ликвидации аварийной ситуации.

Используя метод кусочно-линейной аппроксимации, исходная задача была преобразована в дискретный аналог, заменив интеграл суммой:

$$J \approx \sum_{i=1}^N U(x_i, u_i) \Delta t \rightarrow \min$$

где,  $N$  – количество временных интервалов квантования;  $\Delta t$  – шаг квантования.

Далее задача была решена методом динамического программирования, который представлен рекуррентным соотношением:

$$F_i(x_i) = \min[U(x_i, u_i) \Delta t + F_{i+1}(x_{i+1})]$$

где,  $F_i(x_i)$  – минимальный ущерб от состояния  $x_i$  на шаге  $i$ ;  $F_{i+1}(x_{i+1})$  – минимальный ущерб на следующем шаге.

*Исходные данные задачи*

Для проведения расчетов были использованы данные реальной аварийной ситуации на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе, а именно ремонт колонны газофракционирования С-400.

Исходные координаты начального состояния объекта изображены в таблице 1 (момент возникновения аварийной ситуации):

Таблица 1 – Начальные координаты состояния объекта

Координата 1	Координата 2	Координата 3	Координата 4	Координата 5	Координата 6
0,45	0,60	0,65	0,70	0,70	0,80

Координаты конечного состояния объекта изображены в таблице 2 (момент завершения аварийной ситуации):

Таблица 2 – Конечные координаты состояния объекта

Координата 1	Координата 2	Координата 3	Координата 4	Координата 5	Координата 6
0,45	0,60	0,65	0,70	0,70	0,80

Координаты промежуточных состояний изображены в таблице 3, через которые объект проходил в ходе ликвидации аварийной ситуации:

Таблица 3 – Координаты промежуточных состояний производственного процесса

Состояние	Координата 1	Координата 2	Координата 3	Координата 4	Координата 5	Координата 6
Z <sub>0</sub>	0,45	0,60	0,65	0,70	0,70	0,80
Z <sub>11</sub>	0,45	0,70	0,70	0,75	0,75	0,80
Z <sub>12</sub>	0,45	0,75	0,80	0,80	0,75	0,80
Z <sub>13</sub>	0,45	0,65	0,70	0,75	0,80	0,80
Z <sub>21</sub>	0,65	0,75	0,80	0,75	0,85	0,80

#### Оценка ущерба на этапах ликвидации аварийной ситуации

Расчет ущерба на каждом шаге выполнялся с помощью математических моделей, учитывающих расстояния в метрическом пространстве состояний и затраты времени перехода. Для расчета расстояний между состояниями была использована следующая метрика:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (w_k(x_{ik} - x_{jk}))^2}$$

где,  $x_{ik}, x_{jk}$  – значения  $k$ -го параметра состояний  $x_i, x_j$ ;

$w_k$  – весовые коэффициенты, отражающие важность каждого параметра.

Затраты времени перехода между состояниями рассчитывались по формуле:

$$Z_{ij}(t) = Z_{ij}^{пл} \left[ 1 + K \left( \frac{t - t_{пл}}{t_{пл}} \right) \right]$$

где,  $Z_{ij}^{пл}$  – плановые затраты;

$t, t_{пл}$  – фактическое и плановое время перехода;

$K$  – коэффициент изменения затрат в зависимости от отклонения по времени.

Построение и анализ оптимальной траектории управления:

$$Z_0 \rightarrow Z_{12} \rightarrow Z_{21} \rightarrow Z_k$$

Эта траектория показала минимальный возможный ущерб в размере 0,385 единиц. Альтернативная траектория:

$$Z_0 \rightarrow Z_{11} \rightarrow Z_{23} \rightarrow Z_k$$

имела ущерб 0,387, что позволяет рекомендовать её в качестве запасной в случае изменения внешних условий.

Анализ чувствительности показал, что умеренные изменения весовых коэффициентов  $w_k$  не приводят к значительным изменениям оптимальной траектории и итогового ущерба, подтверждая устойчивость и практическую надежность полученных решений.

Результаты расчетов и анализ показали, что применение метода кусочно-линейной аппроксимации и динамического программирования обеспечивает эффективное решение задач оперативного управления в условиях аварийных ситуаций. Полученные оптимальные и запасные траектории подтверждают высокий потенциал данного подхода для практического использования на нефтеперерабатывающих предприятиях.

