

УДК 004:624.953

ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ БЕНЗИНОВ

¹Тетерко Г.Ю., ^{1,2}Токарев Д.В., ³Костюкова Т.П., ³Саубанов В.С.

¹АНО ДПО «Институт повышения квалификации специалистов нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий», Уфа, e-mail: grigorjteterko@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», Уфа, e-mail: dv_oil@inbox.ru;

³ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, e-mail: vadspd@mail.ru

В статье представлена новая методология информационно-энтропийного анализа промышленной безопасности производственных объектов на примере резервуарных парков бензинов. Методология построена на основе объединения ряда положений теории информации и теории систем. Резервуарные парки бензинов рассматриваются как открытые технические системы, степень открытости данных систем оценивается в битах по Шеннону. Применение методологии информационно-энтропийного анализа промышленной безопасности резервуарных парков наиболее целесообразно на этапе их проектирования. Вносимые в проект сооружения резервуаров изменения оцениваются как уменьшающие или увеличивающие степень их открытости как технических систем. Такого рода оценки будут весьма полезны при анализе риска эксплуатации резервуарных парков в декларации промышленной безопасности предприятий переработки нефти и предприятий трубопроводного транспорта нефтепродуктов.

Ключевые слова: анализ, информация, промышленная безопасность, резервуарный парк, теория систем, энтропия

INFORMATION AND ENTROPY ANALYSIS INDUSTRIAL SAFETY TANK FARM GASOLINES

¹Teterko G.Yu., ^{1,2}Tokarev D.V., ³Kostukova T.P., ³Saubanov V.S.

¹Institute of Professional Development of Expert from Companies Producing Oil and Gas and Refineries, Ufa, e-mail: grigorjteterko@yandex.ru;

²Bashkir State Pedagogical University M. Akmully, Ufa, e-mail: dv_oil@inbox.ru;

³Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: vadspd@mail.ru

The article presents a new methodology for information and entropy analysis of industrial safety of production facilities on the example of gasoline tank parks. The methodology is based on the combination of a number of provisions of information theory and systems theory. Tank farms gasoline are considered as open technical systems, the degree of openness of these systems is estimated at bits of Shannon. Applying the methodology of information and entropy analysis of industrial safety of tank farms is most expedient at the design stage. Insertion in the construction of tanks changes as the project is estimated to reduce or increase the degree of openness, both technical systems. Such assessment will be very useful in the analysis of the risk of operating tank farms in the declaration of industrial safety of oil refining enterprises and petroleum pipelines.

Keywords: analysis, information, industrial safety, storage tanks, systems theory, entropy

Резервуарные парки для нефтепродуктов появились более ста лет тому назад и с тех пор являются неотъемлемыми производственными объектами предприятий нефтепереработки и транспорта нефтепродуктов. Накопленный за многие десятилетия опыт эксплуатации резервуаров содержит целый ряд рекомендаций, позволяющих снизить риски аварийных событий на этих объектах. И тем не менее, аварии и инциденты в резервуарных парках в нашей стране и за рубежом происходят регулярно, и поэтому мы убеждены в необходимости продолжения совершенствования основ инжиниринга безопасности резервуарных парков.

Основания исследования

В данной статье мы остановимся на новом методе информационно-энтропийного анализа промышленной безопасности на этапе проектирования резервуарных парков бензинов, так как многие аспекты безопасной эксплуатации резервуаров закладываются именно проектировщиками. Нами рассмотрен этап проектирования средств автоматизации, которыми оснащаются резервуары, так как информационное наполнение анализа промышленной безопасности в большей степени формируют именно контрольно-измерительные приборы.

Отметим: резервуарные парки представляют собой технические системы, для описания которых необходимо использовать понятийный и инструментальный аппарат теории систем. Определим, можно ли предприятие трубопроводного транспорта считать системой с точки зрения данной теории. Согласно современной литературе по теории систем существуют, по крайней мере, четыре основных признака, которыми должен обладать объект, явление или их отдельные грани, чтобы их можно было считать системой. Проверим, соответствует ли этим признакам предприятие трубопроводного транспорта.

