

- 5 Pat. 2230233 Rossiya MPK F04D29/62, F04D13/10, Gibkaya sharnirnaya mufta Gepshtejn F.S., D'yachuk I.A., Shaiakberov V.F. Zaiavleno. 11.09.2002; Opubl. 10.06.2004.
- 6 Shajakberov V.F., Janturin R.A. O rasshirenii vozmozhnostei UJeCN // Neftepromyslovoe delo. – 2009. – № 3. – S. 27–28.
- 7 Shlein, G. A. Ispol'zovanie koltyubinga dlya kapital'nogo remonta skvazhin / G. A. Shlein, A. A. Glushhenko. — Tekst : neposredstvennyj // Molodoi uchenyi. — 2018. — № 49 (235). — S. 58-60. — URL: <https://moluch.ru/archive/235/54606/> (data obrashheniya: 05.04.2022).
- 8 Pervyi mnogostadiinyi gidrorazryv plasta v karbonatnykh kollektorakh /Gazprom Neft'. - 2013. Rezhim dostupa: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/1095662/>
- 9 Rabota na razryv. GRP -vchera, segodnya, zavtra /S. Zorina, K. Nikolaev//Sibirskaya neft'. -2015. -№ 127. Rezhim dostupa: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-december/1110279>
- 10 Rajljan M. Tochechny gidrorazryv plasta//Neftyanik Zapadnoi Sibiri. -2015. -№ 37.
- 11 Kozyrev I. N. Povyshenie effektivnosti i dolgovechnosti raboty UJeCN putem primeneniya gibkoi sharnirnoi mufty / I. N. Kozyrev ; nauch. ruk. P. N. Zjatiev // Problemy geologii i osvoeniya neдр : trudy XIX Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvjashhennogo 70-letnemu jubileju Pobedy sovetskogo naroda nad fashistskoj Germaniej, Tomsk, 6-10 aprelja 2015 g. : v 2 t. - Tomsk : Izd-vo TPU, 2015. - T. 2. — [S. 92-93]. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/22760>
- 12 Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu i obespecheniyu kachestva provedeniya gidravlicheskogo razryva plasta na deistvuyushem fonde skvazhin Orenburgskogo mestorozhdeniya Tekst. Orenburg, 2010. - 57 s.
- 13 Gorin V., Marnosov A. Mnogostadiiye GRP: perspektivnaya tehnologiya dlya razrabotki trudnoizvlekaemykh zasposov//Novator. -2012. -№ 6 (52). -S. 7-11.
- 14 Primer primeneniya tehnologii. Mnogostadiinyi Gidrorazryv Plasta /Halliburton. - 2009. Rezhim dostupa: http://www.halliburton.ru/services/pe/pinpoint_multista ge/fracture_intensity/

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены методы повышения эффективности эксплуатации скважин с применением погружных центробежных электронасосных установок. Эффективным выбором установки и режимом ее работы является повышение эффективности эксплуатации электронасосных установок в зависимости от условий эксплуатируемой скважины. Для этого планируется использовать комбинированную методику выбора оборудования, сочетающую технический, статистический и экономический подходы к проблеме выбора оборудования и режимам его работы с учетом сложившихся сложнейших условий эксплуатации погружных центробежных электронасосных установок.

Цель статьи заключается в рассмотрении методов повышения эффективности эксплуатации скважин с применением установок электроцентробежных насосов. В ходе написания статьи были рассмотрены и проанализированы три возможных метода повышения эксплуатации установок: применение защитного дополнительного оборудования, применение технологии колтюбинга при освоении скважин после гидроразрыва пласта, а также применение гибкой шарнирной муфты в составе установок электроцентробежных насосов.

УДК 004.056.5:665.71
МРНТИ 28.27.27

Днекешев Азамат Аманжолович, магистр технических наук, **основной автор**, <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

Dnekeshev Azamat Amanzholovich, Master of Technical Sciences, **the main author**, <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

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ КАК МЕТОД АНАЛИЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ
АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
APPLICATION OF THE FAULT TREE AS A METHOD OF ANALYSIS FOR THE
IDENTIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS AT OIL REFINING ENTERPRISES**

Аннотация

Ежегодный рост потребления продуктов нефтеперерабатывающих предприятий увеличивает нагрузку на технические возможности их производства, что в свою очередь повышает риск возникновения аварийных ситуаций. Одним из путей решения данной проблемы является идентификация аварийных ситуаций нефтеперерабатывающих предприятий.