**Заключение.** В результате проведенного исследования была подтверждена эффективность применения метода кусочно-линейной аппроксимации совместно с динамическим программированием для решения задач оперативного управления нефтеперерабатывающим предприятием при возникновении сложных аварийных ситуаций. Предложенный подход позволяет значительно снизить вычислительные затраты и повысить оперативность принятия решений, обеспечивая при этом высокую точность и надежность полученных решений [16-20].

Реализация метода на примере реальной аварийной ситуации на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе продемонстрировала практическую значимость и высокую эффективность алгоритмов в условиях реального производства. Полученные оптимальные и альтернативные траектории управления с минимальными значениями ущерба (0,385 и 0,387 единицы соответственно) подтверждают возможность и целесообразность их применения на практике. Проведенный анализ чувствительности дополнительно доказал устойчивость предложенных решений к возможным изменениям условий внешней среды и входных параметров моделей. Представленные математические формулировки и таблицы исходных и промежуточных состояний объекта управления обеспечивают прозрачность и наглядность процесса принятия решений, способствуя улучшению контроля и управления производственными процессами в условиях неопределенности и риска.

Таким образом, полученные результаты убедительно демонстрируют, что метод кусочно-линейной аппроксимации и динамическое программирование являются мощным инструментом для оптимизации оперативного управления нефтеперерабатывающими предприятиями. Внедрение данных подходов в практическую деятельность позволит значительно снизить риски и потери при возникновении аварийных ситуаций, повысить безопасность и экономическую эффективность функционирования нефтеперерабатывающих производств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Днекешев, А. А. Постановка задачи оперативной идентификации аварийных ситуаций нефтеперерабатывающих предприятий [Текст] / А. А. Днекешев // Наука и образование. – 2023. – № S2-3(71). – С. 59-65.

2 Днекешев, А. А. Применение дерева отказов как метод анализа для идентификации аварийных ситуаций на нефтеперерабатывающих предприятиях [Текст] / А. А. Днекешев // Наука и образование. – 2022. – № S2-2(67). – С. 50–57.

3 Днекешев, А. А. Динамическое дерево отказов для анализа аварийных ситуаций нефтеперерабатывающих предприятий [Текст] / А. А. Днекешев // Вестник науки. – 2022. – Т. 3, № 8(53). – С. 19–30.

4 Марков, А.И. Алгоритмы идентификации аварийных ситуаций в распределенной базе данных нефтеперерабатывающих предприятий [Текст] / А.И. Марков, А.А. Днекешев // В сборнике: Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Саратов, 2021. С. 44-52.

5 Марков, А.И. Методика формирования пространства аварийных ситуаций нефтеперерабатывающего предприятия / А.И. Марков, А.А. Днекешев [Текст] // В сборнике: Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Саратов, 2021. С. 53-57.

6 Wang, D., Zhang, P., Chen, L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2013. – Vol. 26(6). – P. 1390-1398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.08.022>.

7 Chettouh, S., Hamzi, R., Benaroua, K. Examination of fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002–2013 // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2016. – Vol. 41. – P. 186-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.014>.

8 Saloua, B., Mounira, R., Salah, M. Fire and Explosion Risks in Petrochemical Plant: Assessment, Modeling and Consequences Analysis // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. – 2019. – Vol. 19. – P. 903-916. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00732-6>.

9 Elshaboury, N., Al-Sakkaf, A., Alfalah, G., Abdelkader, E. Data-Driven Models for Forecasting Failure Modes in Oil and Gas Pipes // *Processes*. – 2022. – Vol. 10. – Article 400. - DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10020400>.

10 Macêdo, J. B., Moura, M. C., Aichele, D., Lins, I. D. Identification of risk features using text mining and BERT-based models: Application to an oil refinery // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – Vol. 158. – P. 382-399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.025>.

11 Bertolini, M., Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Giacchetta, G. Development of Risk-Based Inspection and Maintenance procedures for an oil refinery // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2009. – Vol. 22(2). – P. 244-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.01.003>.

12 Taçgın, E., Sağır, Z. Development of an intelligent knowledge base for identification of accident causes based on Fu et al.'s model // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. – 2022. – Vol. 28(2). – P. 824-841. – DOI: 10.1080/10803548.2020.1831786.

