

УДК 303.732.4;622.69

**СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ**

**SYSTEM MANAGEMENT PRINCIPLES  
INDUSTRIAL SAFETY COMPANIES  
PIPELINE TRANSPORTATION OF HYDROCARBONS**

**Токарев Д.В., Тетерко Г.Ю., Фадеев К.А.**

**Уфимский государственный авиационный  
технический университет, г. Уфа, Российская Федерация  
Институт повышения квалификации специалистов  
нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий,  
г. Уфа, Российская Федерация**

**D.V. Tokarev, G.Yu. Teterko, K.A. Fadeev**

**Ufa State Aviation Technological University,  
Ufa, the Russian Federation**

**Institute of Professional Development of Expert from Companies Producing  
Oil and Gas and Refineries**

**e-mail: dv\_oil@inbox.ru**

**Аннотация.** В статье предприятие трубопроводного транспорта углеводородов авторами рассматривается с позиций системного подхода. На основе формального анализа делается вывод о возможности представления предприятия трубопроводного транспорта в виде целостной производственной системы, в рамках которой взаимодействуют персонал, техника и транспортируемая среда.

Далее на основе общесистемных принципов взаимодействия производственной системы «предприятие трубопроводного транспорта» и окружающей среды (энтростата) даются рекомендации по повышению промышленной безопасности данного вида производств. Так, повышение степени безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов требует повышения критического уровня организации системы «предприятие трубопроводного транспорта» в целом, что достигается увеличением степени ее открытости. Рекомендуется особое внимание уделять информационной открытости предприятий трубопроводного транспорта (подразумевается открытость статистики по авариям, открытость новым идеям по повышению безопасности техники и технологий, заинтересованность во всестороннем научном изучении предприятий, эксплуатирующих магистральные трубопроводы и т.д.). Делается вывод о том, что все попытки понизить энтропию системы «предприятие трубопроводного транспорта» (то есть, снизить число аварий) без повышения ее степени открытости приведут к росту энтропии системы с последующим ее возвращением на уровень критического значения.

В завершение статьи приведены результаты информационно-энтропийного анализа технических систем «газоперекачивающий агрегат», эксплуатирующихся в РАО «Газпром», и «резервуарный парк бензинов», входящий в состав предприятий транспорта нефтепродуктов.

**Abstract.** In the article, the company pipeline transport of hydrocarbons is considered a system approach. On the basis of formal analysis concludes that the possibility of providing pipeline transport enterprise in the form of an integrated production system, in which staff interact, equipment and gas or oil. Further, based on the principles of interaction of system-wide production system "pipeline transport enterprise" and the Environment (entrostata) provides recommendations to improve the safety of this type of industrial production. Thus, increasing the degree of safety of operation of pipelines requires increasing the critical level of the organization, "the company pipeline transport"

system as a whole, which is achieved by increasing its degree of openness. It is recommended to pay special attention to information transparency pipeline transport enterprises (meaning openness of statistics on accidents, openness to new ideas to improve safety and technology, interest in a comprehensive scientific study of companies operating pipelines, etc.). The conclusion is that all attempts to reduce the entropy of the system, "the company pipeline transport" (ie, to reduce the number of accidents) without increasing its degree of openness will lead to an increase in entropy of the system with its subsequent return to the level of critical value.

At the end of the article shows the results of the information and entropy analysis of technical systems "gas pumping unit", operated in RAO "Gazprom" and "gasoline tank farm" is part of the business of mineral oil transportation.

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

**Key words:** analysis, information, industrial safety, storage tanks, systems theory, entropy.

В настоящее время в нашей стране актуальной является задача обеспечения промышленной безопасности предприятий трубопроводного транспорта нефти и газа, как, собственно, и всех других видов опасных производственных объектов. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть предприятия трубопроводного транспорта с позиций системного подхода для поиска эффективных методов управления промышленной безопасностью магистральных трубопроводов, позволяющих в итоге повысить безопасность их эксплуатации.

## 1. Предприятие трубопроводного транспорта как система

Системный подход представляет собой совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и на окружающую среду, а также влиянием самой системы на ее структурные элементы [1]. Собственно понятие «система» в настоящее время в литературе строго и однозначно не определяется, поэтому корректно говорить лишь о наиболее характерных признаках систем, присутствующих во многих определениях.