В статье рассматривается метод идентификации аварийных ситуаций «дерево отказов» (FTA) применяемый для анализа безопасности производственных процессов сложных автоматизированных систем нефтеперерабатывающих предприятий. Целью работы является построение «дерева отказов» для цеха первичной переработки нефти, характеризующий нежелательные события основных установок нефтеперерабатывающего предприятия. На основе предыдущих аварийных ситуаций произошедших на нефтеперерабатывающих предприятиях было смоделировано «дерево отказов» иллюстрирующая сценарии возможных аварий. В статье подробно рассмотрен пример такого «дерева отказов» описывающий развитие пожара на теплообменнике ЭЛОУ-АВТ нефтеперерабатывающего предприятия, используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций. Для смоделированного «дерева отказов» были определены множество минимальных сечений соответствующие критическим сочетаниям событий, приводящих к возникновению пожара охватывающего значительную часть нефтеперерабатывающего предприятия.

На основе данных минимальных сечений строятся системы линейных дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, позволяющие оценить вероятности наступления неблагоприятных сочетаний событий, приводящих к возникновению крупного пожара.

Разработанное математическое обеспечение позволяет оперативно управлять производственными процессами нефтеперерабатывающего предприятия по критерию безопасности функционирования.

ANNOTATION

The annual growth in the consumption of refinery products increases the load on the technical capabilities of their production, which in turn increases the risk of accidents. One of the ways to solve this problem is the identification of emergency situations of oil refineries.

The article discusses the fault tree (FTA) method for identifying emergency situations used to analyze the safety of production processes of complex automated systems of oil refineries. The aim of the work is to build a "fault tree" for the shop of primary oil refining, which characterizes the undesirable events of the main installations of the oil refinery. Based on previous accidents that occurred at oil refineries, a "fault tree" was modeled to illustrate scenarios of possible accidents. The article considers in detail an example of such a "fault tree" describing the development of a fire on a CDU/VDU heat exchanger of an oil refinery used to analyze the causes of emergencies. For the simulated "fault tree", a set of minimum sections were determined corresponding to the critical combinations of events that lead to the occurrence of a fire covering a significant part of the refinery.

On the basis of these minimum cross sections, systems of linear differential equations of Kolmogorov-Chapman are constructed, which make it possible to estimate the probabilities of occurrence of unfavorable combinations of events leading to the occurrence of a large fire.

The developed software allows you to quickly manage the production processes of an oil refinery according to the criterion of operational safety.

Ключевые слова: *дерево отказов, НПЗ, пожар, авария, оперативное управление.*

Key words: *fault tree, oil refinery, fire, accident, operational management.*

Введение. Первые нефтеперерабатывающие предприятия появились более пятидесяти лет тому назад и с тех пор являются одними из системообразующих предприятий экономики любого государства. Ежегодное увеличение населением потребления продуктов нефтепереработки, ставит перед нефтеперерабатывающими предприятиями задачу модернизации производственных мощностей, для увеличения выработки продукции. В связи с вышеупомянутыми фактами на повестке дня встал вопрос увеличения отказоустойчивости технических систем нефтеперерабатывающих предприятий [1,2]. Современные нефтеперерабатывающие предприятия обладают вычислительными комплексами, которые позволяют во многом решить эту проблему и значительно уменьшить количество и риск возникновения аварийных ситуаций. И тем не менее аварийные ситуации продолжают регулярно возникать как в нашей стране, так и за рубежом [3-6].

Материалы и методы исследований. В настоящее время для увеличения безопасности функционирования производственных процессов нефтеперерабатывающих предприятий широко распространены следующие основные методы анализа: исследования опасностей и работоспособности (HAZOP), идентификации отказов (HAZID) и анализа дерева отказов (fault tree analysis – FTA) [7].

Проанализировав вышеописанные методы [8] был сделан вывод, что для анализа безопасности функционирования производственных процессов нефтеперерабатывающих предприятий лучше всего подходит метод FTA, так как при сравнительно небольших финансовых и временных затратах он позволяет получить объективную картину причин возникновения распространенных видов отказов и аварийных ситуаций.

