Пожарная и промышленная безопасность (05.26.03, технические науки)

УДК 614.8.084(614.83)
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.73.31.001

Разработка предиктивного способа поведения цифрового оборудования применяемого в нефтегазвой отрасли

Королев Д.С., к.т.н.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет

Аннотация. Главной задачей Российской Федерации является диверсификация экономики (отказ от продажи углеводородов или уменьшение их доли в формировании бюджета страны). Однако быстро реализовать такой подход не предоставляется возможным. Некоторые эксперты прогнозируют, что этот процесс может растянуться на десятилетия. Поэтому на последнем инвестиционном форуме было принято решение о цифровой трансформации нефтегазовой отрасли с учетом внедрения новых подходов в обеспечении пожарной безопасности. Автором статьи предлагается использовать экспоненциальный закон распределения. Это позволит оценить всевозможные риски отказа системы, предусмотреть предиктивное поведение цифрового оборудования и обеспечит своевременную разработку компенсирующих мероприятий.

Ключевые слова: пожарная безопасность, предиктивное поведение, цифровые технологии, закон, трансформация.

Development of predictive behavior of digital equipment used in the oil and gas industry

Korolev D.S., Ph.D. of Engineering Sciences

Voronezh state technical university (high school)

Abstract. The main task of the Russian Federation is to diversify the economy (refusal to sell hydrocarbons or reduce their share in the formation of the country's budget). However, it is not possible to quickly implement this approach. Some experts predict that this process could take decades. Therefore, at the last investment forum, a decision was made on the digital transformation of the oil and gas industry, taking into account the introduction of new approaches in ensuring fire safety. The author of the article proposes to use an exponential distribution law. This will allow assessing all possible risks of system failure, foresee predictive behavior of digital equipment, and ensure the timely development of compensating measures.

Key words: fire safety, predictive behavior, digital technologies, law, transformation.

2020 год был полон сюрпризов, правда, не очень приятных. Исключением стало проведение инвестиционного форума «ВТБ Капитал» «Россия зовет!», в непривычном формате дистанционного общения. По

традиции центральной фигурой являлся президент РФ, компанию которому составили ведущие бизнесмены, инвестиционные управляющие и консультанты, эксперты различных областей. Ключевым вопросом являлось обсуждение зависимости Российской Федерации от нефтегазовой отрасли [1].

Некоторые участники форума считают, что Россия не увеличивает, а сокращает зависимость экономики от нефтегазового сектора и продолжит этим заниматься, так как это одна из основных целей страны. Другие с таким выводом не согласны. Отделить экономику от нефти и газа позволили резко упавшие цены на энергоресурсы, которые обеспечили доходную часть бюджета около 30 %, следовательно, ВВП страны стал формироваться за счет других статей.

В.В. Путин отметил, что можно много и правильно рассуждать о необходимости уйти от нефтяной зависимости, но в ближайшие десятилетия отказаться от углеводородов не предоставляется возможным, если не идти по резкому пути. Уже сегодня главной задачей перед страной ставится диверсификация экономики, создание наукоемких и высокотехнологических производств, в частности, в нефтегазовой сфере. Итогом совещания рабочей группы являлся проект концепции по цифровой трансформации нефтегазовой отрасли России (рис. 1), решение по разработке атласа мер государственной поддержки технологических проектов к первому кварталу 2021 года [1, 2].

Концепция представляет собой выполнение 5 основных этапов (уровней), основной смысл, которой заключается в структуризации, интеграции и оцифровке основных элементов нефтегазовой отрасли.