13 Azadeh, A., Mokhtari, Z., Jiryaei Sharahi, Z., Zarrin, M. An integrated experiment for identification of best decision styles and teamworks with respect to HSE and ergonomics program: The case of a large oil refinery // *Accident Analysis & Prevention*. – 2015. – Vol. 85. – P. 30-44. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.016>.

14 Mkrtchyan, L., Straub, U., Giachino, M., Kocher, T., Sansavini, G. Insurability risk assessment of oil refineries using Bayesian Belief Networks // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2022. – Vol. 74. – Article 104673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104673>.

15 Sarvestani, K., Ahmadi, O., Mortazavi, S. B., Mahabadi, H. A. Development of a predictive accident model for dynamic risk assessment of propane storage tanks // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2021. – Vol. 148. – P. 1217-1232. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.018>.

16 Karagiannakis, G., Di Sarno, L., Necci, A., Krausmann, E. Seismic risk assessment of supporting structures and process piping for accident prevention in chemical facilities // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. – 2022. – Vol. 69. – Article 102748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102748>.

17 Li, F., Wang, W., Dubljevic, S., Khan, F., Xu, J., Yi, J. Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2019. – Vol. 61. – P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.001>.

18 Igenewari, V., Skaf, Z., Jennions, I. K. A survey of flight anomaly detection methods: Challenges and opportunities // *Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*. – 2019. – Vol. 11(1). – Article 898. DOI: <https://doi.org/10.36001/phmconf.2019.v11i1.898>.

19 Muram, F. U., Javed, M. A., Punnekkat, S. System of Systems Hazard Analysis Using HAZOP and FTA for Advanced Quarry Production // *Proceedings of the 4th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS 2019)*. – 2019. – P. 394-401. – DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSRS48664.2019.8987613>.

20 Oortwijn, W., Huisman, M. Formal Verification of an Industrial Safety-Critical Traffic Tunnel Control System // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2019. – Vol. 11918. – P. 293-309. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-34968-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34968-4_23).

## REFERENCES

1 Dnekeshev, A. A. Postanovka zadachi operativnoj identifikacii avarijnyh situacij neftepererabatyvayushchih predpriyatij [Tekst] / A. A. Dnekeshev // *Nauka i obrazovanie*. – 2023. – № S2-3(71). – S. 59-65.

2 Dnekeshev, A. A. Primenenie dereva otkazov kak metod analiza dlya identifikacii avarijnyh situacij na neftepererabatyvayushchih predpriyatiyah [Tekst] / A. A. Dnekeshev // *Nauka i obrazovanie*. – 2022. – № S2-2(67). – S. 50–57.

3 Dnekeshev, A. A. Dinamicheskoe derevo otkazov dlya analiza avarijnyh situacij neftepererabatyvayushchih predpriyatij [Tekst] / A. A. Dnekeshev // *Vestnik nauki*. – 2022. – T. 3, № 8(53). – S. 19–30.

4 Markov, A.I. Algoritmy identifikacii avarijnyh situacij v raspredelennoj baze dannyh neftepererabatyvayushchih predpriyatij [Tekst] / A.I. Markov, A.A. Dnekeshev // V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Saratov, 2021. S. 44-52.

5 Markov, A.I. Metodika formirovaniya prostranstva avarijnyh situacij neftepererabatyvayushchego predpriyatiya / A.I. Markov, A.A. Dnekeshev [Tekst] // V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Saratov, 2021. S. 53-57.

6 Wang, D., Zhang, P., Chen, L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2013. – Vol. 26(6). – P. 1390-1398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.08.022>.

7 Chettouh, S., Hamzi, R., Benaroua, K. Examination of fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002–2013 // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2016. – Vol. 41. – P. 186-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.014>.

8 Saloua, B., Mounira, R., Salah, M. Fire and Explosion Risks in Petrochemical Plant: Assessment, Modeling and Consequences Analysis // Journal of Failure Analysis and Prevention. – 2019. – Vol. 19. – P. 903-916. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00732-6>.

9 Elshaboury, N., Al-Sakkaf, A., Alfalah, G., Abdelkader, E. Data-Driven Models for Forecasting Failure Modes in Oil and Gas Pipes // Processes. – 2022. – Vol. 10. – Article 400. - DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10020400>.

10 Macêdo, J. B., Moura, M. C., Aichele, D., Lins, I. D. Identification of risk features using text mining and BERT-based models: Application to an oil refinery // Process Safety and Environmental Protection. – 2022. – Vol. 158. – P. 382-399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.025>.