Метод анализа дерева отказов (FTA) позволяет анализировать комбинации отказов сложных систем, которые строятся по принципу «сверху – вниз» и визуально представляются как логическая диаграмма. Одно из основных преимуществ FTA перед другими методами заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к рассматриваемому виду отказов или аварий системы [9-11].

Результаты исследования. С помощью метода FTA было построено дерево отказов первичной переработки нефти НПЗ (рис. 1), которое имеет в качестве конечного события возникновение пожара, охватывающего значительную часть завода. Вершины дерева D(A) представляют соответствующее нежелательному событию или отказу оборудования блока первичной переработки нефти. Дуги дерева D(A), кроме конечных событий, соответствуют логические операторы «ИЛИ» или «И», которые определяют условие возникновения этого события как следствия событий нижнего уровня.

Как показывает практика, в ряде случаев аварийную ситуацию вызывает сочетание нескольких в произвольном порядке возникающих и разнесенных по времени событий, каждое из которых по отдельности может существенно не влиять на безопасность функционирования системы в целом. Такие сочетания названы критическими сочетаниями событий [12-19].

Возникновение критических сочетаний событий на нефтеперерабатывающих предприятиях способствует увеличению аварийных ситуаций. Данная проблема требует математического решения за счет использования формальных моделей и алгоритмов для анализа критических сочетаний событий.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: А – пожар на блоке первичной переработки нефти; В – пожар на ЭЛОУ-АВТ; С – пожар в насосной первичной переработки нефти; Е – пожар в технологическом оборудовании; N – пожар из-за поломки холодильного оборудования; F – пожар на резервуарном парке; G – пожар пролива; О – пожар на трубчатой печи; Н – пожар на теплообменнике ЭЛОУ-АВТ; I – пожар на ВТ; J – пожар на АТ; К – пожар на трубопроводной системе ЭЛОУ-АВТ; L – пожар на ЭЛОУ; М – пожар в насосной ЭЛОУ-АВТ.

Для определения критических сочетаний событий, приводящих к аварии на нефтеперерабатывающем предприятии, предлагается использовать формальный аппарат деревьев отказов. Фрагмент верхнего уровня такого дерева D_A , характеризующего процесс развития аварии на нефтеперерабатывающем предприятии из-за возникновения пожара на теплообменнике ЭЛОУ-АВТ, представлен на рис. 2.