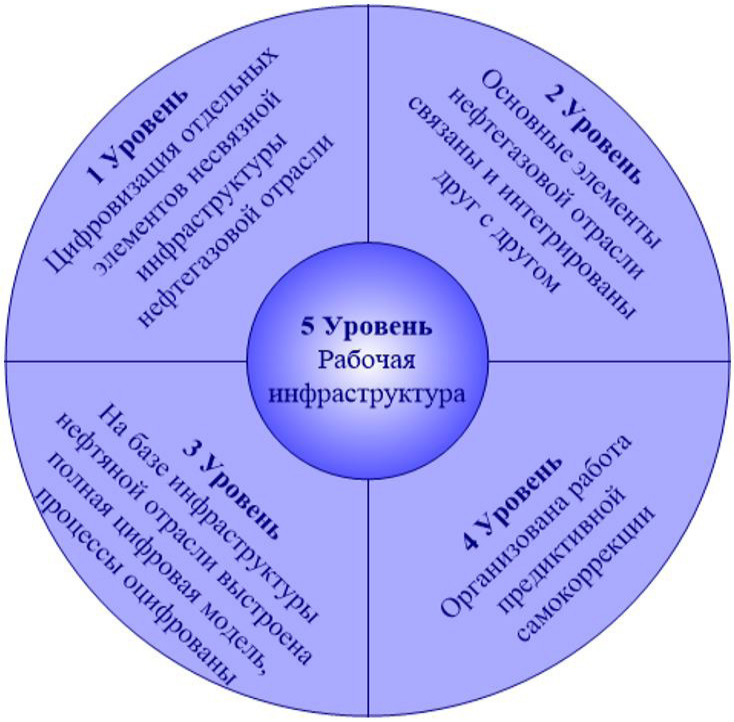

Рис. 1. Концепция по трансформации нефтегазовой отрасли РФ

Реализация такого подхода по трансформации нефтяной отрасли страны предполагает совершенно новую парадигму развития, предусматривающую минимизацию человеческого участия в работе нефтегазовых предприятий, а в дальнейшем и полностью переход к безлюдным технологиям по добыче и переработке кислородсодержащих углеводородов, особенно во взрывопожароопасных зонах.

Несмотря на значительные достижения в области обеспечения пожарной безопасности на основных предприятиях нефтегазовой отрасли, они, как и прежде остаются одними из самых взрывопожароопасных. Причинами взрывов, пожаров и в целом неконтролируемого горения являются:

- разряды атмосферного электричества;
- разряды статического электричества, ввиду физико-химических особенностей нефтегазопродуктов накапливать статический заряд при турбулентном течении;

- самовозгорание пирофоров;
- искры механического происхождения при отборе, замере углеводородов;
- искры от электрооборудования, выполненного с нарушениями требований [3, 4].

Конечно, причин пожаров в рассматриваемой отрасли гораздо больше, но объединяет их одно – возможный катастрофический результат, огромные человеческие и финансовые потери, негативные последствия для окружающей среды и длительный характер действия. Причем, в 90 % случаях дальнейшая эксплуатация технологического оборудования не предоставляется возможным, а продукты нефти и нефтепереработки теряют свои свойства и требуют очистки, что не эффективно с экономической точки зрения.

В частности, для целей снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций, потенциальной гибели людей и др. возможно применение основных технологических трендов цифровизации нефтяной отрасли Российской Федерации, представленные на рис. 2.

Применение цифровых технологий в нефтегазовой отрасли позволит решить некоторые ключевые задачи:

- разработка предиктивных технических мероприятий, необходимых для внедрения;
- контроль работы оборудования (отказы);
- цифровая интерпретация данных.