Первый признак – признак целостности и членимости – с одной стороны, система это целостное образование и представляет собой совокупность элементов, а с другой стороны, в системе можно четко выделить ее элементы. Предприятие трубопроводного транспорта это, безусловно, целостное образование. При этом оно состоит из ряда элементов – технических объектов (трубы, насосы, компрессоры и т.д.), перекачиваемой среды (нефть, газ и т.д.) и людей (обслуживающий персонал, менеджеры и т.д.).

Второй признак – наличие более или менее устойчивых связей (отношений) между элементами системы, превосходящих по своей силе (мощности) связи (отношения) этих элементов с элементами, не входящими в данную систему. Действительно, перечисленные выше элементы связаны между собой определенным множеством связей (отношений), определяющих интегративные свойства системы – предприятия трубопроводного транспорта. Превосходство внутрисистемных связей (отношений) над связями (отношениями) с окружающей средой определяется самой целью существования данной системы.

Соответствие третьему признаку – наличие интегративных свойств (качеств), присущих системе в целом, но не присущих ее элементам в отдельности, также достаточно очевидно – ни трубопровод сам по себе, ни люди сами по себе не могут обеспечить доставку нефти, нефтепродуктов и газа из мест добычи или производства к местам потребления.

Наконец, назовем четвертый признак – организация (организованность) развивающихся систем. Этот признак характеризует наличие в системе определенной организации, что проявляется в снижении степени неопределенности системы или ее энтропии (S), по сравнению с энтропией системформирующих факторов, определяющих возможность создания системы.

Предприятие трубопроводного транспорта обладает определенной степенью организации, что выражено в определенных отношениях между элементами, его составляющими. Эти отношения носят, в основном, формализованный характер и находят отражение в технологических регламентах, стандартах предприятия, всевозможных инструкциях, а также физических закономерностях движения перекачиваемых сред по трубопроводам и т.д.

Таким образом, можно утверждать, что предприятие трубопроводного транспорта является системой, так как для него характерны, по крайней мере, четыре основных признака систем. Несмотря на тривиальность, этот вывод необходим, с формальной точки зрения, для ведения дальнейших рассуждений.

В своих исследованиях для описания резервуарных парков как технических систем и анализа их безопасности мы используем одну из разновидностей энтропии – информационную энтропию. Понятие энтропии – одно из центральных в современной науке. Впервые оно было введено в физику Р. Клаузиусом в 1865 г. Само слово «энтропия» было им произведено от древнегреческого слова τροπή – обращение, поворот. Таким образом, энтропия, по мысли Р. Клаузиуса, характеризует превращение, превратимость [2].

Вообще, наибольший интерес, с точки зрения анализа безопасности технических систем, представляют неравновесные состояния. Для неравновесных состояний системы записано общее положение об изменении энтропии [3]:

$$\Delta S = \Delta_e S + \Delta_i S, \quad (1)$$

где $\Delta_e S$ – изменение энтропии системы, обусловленное потоком энтропии через поверхность системы; $\Delta_i S$ – изменение энтропии системы, обусловленное внутренними диссипативными процессами.

Значение положения (1) заключается в том, что оно указывает на базовый принцип управления целостностью технической системы. В реальных технических системах величина $\Delta_i S$ всегда положительна (трубопроводы подвергаются коррозии, металл аппаратов растрескивается и т.д.). Поэтому, чтобы сохранить работоспособность системы, то есть целостность системы в общем случае, необходимо, чтобы выполнялось условие $\Delta S \leq 0$. Данное условие выполняется при отрицательном $\Delta_e S$, причем $|\Delta_e S| \geq |\Delta_i S|$.

В литературе по теории систем принято условно разделять системы на открытые

и закрытые. При этом для реальных физических систем можно записать:

$$0 < \alpha < \alpha_{\max}, \quad (2)$$

где α – степень открытости системы [9].

В [8] формула для нахождения критического уровня организации (упорядочения) системы ΔS_{α}^{-} записывается:

$$\Delta S_{\alpha}^{-} = S_{\alpha} - S_{\alpha.3} < 0, \quad (3)$$

здесь S_{α} – значение энтропии стационарной системы; $S_{\alpha.3}$ – значение энтропии системы по окончании некоторого процесса в абсолютно замкнутом состоянии ($\alpha = 0$).