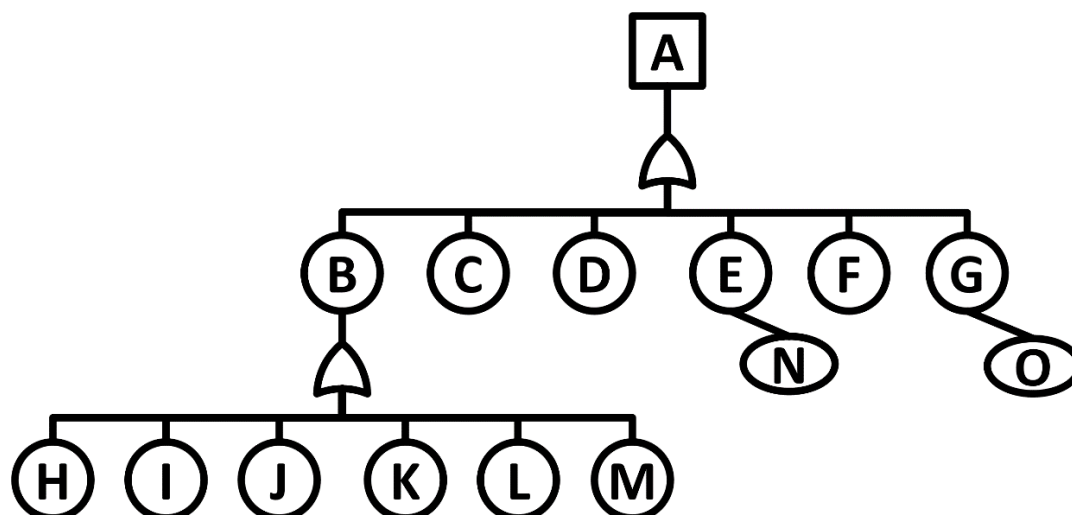


Рисунок 1 – Общая схема верхнего уровня дерева отказов D_A НПЗ

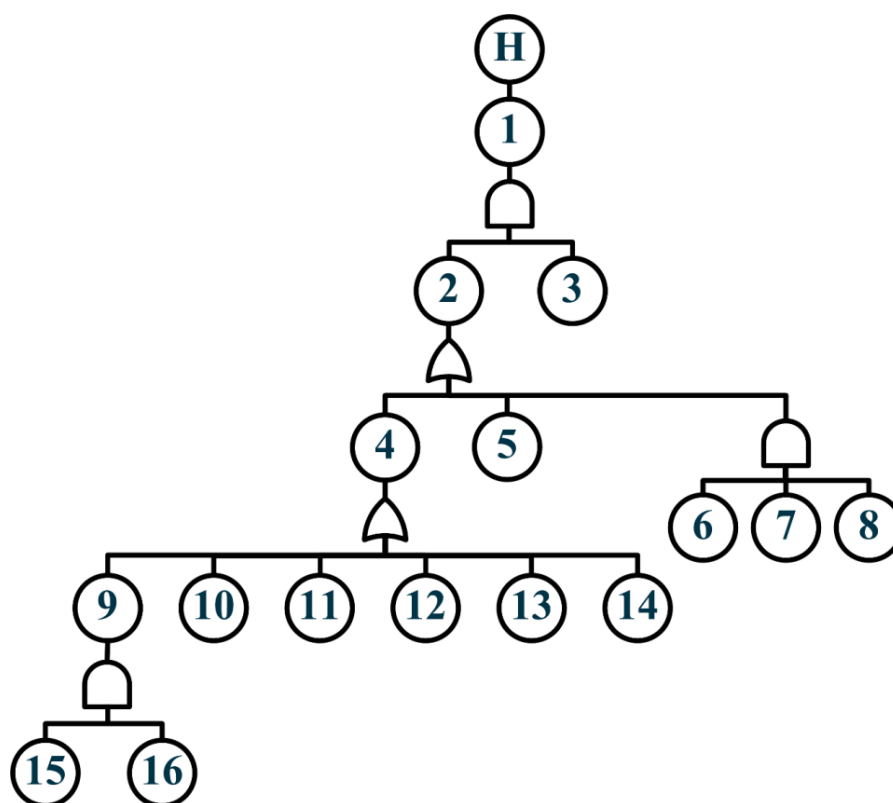


Рисунок 2 – Пожар на теплообменнике ЭЛОУ-АВТ

На рис. 2 приняты следующие обозначения: Н – пожар на теплообменнике ЭЛОУ-АВТ; 1 – возгорание продукта; 2 – выброс продукта, разгерметизация теплообменного оборудования; 3 – источник воспламенения; 4 – повышение давления в системе, поломка теплообменника; 5 – пропуски во фланцевых соединениях в местах развальцовки труб в трубных решетках, в стенках труб, пропуск в плавающей головке; 6 – дренирование нефтепродукта, заполнение работниками межтрубного и трубного пространства от нефти на теплообменнике, нарушение порядка проведения операции по дренированию и заполнению аппаратов с открытыми воздушниками; 7 – открытый воздушник теплообменника; 8 – отсутствие оператора; 9 – уменьшение толщины стенки корпуса, днища, трубных решеток в результате коррозии, коррозионно-эрозионный износ трубок теплообменника; 10 – образование трещин, свищей, прогары в корпусе, трубках и фланцах; 11 – деформация трубок, заклинивание плавающих

головок и повреждение их струбцин; 12 – повреждение линзовых компенсаторов; 13 – разрушение теплоизоляции; 14 – образование газовых мешков; 15 – идентификация коррозионных процессов, образование отложений на конденсаторе, загрязнение конденсаторов на теплообменнике; 16 – загрязнение поверхности труб и внутренней поверхности корпуса маслом, отложение солей и смол, окислителя, наличие в воде абразивных твердых взвесей.

Комбинации корневых вершин характеризуют критические сочетания событий, которым соответствуют минимальные сечения дерева D_A (см. рис. 2) выполнение которых вне зависимости от выполнения событий остальных концевых вершин, приводит к возникновению аварии.

На основании рис. 2 было определено множество минимальных сечений фрагмента дерева D_A , соответствующих критическим сочетаниям событий, приводящих к возникновению пожара, охватывающего значительную часть завода (таблица 1).

