DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10109

УДК UDC 621.6 | Научная статья

Многокритериальный подход при оценке экономической эффективности и экологической безопасности эксплуатации трубопроводных систем

Фан С.Д.[1], **Фан И.А.**[2], **Афиногентов А.А.**[2]
[1]ООО «СамараНИПИнефть», Самара, Россия, [2]ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия
Fan_s@list.ru

Аннотация

В данной статье проблема расстановки запорной арматуры по длине трубопровода рассматривается как многокритериальная задача, учитывающая такие факторы, как объем выхода нефти при порыве, категория участка прокладки, максимальные расстояния между запорной арматурой и возможные экономические потери при возникновении аварии на трубопроводе при соответствующей расстановке. В качестве примера был рассмотрен участок трубопровода с несколькими вариантами расстановки запорной арматуры, из которых был выбран наилучший согласно предлагаемой методике.

Материалы и методы
Материалы исследования: нормативно-техническая документация в области проектирования трубопроводов, существующие координаты расстановки запорной арматуры на участке трубопровода.
Методы исследования: метод анализа оболочки данных DEA для определения эффективности положения запорной арматуры на линейной части трубопровода, методика оценки экономического ущерба от порыва трубопровода.

Ключевые слова
нефть, запорная арматура, минимизация воздействия на окружающую среду, снижение экологических рисков, экономический ущерб окружающей среде

Для цитирования
Фан С.Д., Фан И.А., Афиногентов А.А. Многокритериальный подход при оценке экономической эффективности и экологической безопасности эксплуатации трубопроводных систем // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 6. С. **–**. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10109

Поступила в редакцию: 20.10.2020

UDC 621.6 | Original Paper

Multi-criteria approach for evaluating the economic efficiency and environmental safety in operation of pipeline systems

Fan S.D.[1], **Fan I.A.**[2], **Afinogentov A.A.**[2]
[1]"SamaraNIPIneft" LLC, Samara, Russia, [2]Samara State Technical University, Samara, Russia
Fan_s@list.ru

Abstract

In this paper the problem of placement the shut-off valves along the length of the pipeline is considered as a multi-criterion one, taking into account such factors as the possible volume of spill oil, category of pipeline, the maximum distance between shut-off valves and possible economic losses in the event of a pipeline failure, with appropriate arrangement. As an example, we considered a pipeline section with several options for placing stop valves and selected the best one according to the proposed method.

Materials and methods
Research materials: regulatory and technical documentation in the field of pipeline design, existing coordinates of the placement of shut-off valves on the pipeline section.
Research methods: Data Envelopment Analysis (DEA) method to estimation of effectiveness structural elements placing on the oil trunk pipeline. Method of economic assessment of possible damage from pipeline breakage.

Keywords
oil, shut-off valves, minimization of environmental impact, reduce environmental risks, economic damage to the environment

For citation
Fan S.D., Fan I.A., Afinogentov A.A. Multi-criteria approach for evaluating the economic efficiency and environmental safety in operation of pipeline systems. Exposition Oil Gas, 2020, issue 6, P. **–**. (In Russ). DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10109

Received: 20.10.2020

Введение

В настоящее время трубопроводный транспорт является самым эффективным способом транспортировки углеводородов. С учетом нескольких крупнейших мировых катастроф и аварий на объектах добычи и транспорта нефти в последние годы, в данной статье предлагается использовать секционирование трубопроводов для минимизации возможного воздействия на окружающую среду при авариях и инцидентах.

Очевидно, что линейная запорная арматура на трубопроводе должна минимизировать воздействие аварийных разливов на окружающую среду. Анализ отечественной и зарубежной нормативной документации в области проектирования нефтепроводов [1, 2, 3] позволяет сделать вывод, что секционирование выполняется на основе общих критериев, таких как категория участка расположения и максимальное расстояние между линейными задвижками. В документах, приведенных выше, не учитываются объемы разлива при разгерметизации, расположение экологически уязвимых зон и пр., что определяет необходимость разработки новой методики, учитывающей большее количество различных факторов.