В теории систем многими авторами (акад. И.В. Прангишвили, В.И. Шаповалов и др.) было показано, что в случае, если система организована выше своего критического уровня, то в ней преобладают процессы, увеличивающие энтропию, если ниже – процессы, уменьшающие энтропию.

Таким образом, можно сформулировать базовый принцип управления промышленной безопасностью технических систем: уменьшение энтропии технической системы должно сопровождаться увеличением степени ее открытости [5]. В противном случае система будет стремиться вернуться к своему критическому уровню, что может сопровождаться авариями и отказами оборудования.

Отметим, что уменьшение энтропии технического устройства достигается уменьшением количества состояний, в которых это устройство может находиться. Степень открытости технического устройства трактуется нами как количество информации, отражающее взаимодействие системы с окружающей средой. Само соотношение между информацией и энтропией впервые открыл Л. Сцилард [7].

Информационная энтропия S по Шеннону определена как [10]:

$$S = -\sum_{i=1}^k p_i \lg p_i, \quad (4)$$

где p_i – вероятность i -го состояния; k – количество состояний.

Информационная энтропия технического устройства при возможности нахождения во всех k состояниях составит S_1 хартли. Информационная энтропия этого же технического устройства в $k - 1$ состояниях составит S_2 хартли, при этом $S_1 > S_2$. Уменьшение информационной энтропии системы составляет

$$\Delta S = S_2 - S_1. \quad (5)$$

ΔS в формуле (5) представляет собой изменение энтропии технической системы, обусловленное потоком энтропии через поверхность данной системы.

О некоторых результатах информационно-энтропийного анализа промышленной безопасности резервуарных парков бензинов

В наших более ранних работах, например в [6], была показана возможность практического уменьшения числа возможных состояний технической системы при одновременном увеличении степени ее информационной открытости.

Рассмотрим актуальную задачу уменьшения числа сценариев возможных аварий в товарном парке бензинов. Решение данной задачи весьма сложное и многоплановое и в рамках одной статьи нереализуемое, поэтому мы затронем только один весьма важный аспект – использование средств автоматического газового анализа с сигнализацией, срабатывающей при достижении предельно допустимых величин. Применение таких средств на площадке резервуарного парка является обязательным и регламентируется Федеральными нормами и правилами [4].

Проанализируем предусмотренное проектом размещение газоанализаторов на площадке резервуарного парка с позиций изменения значения информационной энтропии отдельного взятого резервуара. Для этого примем во внимание характеристики средств автоматизации резервуара (интервал, соответствующий норме по регламенту и др.) и проведем оценку информационной энтропии или степени открытости, иными словами. Оценка степени информационной открытости резервуара давалась отдельно по каждому из средств автоматизации и затем была просуммирована (таблица).