Таблица 1 – Множество минимальных сечений фрагмента дерева отказов D_A

Критические сочетания событий	События, приводящие к возникновению пожара, охватывающего значительную часть завода	Критические сочетания событий	События, приводящие к возникновению пожара, охватывающего значительную часть завода
H_1	3, 5	H_5	3, 13
H_2	3, 10	H_6	3, 14
H_3	3, 11	H_7	3, 15, 16
H_4	3, 12	H_8	3, 6, 7, 8

На основе данной таблицы строятся системы линейных дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, позволяющие оценить вероятности наступления неблагоприятных сочетаний событий, приводящих к возникновению крупного пожара.

Заключение. В дальнейшем планируется использовать разработанное математическое обеспечение для оперативного управления производственными процессами нефтеперерабатывающих предприятий по критерию безопасности функционирования, используя процедуры принятия решений, разработанные в [20-22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Днекешев, А.А. Системы автоматизации производственных процессов нефтеперерабатывающих предприятий Республики Казахстан [Текст]/А.А.Днекешев, В.А. Кушников // Естественные и технические науки. 2018. №8 (122). С. 174-179.
- 2 Днекешев, А.А. Модели и алгоритмы повышения безопасности функционирования нефтеперерабатывающих предприятий Республики Казахстан [Текст]/А.А. Днекешев, В.А. Кушников, В.А. Иващенко, Л.Ю. Филимонюк, А.С. Богомолов // Естественные и технические науки. 2019. №7 (133). С. 145-150.
- 3 Клюев, В.В. Системный подход оценки остаточного ресурса человеко-машинных систем [Текст] / В.В. Клюев, А.Ф. Резчиков, А.С. Богомолов, Д.А. Уков, Л.Ю. Филимонюк // Контроль. Диагностика. 2011. №8. С.9-13.
- 4 Резчиков, А.Ф. Принцип причинно-следственной декомпозиции динамических систем [Текст] / А.Ф. Резчиков, В.А. Твердохлебов: Монография. – Саратов. Наука, 2013. 56 С.
- 5 Резчиков А.Ф. Причинно-следственные комплексы взаимодействий производственных процессов [Текст] / А.Ф. Резчиков, В.А. Твердохлебов // Проблемы управления. 2010. №3. С. 51-59.
- 6 Dnekeshev A.A. et al. (2020). Models and Algorithms for Improving the Safety of Oil Refineries of the Republic of Kazakhstan. In: Silhavy, R. (eds) Applied Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. CSOC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1226. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51974-2_21.
- 7 Днекешев, А.А. Разработка дерева событий для анализа безопасности функционирования производственных процессов нефтеперерабатывающего предприятия

[Текст] / А.А. Днекешев, В.А. Кушников // В сборнике: Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. Сборник научных статей Материалы XV Международной научно-практической конференции. 2019. С. 90-95.

8 Днекешев, А.А. Подход к формированию динамического дерева событий для анализа безопасности функционирования нефтеперерабатывающего предприятия [Текст]/ А.А. Днекешев, В.А. Кушников // В сборнике: Проблемы управления в социально-экономических и технических системах. Сборник научных статей Материалы XVI Международной научно-практической конференции. 2020. С. 8-14.

9 Хенли, Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска [Текст] / Э.Д. Хенли, Х. Кумамото // Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984, 528 с.

10 РД 08 - 120 - 96. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов [Текст]// НТЦ "Промышленная безопасность"; М, 1996, 27 с.

11 РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Серия 03. Выпуск 10 [Текст]/ Колл. Авт.: Государственное унитарное предприятие "НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России", 2001. - 60 с.

12 Резчиков, А.Ф. Критические сочетания событий – причины аварий в человеко-машинных системах [Текст]/А.Ф. Резчиков, А.С. Богомолов//Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2015): тр. 8-й междунар.: конф. в 2 т. – М.: ИПУ РАН, 2015. Т. 1. – С. 130 – 135.

13 Barozzi M., Contini S., Raboni M., Torretta V., Casson Moreno V., & Copelli S. (2021). Integration of Recursive Operability Analysis, FMECA and FTA for the Quantitative Risk Assessment in biogas plants: Role of procedural errors and components failures. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 71. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104468>.

14 Irshad L., Onan Demirel H., & Tumer I. Y. (2020). Automated generation of fault scenarios to assess potential human errors and functional failures in early design stages. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 20(5). <https://doi.org/10.1115/1.4047557>.