11 Bertolini, M., Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Giacchetta, G. Development of Risk-Based Inspection and Maintenance procedures for an oil refinery // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2009. – Vol. 22(2). – P. 244-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.01.003>.

12 Taçgın, E., Sağır, Z. Development of an intelligent knowledge base for identification of accident causes based on Fu et al.'s model // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2022. – Vol. 28(2). – P. 824-841. – DOI: [10.1080/10803548.2020.1831786](https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1831786).

13 Azadeh, A., Mokhtari, Z., Jiryaei Sharahi, Z., Zarrin, M. An integrated experiment for identification of best decision styles and teamworks with respect to HSE and ergonomics program: The case of a large oil refinery // Accident Analysis & Prevention. – 2015. – Vol. 85. – P. 30-44. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.016>.

14 Mkrtychyan, L., Straub, U., Giachino, M., Kocher, T., Sansavini, G. Insurability risk assessment of oil refineries using Bayesian Belief Networks // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2022. – Vol. 74. – Article 104673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104673>.

15 Sarvestani, K., Ahmadi, O., Mortazavi, S. B., Mahabadi, H. A. Development of a predictive accident model for dynamic risk assessment of propane storage tanks // Process Safety and Environmental Protection. – 2021. – Vol. 148. – P. 1217-1232. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.018>.

16 Karagiannakis, G., Di Sarno, L., Necci, A., Krausmann, E. Seismic risk assessment of supporting structures and process piping for accident prevention in chemical facilities // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2022. – Vol. 69. – Article 102748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102748>.

17 Li, F., Wang, W., Dubljevic, S., Khan, F., Xu, J., Yi, J. Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2019. – Vol. 61. – P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.001>.

18 Igenewari, V., Skaf, Z., Jennions, I. K. A survey of flight anomaly detection methods: Challenges and opportunities // Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society. – 2019. – Vol. 11(1). – Article 898. DOI: <https://doi.org/10.36001/phmconf.2019.v11i1.898>.

19 Muram, F. U., Javed, M. A., Punnekkat, S. System of Systems Hazard Analysis Using HAZOP and FTA for Advanced Quarry Production // Proceedings of the 4th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS 2019). – 2019. – P. 394-401. – DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSRS48664.2019.8987613>.

### **ТҮЙІН**

Бұл мақалада шұғыл ден қоюды, әрекеттерді қатаң үйлестіруді және залалды азайтуды талап ететін күрделі төтенше жағдайлар туындаған кезде мұнай өңдеу зауытын жедел басқару тиімділігін арттыру мәселесі қарастырылады. Жұмыстың өзектілігі мұнай-химия өнеркәсібіндегі технологиялық процестерді басқарудағы тәуекелдің жоғары дәрежесімен түсіндіріледі, мұнда ақаулар мен авариялар өндірістік цикл үшін де, қоршаған орта үшін де сыни зардаптарға әкелуі мүмкін.

Оңтайлы стратегияларды жылдам және дәл есептеуді қамтамасыз ететін дискретті модельге ауысу арқылы басқару есебінің интегралдық түрін жеңілдетуге мүмкіндік беретін бөліктік сызықтық жуықтауды қолдануға негізделген әдістемелік тәсіл ұсынылған. Салмақтық факторлар арқылы технологиялық жүйенің әртүрлі параметрлерінің маңыздылығын ескере отырып, объектінің күйлері арасындағы қашықтық метрикасының, сондай-ақ зақымдану функциясының анықтамалары енгізілген. Оңтайландыру әдісі ретінде динамикалық бағдарламалау қолданылады, ол төтенше жағдайды жоюдың ең жақсы траекториясын кезең-кезеңімен таңдауды қамтамасыз етеді.

Өту шарттары ресімделеді, шектеулерді ескере отырып, рұқсат етілген траекториялардың үлгілері әзірленді. Ұсынылған әдіс тәжірибеде ұсынылған тәсілдің дәлдігі мен тұрақтылығын растауға мүмкіндік беретін мысал ретінде нақты өндірістік оқиғаны пайдалана отырып сыналған. Алынған нәтижелерді мұнай өңдеу өнеркәсібіндегі өнеркәсіптік кәсіпорындарда қауіпсіздікті басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеуде пайдалануға болады.