Определим для начала, можно ли предприятие трубопроводного транспорта считать системой с точки зрения теории систем. Согласно [2,3] 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 (обслуживающего персонала, менеджеров 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 – наличию 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 системоформирующих 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 уставе предприятия, 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.

## 2. Безопасность и устойчивость предприятия трубопроводного транспорта с позиций системного анализа

Определяющим свойством системы является способность поддерживать собственное существование, иначе, сохранять гомеостаз (один из ведущих отечественных специалистов по глобальной динамике академик Н.Н. Моисеев употреблял термин «гомеостат» [4]). Термин «гомеостаз» закладывается в определение безопасности системы для описания всего диапазона возможных состояний системы от нормального работоспособного до неработоспособного.

Различают внешнюю и внутреннюю безопасность системы. Особенность трубопроводного транспорта, как и других опасных производственных объектов, состоит в том, что внутренняя безопасность в основном определяет безопасность внешнюю. Нарушение гомеостаза системы «предприятие трубопроводного транспорта» приводит к инцидентам и авариям на трассе (например, к разливам нефти), а, следовательно, к нарушению гомеостаза среды (загрязнение почвы, водоемов).

Остановимся подробнее на вопросах взаимодействия анализируемой системы с окружающей средой (или другими системами в общем случае).

В литературе по системам принято условно разделять системы на открытые и закрытые [1]. При этом имеется в виду, что открытые системы взаимодействуют с окружающей средой или другими системами и обмениваются с ними веществом, энергией или информацией, а закрытые системы, наоборот, с окружающей средой или другими системами никак не взаимодействуют и веществом, энергией или информацией с ними не обмениваются. При этом, очевидно, что реальные системы не полностью закрыты и не полностью открыты, то есть для них можно записать [1]:

$$0 < \alpha < \alpha_{max}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень открытости системы. Та или иная система может быть относительной закрытой в том смысле, что у нее ограничено взаимодействие со средой или она не имеет взаимодействия или обмена с какой-либо частью окружения, а для целенаправленных систем (рассматриваемая нами система трубопроводного транспорта является целенаправленной) в отдельных случаях возможная замкнутость по информационным процессам [1]. Ниже, говоря об открытых системах, мы будем иметь в виду системы, степень открытости которых находится в интервале (1).

В работе [5] приводятся два критерия изменения энтропии в открытой системе:

а) при увеличении открытости системы от  $\alpha_1$  до  $\alpha_2$  ее энтропия должна уменьшаться от  $S_{\alpha_1}$  до  $S_{\alpha_2}$ , то есть в системе должно произойти упорядочение до уровня, соответствующего новой степени открытости; наоборот, при уменьшении открытости системы от  $\alpha_2$  до  $\alpha_1$  ее энтропия должна увеличиться от  $S_{\alpha_2}$  до  $S_{\alpha_1}$ , то есть должно произойти увеличение беспорядка до уровня, соответствующего новой степени открытости;

б) каждой степени открытости  $\alpha$  однозначно соответствует свое стационарное значение  $S_\alpha$ ; при этом, если в системе  $S > S_\alpha$ , то в ней будут преобладать процессы, уменьшающие энтропию, если  $S < S_\alpha$ , то будут преобладать процессы, увеличивающие энтропию; если  $S = S_\alpha$ , то действие процессов, уменьшающих энтропию, будут компенсировать друг друга и состояние энтропии окажется стационарным.

Далее в [5] трактуется понятие критического уровня организации (упорядочения) системы  $\Delta S_\alpha^-$ :

$$\Delta S_\alpha^- = S_\alpha - S_{a.z.} < 0, \quad (2)$$

где  $S_\alpha$  – значение энтропии стационарной системы;  $S_{a.z.}$  – значение энтропии системы по окончании некоторого процесса в абсолютно

замкнутом состоянии ( $\alpha = 0$ ). В случае, если система организована выше своего критического уровня, то в ней преобладают процессы, увеличивающие энтропию, если ниже - процессы, уменьшающие энтропию. На самом критическом уровне действие указанных процессов друг друга компенсирует и система становится стационарной. Вообще, значение энтропии системы совершает колебательные движения около критического уровня системы.