15 Bozzano M., Munk P., Schweizer, M., Tonetta S., & Vozárová V. (2020). Model-Based Safety Analysis of Mode Transitions. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 12234 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54549-9_7.

16 Li. F. Wang, W., Dubljevic S., Khan F., Xu J., & Yi J. (2019). 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, 61, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.001>.

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

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

19 Oortwijn W., & Huisman M. (2019). Formal Verification of an Industrial Safety-Critical Traffic Tunnel Control System. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11918 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34968-4_23.

20 Щербаков, М.А. Модели и алгоритмы системы управления аварийными ситуациями при производстве стекла [Текст] / М.А. Щербаков, В.А. Кушников // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т.2. №1 (55). С. 196-200.

21 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.

22 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.

REFERENCES

- 1 Dnekeshev, A.A. Sistemy avtomatizacii proizvodstvennyh processov neftepererabatyvayushchih predpriyatij Respubliki Kazahstan [Tekst]/A.A. Dnekeshev, V.A. Kushnikov // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2018. №8 (122). S. 174-179.
- 2 Dnekeshev, A.A. Modeli i algoritmy povysheniya bezopasnosti funkcionirovaniya neftepererabatyvayushchih predpriyatij Respubliki Kazahstan [Tekst]/A.A. Dnekeshev, V.A. Kushnikov, V.A. Ivashchenko, L.YU. Filimonyuk, A.S. Bogomolov // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2019. №7 (133). S. 145-150.
- 3 Klyuev, V.V. Sistemnyi podhod ocenki ostatochnogo resursa cheloveko-mashinnyh sistem [Tekst] / V.V. Klyuev, A.F. Rezchikov, A.S. Bogomolov, D.A. Ukov, L.YU. Filimonyuk // Kontrol'. Diagnostika. 2011. №8. S.9-13.
- 4 Rezchikov, A.F. Princip prichinno-sledstvennoj dekompozicii dinamicheskikh sistem [Tekst] / A.F. Rezchikov, V.A. Tverdohlebov: Monografiya. – Saratov. Nauka, 2013. 56 S.
- 5 Rezchikov A.F. Prichinno-sledstvennye komplekсы vzaimodeystvij proizvodstvennyh processov [Tekst] / A.F. Rezchikov, V.A. Tverdohlebov // Problemy upravleniya. 2010. №3. S. 51-59.
- 6 Dnekeshev, A.A. et al. (2020). Models and Algorithms for Improving the Safety of Oil Refineries of the Republic of Kazakhstan. In: Silhavy, R. (eds) Applied Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. CSOC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1226. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51974-2_21.
- 7 Dnekeshev, A.A. Razrabotka dereva sobytij dlya analiza bezopasnosti funkcionirovaniya proizvodstvennyh processov neftepererabatyvayushchego predpriyatiya [Tekst] / A.A. Dnekeshev, V.A. Kushnikov // V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Sbornik nauchnyh statej Materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019. S. 90-95.
- 8 Dnekeshev, A.A. Podhod k formirovaniyu dinamicheskogo dereva sobytij dlya analiza bezopasnosti funkcionirovaniya neftepererabatyvayushchego predpriyatiya [Tekst] / A.A. Dnekeshev, V.A. Kushnikov // V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Sbornik nauchnyh statej Materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2020. S. 8-14.
- 9 Henli, E.D., Kumamoto X. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i ocenka riska [Tekst] / E.D. Henli, X. Kumamoto // Per. s angl.– M.: Mashinostroenie, 1984, 528 s.
- 10 RD 08 - 120 - 96. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska opasnyh promyshlennyykh ob'ektov [Tekst]// NTC "Promyshlennaya bezopasnost'"; M,1996, 27 s.
- 11 RD 03-418-01. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska opasnyh proizvodstvennykh ob'ektov. Seriya 03. Vypusk 10 [Tekst]/ Koll. Avt.: Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie "NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii", 2001. - 60 s.
- 12 Rezchikov, A.F. Kriticheskie sochetaniya sobytij – prichiny avariј v cheloveko-mashinnykh sistemah [Tekst] / A.F. Rezchikov, A.S. Bogomolov // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2015): tr. 8-j mezhdunar.: konf. v 2 t. – M.: IPU RAN, 2015. T. 1. – S. 130 – 135.
- 13 Barozzi, M., Contini, S., Raboni, M., Torretta, V., Casson Moreno, V., & Copelli, S. (2021). Integration of Recursive Operability Analysis, FMECA and FTA for the Quantitative Risk Assessment in biogas plants: Role of procedural errors and components failures. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 71. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104468>.
- 14 Irshad, L., Onan Demirel, H., & Tumer, I. Y. (2020). Automated generation of fault scenarios to assess potential human errors and functional failures in early design stages. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 20(5). <https://doi.org/10.1115/1.4047557>.
- 15 Bozzano, M., Munk, P., Schweizer, M., Tonetta, S., & Vozárová, V. (2020). Model-Based Safety Analysis of Mode Transitions. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 12234 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54549-9_7.