Что касается анализа рисков при транспортировке углеводородов и других опасных химических веществ, в мировой практике проектирования трубопроводов всё останавливается на выборе безопасного маршрута прокладки и оценке безопасности с помощью различных стандартов [4, 5] и показателей, которые зачастую не учитывают дополнительные факторы [6]. Тем не менее на сегодняшний день нет общепринятой методики для количественной оценки риска разлива углеводородов в окружающую среду, а существующие экспертные оценки не всегда учитывают комплекс параметров и их совместное влияние.

Предлагаемое решение

В работе [7] для оценки эффективности вариантов расстановки конструктивных элементов на трубопроводе используется метод DEA — метод анализа оболочки данных. Данный метод позволяет построить границу относительной эффективности для набора многомерных объектов сравнения (в данном примере — вариантов расстановки линейных задвижек по трассе трубопровода), таким образом, что лучшие объекты сравнения из выборки будут находиться на границе эффективности, а остальные будут удалены от нее пропорционально своему отставанию в эффективности.

Математическая модель оценки представляет взвешенное соотношение между векторами выходных $Y=(y_j), j=\overline{1,J}$ и входных $X=(x_i), i=\overline{1,H}$ параметров:

$$E(X,Y)=\frac{\sum_{j=1}^{J} u_j y_j}{\sum_{i=1}^{H} v_i x_i}, \quad (1)$$

где $u_j, j=\overline{1,J}$ и $v_i, i=\overline{1,H}$ — весовые коэффициенты, которые характеризуют вклад в величину оценки относительной эффективности каждого из выходов $y_j, j=\overline{1,J}$ и входов $x_i, i=\overline{1,H}$ многомерного объекта сравнения.

В качестве входных параметров объектов сравнения X выбираются такие факторы, уменьшение величины которых приводит к повышению относительной эффективности объекта сравнения, а в качестве выходных параметров объектов сравнения Y выбираются такие факторы, рост величины которых приводит к повышению относительной эффективности объекта сравнения. При этом для каждого n-го объекта сравнения из набора $n=\overline{1,N}$ значение величины оценки относительной эффективности E_n должно находиться на интервале [0;1] и стремиться к границе эффективности, что можно сформулировать в виде условий (2) и (3):

$$\frac{\sum_{j=1}^{J} u_{jn} y_{jn}}{\sum_{i=1}^{H} v_{in} x_{in}} \le 1, \forall \begin{pmatrix} n=\overline{1,N};\ j=\overline{1,J};\ i=\overline{1,H}; \\ u_{jn}>0;\ v_{in}>0 \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$E_n(X_n,Y_n)=\frac{\sum_{j=1}^{J} u_{jn} y_{jn}}{\sum_{i=1}^{H} v_{in} x_{in}} \to \max_{U,V\in G}, \quad (3)$$

где $U=(u_{jn}), j=\overline{1,J},\ V=(v_{in}), i=\overline{1,H}$ — векторы весовых коэффициентов для каждого n-го объекта сравнения.

Для отыскания N численных значений относительных эффективностей E_n объектов сравнения необходимо разрешить систему, состоящую из N задач вида (3) и N ограничений вида (2), определив значения весовых коэффициентов u_{jn} и v_{in}. Методы решения подобных задач приведены в работе [8].

Описанный в статье [7] метод был применен для участка трубопровода протяженностью 55 км с тремя единицами запорной арматуры. В качестве входных параметров объектов сравнения были приняты максимальные расстояния между ближайшими линейными задвижками на участке (первый вариант согласно существующей расстановке запорной арматуры, остальные вариативные), а также задана оценка категории участка между задвижками. В качестве выходного параметра была принята величина обратно пропорциональная величине максимально возможного выхода нефти. Параметры модели объектов для сравнения относительной эффективности вариантов размещения линейных задвижек и результаты расчета оценок E_n и ES_n относительной эффективности вариантов размещения линейных задвижек на магистральном нефтепроводе по моделям CCR [8] и Super-efficiency метода DEA [9] представлены в таблице 1.

Согласно полученным результатам, эффективными являются варианты 1, 3, 5, 7. Наилучшим вариантом со значением относительной эффективности является вариант 7.