Далее запишем два основных правила управления порядком в системе [5] и на их основе сформулируем базовые, системные принципы эффективного управления промышленной безопасностью предприятий трубопроводного транспорта углеводородов:

1. Если мы хотим увеличить порядок в системе, то нам необходимо увеличить степень ее открытости, новому значению которой будет соответствовать более высокий критический уровень организации. В результате в системе будут преобладать процессы упорядочения и самоорганизации, повышающие ее организацию до нового критического уровня.

2. Если требуется уменьшить порядок в системе (дезорганизовать ее), то необходимо уменьшить степень открытости. При этом понизится и критический уровень, что вызовет преобладание процессов, дезорганизующих систему до нового его значения.

Данные правила могут быть проиллюстрированы примерами кризисов государств, находившихся в изоляции или самоизоляции. В таких государствах усиливаются деструктивные процессы в области экономики, культуры, науки, что может закончиться даже распадом государственных институтов. И, наоборот, падения «железных занавесов» и открытость миру давали мощный толчок к развитию всех сфер жизни страны, что можно проследить на примере истории Японии.



На основе общесистемных закономерностей, о которых говорится выше, можно вывести следующие рекомендации по повышению безопасности предприятий трубопроводного транспорта:

1. Повышение степени безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов требует повышения критического уровня организации системы «предприятие трубопроводного транспорта»  $\Delta S_{\alpha}^{-}$ , что достигается увеличением степени ее открытости. Но это вовсе не означает, что нужно ослабить защиту трубопровода от несанкционированных врезок, угроз терроризма и т.д. Заметим, что по ряду параметров необходимо сохранять строгий контроль доступа из внешней среды к объектам трубопроводного транспорта.

2. Особое внимание следует уделять информационной открытости предприятий трубопроводного транспорта. Открытость статистики по авариям, непредвзятое, гласное обсуждение и анализ их причин с участием специалистов и представителей общественности, открытость новым идеям по повышению безопасности техники и технологий, заинтересованность во всестороннем научном (в том числе гуманитарном, а не только технико-технологическом) изучении системы «предприятие трубопроводного транспорта» и много другое – все это будет способствовать увеличению степени открытости, а, следовательно, и безопасности предприятий, эксплуатирующих магистральные трубопроводы.

3. Все попытки понизить энтропию системы «предприятие трубопроводного транспорта» (то есть снизить число аварий) без повышения ее степени открытости (например, директивным усилением производственной дисциплины или повышением степени автоматизации линейной части и НПС при неизменном значении  $\alpha$ ) приведут лишь к росту энтропии системы с последующим ее возвращением на уровень критического значения в силу колебаний энтропии около значения критического уровня организации. На практике это может означать лишь

рост аварий и инцидентов на трассе, несмотря на, казалось бы, большую работу по их недопущению.

### **3. Метод информационно-энтропийного анализа промышленной безопасности (на примере проектирования резервуарных парков)**

В наших предыдущих работах, например в [6], была показана возможность практического уменьшения числа возможных состояний технической системы при одновременном увеличении степени ее информационной открытости. Примером технической системы в [6] стал газоперекачивающий агрегат, эксплуатирующийся на предприятии транспорта газа. Информационную энтропию газоперекачивающего агрегата мы уменьшили на 0,004491 хартли. При этом количество новой информации о технической системе «газотурбинная установка», получаемой при повышении степени открытости исследуемой системы, составило 0,017932 бит.

Рассмотрим актуальную задачу уменьшения числа сценариев возможных аварий в товарном парке бензинов. Решение данной задачи весьма сложное и многоплановое и в рамках одной статьи не реализуемое, 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 [7].

Проанализируем предусмотренное проектом размещение газоанализаторов на площадке резервуарного парка с позиций изменения значения информационной энтропии отдельно 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 по каждому из средств автоматизации и затем была суммирована (таблица 1).