16 Li, F., Wang, W., Dubljevic, S., Khan, F., Xu, J., & Yi, J. (2019). 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*, 61, 49–57.

<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.06.001>.

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

18 Muram, F. U., Javed, M. A., & Punnekkat, S. (2019). System of Systems Hazard Analysis Using HAZOP and FTA for Advanced Quarry Production. *2019 4th International Conference on System Reliability and Safety, ICSRS 2019*, 394–401

<https://doi.org/10.1109/ICSRS48664.2019.8987613>.

19 Oortwijn, W., & Huisman, M. (2019). Formal Verification of an Industrial Safety-Critical Traffic Tunnel Control System. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*: Vol. 11918 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34968-4_23.

20 Shcherbakov, M.A. Modeli i algoritmy sistemy upravleniya avariynymi situatsiyami pri proizvodstve stekla [Tekst] / M.A. SHCHerbakov, V.A. Kushnikov // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. T.2. №1 (55). S. 196-200.

21 Markov, A.I. Algoritmy identifikatsii avariynih situatsii v raspredelennoi baze dannyh neftepererabatyvayushchih predpriyatii [Tekst] / A.I. Markov, A.A. Dnekeshev // *V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii*. Saratov, 2021. S. 44-52.

22 Markov, A.I. Metodika formirovaniya prostranstva avariynih situatsii neftepererabatyvayushchego predpriyatiya / A.I. Markov, A.A. Dnekeshev [Tekst] // *V sbornike: Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah. Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii*. Saratov, 2021. S. 53-57.

ТҮЙІН

Мұнай өңдеу зауытының өнімдерін тұтынудың жыл сайынғы өсуі оларды өндірудің техникалық мүмкіндіктеріне жүктемені арттырады, бұл өз кезегінде авариялардың қаупін арттырады. Бұл мәселені шешудің бір жолы – мұнай өңдеу зауыттарының төтенше жағдайларын анықтау.

Мақалада мұнай өңдеу зауыттарының күрделі автоматтандырылған жүйелерінің өндірістік процестерінің қауіпсіздігін талдау үшін қолданылатын апаттық жағдайларды анықтауға арналған ақаулар ағашы (FTA) әдісі қарастырылады. Жұмыстың мақсаты – мұнай өңдеу зауытының негізгі қондырғыларының жағымсыз оқиғаларын сипаттайтын мұнайды бастапқы өңдеу цехы үшін «ақау ағашын» құру. Мұнай өңдеу зауыттарында орын алған алдыңғы апаттардың негізінде ықтимал апаттардың сценарийін көрсету үшін «ақаулар ағашы» үлгісі жасалды. Мақалада төтенше жағдайлардың себептерін талдау үшін қолданылатын атмосфералық-вакуумдық құбырлы мұнай өңдеу зауытының электр тұзсыздандыру қондырғысының жылу алмастырғышындағы өрттің дамуын сипаттайтын осындай «ақаулық ағаштың» мысалы егжей-тегжейлі қарастырылады. Модельденген «ақаулар ағашы» үшін мұнай өңдеу зауытының маңызды бөлігін қамтитын өрттің пайда болуына әкелетін оқиғалардың сыни комбинацияларына сәйкес келетін минималды бөлімдер жиынтығы анықталды.

УДК 53

МРНТИ 29.01

Кушеккалиев А.Н., физика-математика ғылымдарының кондиданты, доцент, **негізгі автор**, <https://orcid.org/0000-0007-5974-4856>

М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал қаласы, Нұрсұлтан Назарбаев даңғылы, 162, alman_k@mail.ru

Айбергенова Н.Т., педагогика ғылымдарының магистранты, <https://orcid.org/0000-0002-3871-7379>