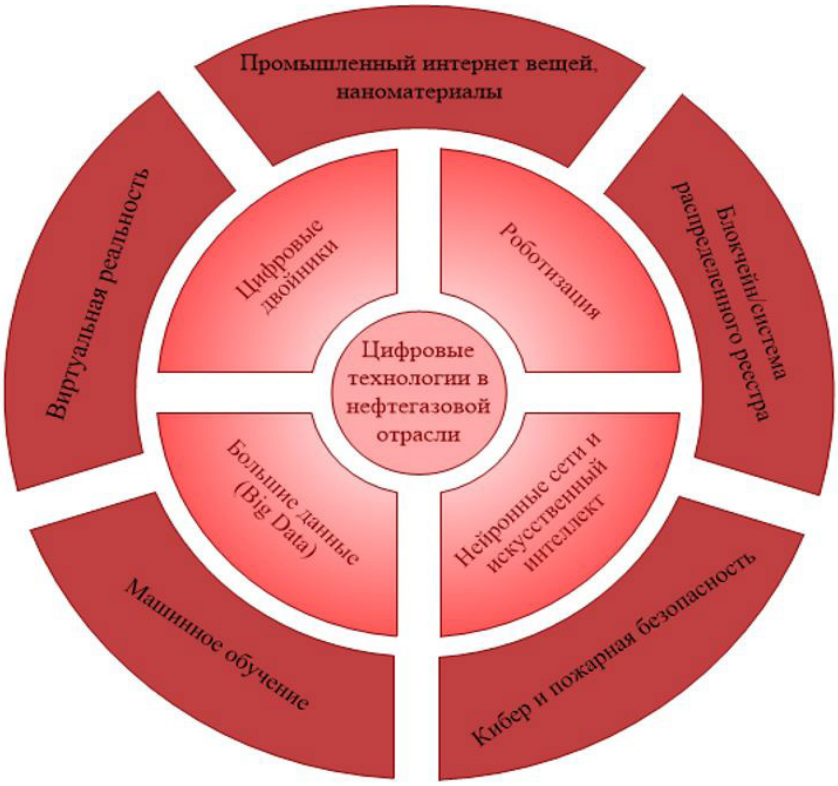

Рис. 2. Современные цифровые тренды

Нефтегазовые компании оптимизируют производственный процесс. За счет объединения в одно ядро системы оборудования производственных цехов, контролируемых встроенными датчиками: термометры, манометры и др. (интернет вещей), обеспечивается непрерывность считывания и анализ информации в режиме реального времени.

Пожарная безопасность любого технологического процесса зависит от множества факторов, к которым относится надежность работы оборудования, а также надежное управление техническим процессом. Любое электротехническое устройство обладает определенным критерием надежности, по которому определяется надежность изделия в целом. Критерии представляются в виде показателей надежности, свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости и др., зависят от внешних факторов, представленных на рис. 3 [5].

Рис. 3. Основные внешние факторы

Стоит отметить, что функционирующие системы не дают абсолютной гарантии безотказности и безопасности, а значит для предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций, необходимы знания о сущности надежности технических объектов и систем.

Наибольшую взрывоопасность для нефтегазового предприятия представляют отказы в работе автоматических средств диагностирования состояния основных технологических элементов и средств регулирования технологических процессов (температуры, давления, уровня жидкости, концентрации, расхода и т.д.) в режиме реального времени. Некоторое отклонение в заложенных параметрах может привести к образованию взрывоопасных концентраций или стать причиной возникновения источника зажигания.
Характерным примером неблагоприятных условий работы, влияющих на внезапный отказ оборудования, является максимальная нагрузка, превышение допустимого тока или температурного режима [6, 7].

Для лучшего понимания сложившейся ситуации целесообразно разрабатывать дерево отказов (рис. 4), которое представляет собой логико-вероятностную модель причинно-следственных связей отказов системы.

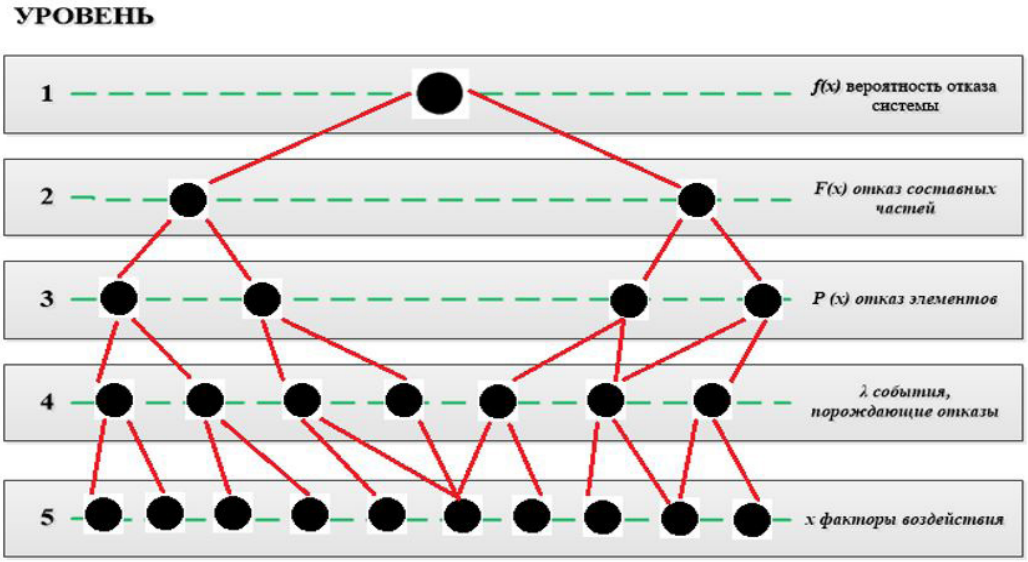

Рис. 4. Графологическое дерево

Для прогнозирования надежности в период нормальной эксплуатации оборудования, когда отказы еще не проявились и надежность характеризуется внезапными отказами, используют экспоненциальный закон распределения, описываемый соотношением (1):