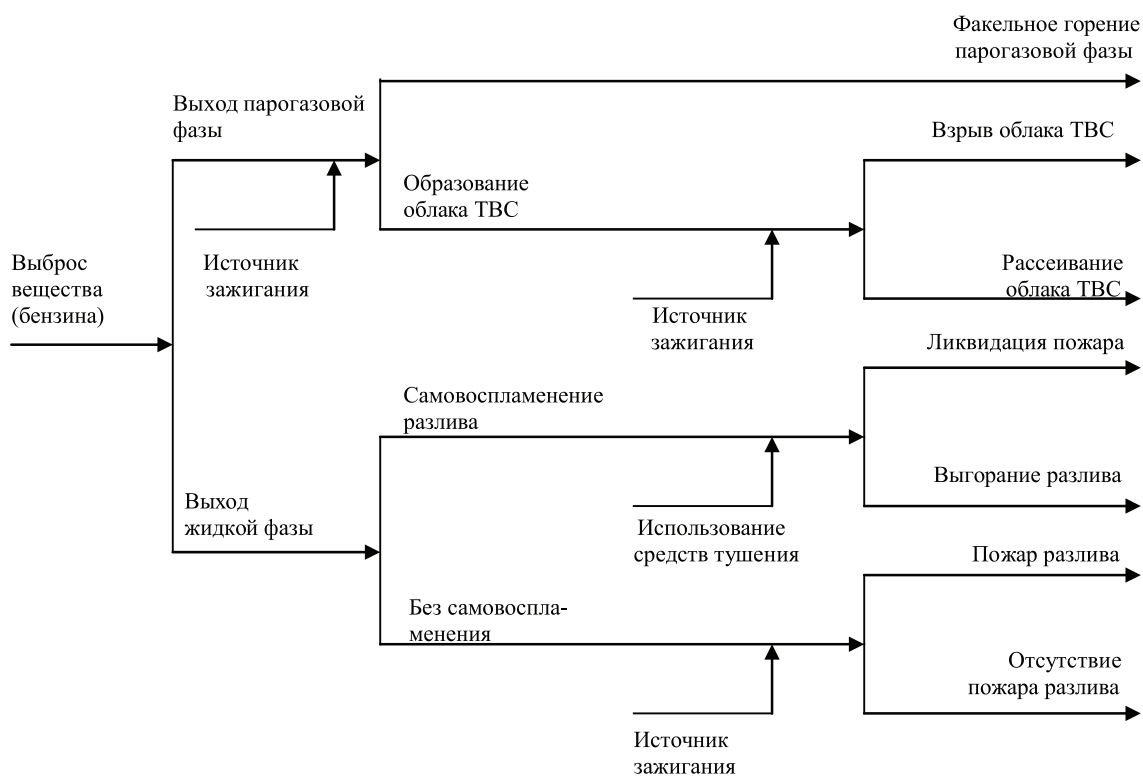
Отметим, в таблице мы оценивали не абсолютное количество информации, поступающей от средств автоматизации, а, по существу, долю каждого из приборов (и затем сумму долей) в детерминировании степени информационной открытости резервуара, выраженную в битах.

«Дерево событий» для анализа аварийности в резервуарных парках бензина по [1] предусматривает 7 сценариев развития аварийной ситуации после выброса бензина на площадку:

- 1) факельное горение парогазовой фазы (инициированное источником зажигания);
- 2) взрыв облака топливо-воздушной смеси (инициированный источником зажигания);
- 3) рассеивание облака топливо-воздушной смеси;
- 4) выгорание разлива (после его самовоспламенения);
- 5) ликвидацию пожара разлива;
- 6) пожар разлива (инициированный источником зажигания);
- 7) отсутствие пожара (после разлива бензина).

Оценка степени информационной открытости резервуара с бензином

Наименование технологических параметров и состояний	Обозначение функций и номер позиции прибора	Единицы измерения	Интервал, соответствующий норме по регламенту		Оценка объема информации, бит
			от	до	
Уровень жидкости	LSA 21 LSA 22	%	20	84	33,1 33,1
Положение задвижек	LV 21 LV 22	–	–	–	182,0 182,0
Температура подшипников насоса	TSA 31	°С	–	70	369,3
Давление на выкиде насоса	PISA 41	МПа	–	1	5024,9
Состояние насоса (вкл./выкл.)	ZSL(H) 51	–	–	–	130,8
Задвижки (5 ед.)	80,1–80,5	–	–	–	910,0
НКПР на площадке	–	%	1	50	1,6
Итого					6866,8



«Дерево событий» для случая выброса бензина из разгерметизированного оборудования

Структурно сценарный расклад аварийной ситуации по [1] представлен в виде «дерева событий» на рисунке.

Три сценария развития аварий, а именно: факельное горение парогазовой фазы, взрыв облака топливо-воздушной смеси и его рассеивание – можно исключить из «дерева событий» ввиду расположения в резервуарном

парке предусмотренных проектом газоанализаторов, сигнализирующих о загазованности и инициирующих действие защитных мероприятий. При этом количество дополнительной информации о резервуаре, по сравнению с уже поступающей от других средств автоматизации, весьма невелико и составит 1,6 бит, как следует из таблицы.