Таблица 1. Объем информации, поступающей от средств автоматизации

Наименование технологических параметров и состояний	Обозначение функций и номера 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	-	1,0	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

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 [8] предусматривает семь сценариев развития аварийной ситуации после разлива бензина на площадку:

1. Факельное горение парогазовой фазы;
2. Взрыв облака топливовоздушной 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 разлив бензина.

Если же на площадке расположения резервуаров проектом предусмотрены газоанализаторы, сигнализирующие о загазованности и инициирующие действие защитных мероприятий, то 3 сценария развития аварий можно исключить из «дерева событий», а именно: факельное горение парогазовой фазы, взрыв облака топливо-воздушной смеси и его рассеивание. При этом, количество дополнительной информации о резервуаре, по сравнению с уже имеющейся от других средств автоматизации, составит 1,6 бит, как следует из таблицы 1.

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.

### **Список используемых источников**

1 Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Сер.Системы и проблемы управления. М.: СИНТЭГ, 2000.

2 Поиск подходов к решению проблем /Прангишвили И.В. и др. М.: СИНТЕГ, 1999.

3 Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974.

4 Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития. М.: Наука, 1987.

5 Шаповалов В.И. О фундаментальных закономерностях управления тенденциями //Проблемы управления. 2005. №2. С. 2-11.

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 ФНиП 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.

8 Применение метода «деревьев событий» при составлении деклараций промышленной безопасности для нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий /Буренин В.А., Богданов В.С., Токарев Д.В. и др. //Нефтегазовое дело. 2003. Т.1. С. 326-331.

### References

1 Prangishvili I.V. Sistemnyj podhod i obshhesistemnye zakonomernosti. Ser.Sistemy i problemy upravlenija. M.: SINTJeG, 2000. [in Russian].

2 Poisk podhodov k resheniju problem /Prangishvili I.V. i dr. M.: SINTEG, 1999. [in Russian].

3 Sadovskij V.N. Osnovaniya obshhej teorii sistem. M.: Nauka, 1974. [in Russian].

4 Moiseev N.N. Algoritmy razvitija. M.: Nauka, 1987. [in Russian].

5 Shapovalov V.I. O fundamental'nyh zakonomernostjakh upravlenija tendencijami //Problemy upravlenija. 2005. №2. S. 2-11. [in Russian].

6 Tokarev D.V. Ob upravlenii promyshlennoj bezopasnost'ju na osnove jentropijnogo podhoda //Promyshlennaja bezopasnost' na vzryvopozharoopasnyh i himicheski opasnyh proizvodstvennyh ob#ektah: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2009. S. 272-278. [in Russian].

7 FNiP Obshhie pravila vzryvobezopasnosti dlja vzryvopozharoopasnyh himicheskikh, neftehimicheskikh i neftepererabatyvajushhih proizvodstv. – Utv. prikazom Federal'noj sluzhby po jekologicheskomu, tehno-logicheskomu i atomnomu nadzoru № 96 ot 11.03.2013. [in Russian].

8 Primenenie metoda «derev'ev sobytij» pri sostavlenii deklaracij promyshlennoj bezopasnosti dlja neftepererabatyvajushhih i neftehimicheskikh predpriyatij /Burenin V.A., Bogdanov V.S., Tokarev D.V. i dr. //Neftegazovoe delo. 2003. T.1. S. 326-331. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Токарев Д.В., д-р техн. наук, профессор кафедры экономической информатики, ФГБОУ ВО УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Tokarev D.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Economic informatics», FSBEI HE USATU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: dv\_oil@inbox.ru

Тетерко Г.Ю., преподаватель АНО ДПО «Институт повышения квалификации специалистов нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий», г. Уфа, Российская Федерация

Teterko G.Yu., Teacher of Institute of Professional Development of Expert from Companies Producing Oil and Gas and Refineries, Ufa, the Russian Federation

e-mail: grigorjteterko@yandex.ru

Фадеев К.А., ассистент АНО ДПО «Институт повышения квалификации специалистов нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий», г. Уфа, Российская Федерация

Fadeev K.A., Assistant of Institute of Professional Development of Expert from Companies Producing Oil and Gas and Refineries, Ufa, the Russian Federation

e-mail: kira0494@mail.ru