$$f(x) = \lambda \cdot t^{-\lambda x} \tag{1}$$

x – случайная величина по закону Пуассона;

λ – параметр распределения;

$t^{-\lambda x}$ – момент времени.

Тогда функция распределения будет находиться по формуле (2), а функция надежности по формуле (3):

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \tag{2}$$

$$P(x) = 1 - F(x) = e^{-\lambda x} \tag{3}$$

$e^{-\lambda x}$ - основание натурального логарифма.

Таким образом, математическое ожидание находим по формуле (4), а дисперсия случайной величины по формуле (5):

$$M_x = \int_0^\infty x \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda x} dx = \frac{1}{\lambda} \tag{4}$$

$$D_x = \int_0^\infty x^2 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda x} dx - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2} \tag{5}$$

Основной причиной применения упрощенной модели состоит в том, что расчет вероятности безотказной работы оборудования в этом случае зависит только от длительности интервала работы системы и не зависит от времени предшествующей работы.

В качестве примера рассмотрим работу мостиковой системы, представленной на рис. 5. Такая система представляет собой параллельное соединение последовательных цепочек элементов с диагональными элементами, включенными между узлами различных параллельных ветвей [8, 9]. Причем работоспособность такой системы определяется не только количеством отказавших элементов, но их положением в структурной схеме.

Запишем логическую функцию работоспособности для данной структуры (6):

$$c = a_1 a_3 \vee a_2 a_4 \vee a_1 a_5 a_4 \vee a_2 a_5 a_3 \vee a_1 a_3 a_2 a_4 \vee a_1 a_3 a_2 a_4 a_5 \tag{6}$$

Приведем (6) к минимальной форме (7):

$$c = a_1 a_3 \vee a_2 a_4 \vee a_1 a_5 a_4 \vee a_2 a_5 a_3 \tag{7}$$

Для приведения (7) к бесповторному виду разложим выражение на две структуры по базовому элементу a_5 (8):

$$\begin{aligned} c &= a_5 [a_1 a_3 \vee a_1 a_4 \vee a_2 a_4 \vee a_2 a_3] \vee \bar{a}_5 [a_1 a_3 \vee a_2 a_4] = \\ &= a_5 [(a_1 \vee a_2)(a_3 \vee a_4)] \vee \bar{a}_5 [a_1 a_3 \vee a_2 a_4] \end{aligned} \tag{8}$$

Арифметизируем (8) и получим (9):

$$A = a_5 [(a_1 + a_2 - a_1 a_2)(a_3 + a_4 - a_3 a_4)] + (1 - a_5)[a_1 a_3 + a_2 a_4 - a_1 a_3 a_2 a_4] \tag{9}$$

$$\begin{aligned} P(c) &= P(a_5)[(P(a_1) + P(a_2) - P(a_1)P(a_2))(P(a_3) + P(a_4) - P(a_3)P(a_4))] + \\ &+ (1 - P(a_5))[P(a_1)P(a_3) + P(a_2)P(a_4) - P(a_1)P(a_3)P(a_2)P(a_4)] \end{aligned} \tag{10}$$