Информационная энтропия резервуара, по нашей оценке, уменьшится с 0,004224 хартли (до установки газоанализаторов) до 0,002339 хартли после установки газоанализаторов на площадке резервуарного парка.

Таким образом, с точки зрения методологии информационно-энтропийного анализа, ощутимое повышение уровня промышленной безопасности резервуарных парков посредством применения газоанализаторов (а мы исключаем из «дерева событий» целых три аварийных сценария) достигается, по существу, незначительным увеличением степени информационной открытости резервуара.

Выводы

На основе соединения ряда положений теории информации и теории систем нами предложена методология информационно-энтропийного анализа резервуарных парков для хранения бензинов, позволяющая давать качественные оценки уровня промышленной безопасности данных объектов при тех или иных изменениях, вносимых в проект строительства. Такого рода оценки будут полезны при анализе риска эксплуатации резервуаров в декларации промышленной безопасности нефтеперерабатывающих предприятий и предприятий трубопроводного транспорта нефтепродуктов.

Список литературы

1. Буренин В.А., Богданов В.С., Токарев Д.В. и др. Применение метода «дерева событий» при составлении деклараций промышленной безопасности для нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий // Нефтегазовое дело. – 2003. – Т. 1. – С. 326–331.
2. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение: пер. с англ. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 344 с.
4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. – Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 96 от 11.03.2013.

5. Токарев Д.В. О роли информационной энтропии при управлении промышленной безопасностью // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7. – № 1. – С. 104–106.

6. Токарев Д.В. Об управлении промышленной безопасностью на основе энтропийного подхода // Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: Материалы международной научно-практической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – С. 272–278.

7. Шамбадаль П. Развитие и приложения понятия энтропии: пер. с франц. – М.: Наука, 1967. – 280 с.

8. Шаповалов В.И. Формирование системных свойств и статистический подход // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 6. – С. 57–68.

9. Шаповалов В.И. Энтропийный мир. – Волгоград: Перемена, 1995. – 217 с.

10. Шеннон К.Э. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике / пер. С. Карпова. – М.: ИИЛ, 1963. – 830 с.

References

1. Burenin V.A., Bogdanov V.S., Tokarev D.V. i dr. Prime-nenie metoda «derevov sobytij» pri sostavlenii deklaracij promyshlennoj bezopasnosti dlja neftepererabatyvajushih i neftehimicheskikh predpriyatij // Neftegazovoe delo. 2003. T. 1. pp. 326–331.
2. Volkenshtejn M.V. Jentropija i informacija. M.: Nauka, 1986. 192 p.
3. Nikolis G., Prigozhin I. Poznanie slozhnogo. Vvedenie: per. s angl. 2-e izd., stereotipnoe. M.: Editorial URSS, 2003. 344 p.
4. Obshhie pravila vzryvobezopasnosti dlja vzryvopozh-aropasnyh himicheskikh, neftehimicheskikh i neftepererabatyvajushih proizvodstv. Utv. prikazom Federalnoj sluzhby po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru no. 96 ot 11.03.2013.
5. Tokarev D.V. O roli informacionnoj jentropii pri upravlenii promyshlennoj bezopasnostju // Neftegazovoe delo. 2009. T. 7. no. 1. pp. 104–106.
6. Tokarev D.V. Ob upravlenii promyshlennoj bezopasnostju na osnove jentropijnogo podhoda // Promyshlennaja bezopasnost na vzryvopozhharopasnyh i himicheski opasnyh proizvodstvennyh obektah: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2009. pp. 272–278.
7. Shambadal P. Razvitie i prilozhenija ponjatija jentropii: per. s franc. M.: Nauka, 1967. 280 p.
8. Shapovalov V.I. Formirovanie sistemnyh svojstv i statisticheskij podhod // Avtomatika i telemehnika. 2001. no. 6. pp. 57–68.
9. Shapovalov V.I. Jentropijnyj mir. Volgograd: Peremena, 1995. 217 p.
10. Shannon K.E. Matematicheskaja teorija svjazi // Raboty po teorii informacii i kibernetike / per. S. Karpova. M.: IIL, 1963. 830 p.