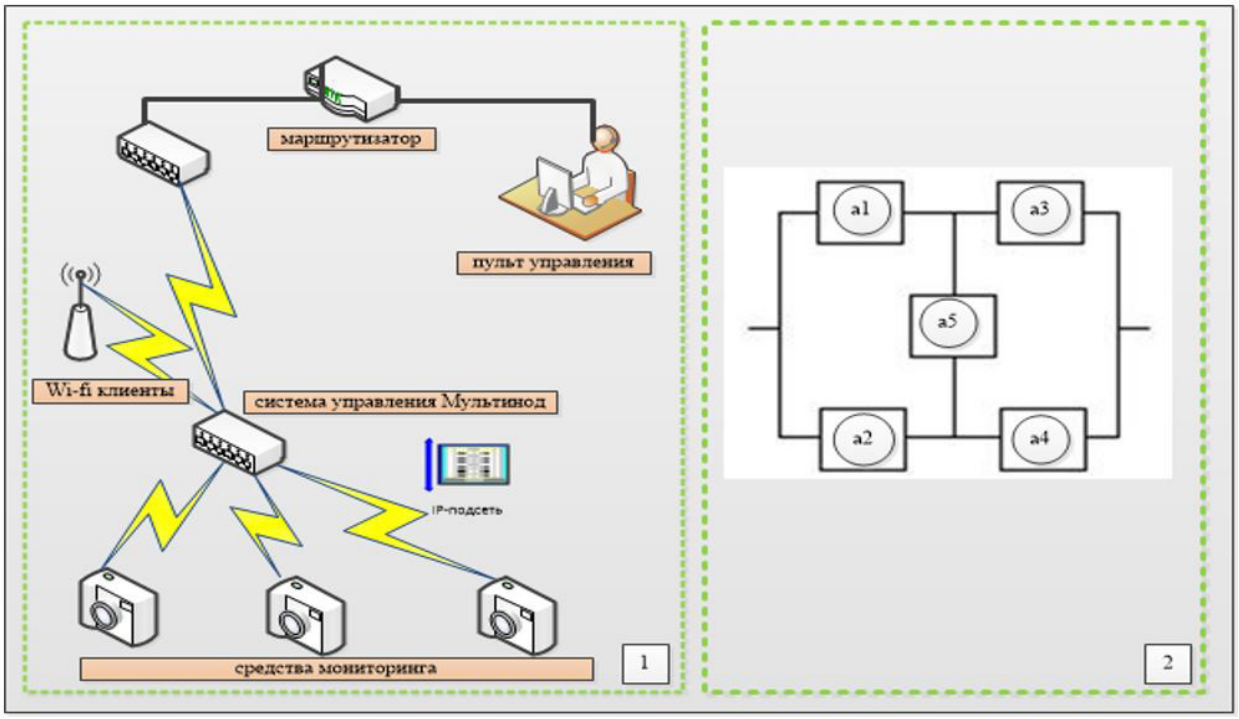

Рис. 5. Схема мостиковой системы (1-принципиальная схема; 2 – базовая схема)

Таким образом, получили выражение расчета вероятности безотказной работы мостиковой схемы на базе экспоненциального закона распределения. Такой подход позволит рассчитывать параметры цифрового оборудования, используемого в трансформируемой нефтегазовой отрасли, обеспечивая высокий уровень пожарной безопасности.

Литература

1. Инвестиционный форум «Россия зовет!». – Режим доступа: kremlin.ru/events/president/transcripts/64296
2. Russia calling! 2020. – Режим доступа: russiacalling.ru
3. Королев Д.С., Калач А.В., Сорокина Ю.Н. Сравнительный анализ способов прогнозирования физико-химических свойств веществ / Д.С. Королев, А.В. Калач, Ю.Н. Сорокина // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 78-84.
4. Королев Д.С., Калач А.В. Сравнительный анализ традиционной и активной молниезащиты / Д.С. Королев, А.В. Калач // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – № 3 (16). – С. 12-15.
5. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / И. В. Чепегин; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 164 с.
6. Королев Д.С., Калач А.В. Прогнозирование, основанное на молекулярных дескрипторах и искусственных нейронных сетях, как способ исключения образования горючей среды / Д.С. Королев, А.В. Калач // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 68-72.
7. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование: в 2 т.: учебник и практикум / П. Г. Белов. – М. : Юрайт, 2015. – 728 с.
8. Королев Д.С. Выбор температурного класса взрывозащищенного электрооборудования при проектировании производственных помещений с использованием дескрипторов и нейронных сетей / Д.С. Королев // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 1 (14). С. 27-31.
9. ГОСТ Р 27.302-2009 «Надежность в технгике. Анализ дерева неисправностей» – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2012. - 22с.