Для определения возможного ущерба окружающей природной среде использовалась методика экономической оценки возможного ущерба от порыва трубопровода [10]. Данная методика учитывает такие затраты эксплуатирующей организации, как затраты на восстановление оборудования, ущерб от безвозвратно потерянной продукции при разливе, ущерб от вынужденного простоя трубопровода, ущерб от загрязнений окружающей среды, затраты на природовосстановительные мероприятия, затраты на расследование отказа. Согласно методике [10], к параметрам, влияющим на величину возможного ущерба, относятся вид и назначение рассматриваемого участка трубопровода, протяженность и диаметр трубопровода, условия прокладки, время принятия мер по ликвидации аварийных разливов, расположение ближайших водных объектов, категория земель, давление, массовый расход перекачиваемого продукта.

Для оценки возможного экономического ущерба при разливе затраты на восстановление оборудования, ущерб от вынужденного простоя трубопровода, затраты на расследование отказа можно не учитывать.

Ущерб от безвозвратно потерянной нефти при разливе вследствие нарушения герметичности трубопроводов определяется в зависимости от количества разлитой нефти на участке, при этом количество собранной нефти принимается равным 0 для оценки максимально возможного ущерба.

Для оценки ущерба от загрязнений окружающей среде определяются влияние разлива на почву, лесной фонд, водные объекты, с учетом налагающихся государственных штрафов. Учитываются такие показатели, как категория целевого назначения земель с учетом расположения в лесорастительной зоне, нефтеемкость грунта (параметр, зависящий от влажности грунта), глубина пропитки грунта нефтью, объем древесины, приходящейся на 1 м² площади, коэффициенты учета природно-климатических условий и расположений водных объектов и пр.

Затраты на природовосстановительные мероприятия определяются в зависимости от затрат на рекультивацию загрязненных земель, возмещения ущерба сельскохозяйственным угодьям и затрат на восстановление водных объектов с учетом затрат на услуги аварийно-спасательного подразделения, привлечение спецтехники для локализации и сбора разлива.

Проведена оценка возможного экономического ущерба от предполагаемого разлива на линейной части трубопровода для вариантов расстановки запорной арматуры 1 и 7 в денежном эквиваленте. Для 7 варианта по сравнению с вариантом 1, плата за ущерб почвам от загрязнений сократится на 12 %, затраты на восстановление окружающей среды сократятся на 7 %, а ущерб, связанный с безвозвратно потерянной продукцией, снизится на 26 %.

Итоги

Полученное с использованием [7, 10] решение проблемы позволяет учитывать потенциальные объемы разлива с учетом расстановки запорной арматуры, при этом минимизируются возможные экологические риски. Оптимизационная модель была протестирована на реальном примере трубопроводов, при этом результаты показали,

Вариант	Параметры модели объектов сравнения							Оценка относительной эффективности	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	E_n	ES_n
1	19	19	17	4	2	3	1,97	1,00	1,14
2	22	17	16	4	4	3	1,74	0,99	0,99
3	21	21	15	4	2	2	1,81	1,00	1,31
4	24	24	25	2	2	3	1,29	0,67	0,67
5	23	18	18	2	4	2	1,55	1,00	1,10
6	20	20	22	2	2	3	1,49	0,81	0,81
7	17	21	21	2	2	3	1,92	1,00	1,43
8	19	24	24	4	2	2	1,42	0,83	0,83

Таб. 1. Результаты расчета оценок относительной эффективности вариантов размещения линейных задвижек на магистральном нефтепроводе
Tab. 1. The parameters of the comparison object to determine the relatively effectiveness of line valves placing on the oil pipeline

что текущая расстановка запорной арматуры не наилучшая. Данный способ позволяет проверить неограниченное количество вариаций и выявить наиболее эффективную. Также, благодаря применяемой оценке экономического ущерба от вероятного разлива, на этапе проектирования возможно выявить экологически уязвимые зоны, определить потенциальные затраты на природовосстановительные мероприятия в случае аварии и сократить их, применяя данную методику.

Выводы

Предложенная методика позволяет оценивать неограниченный набор дополнительных факторов и использовать многоцелевые подходы для решения задачи. Таким образом, при проектировании новых участков трубопроводов или капитальном ремонте существующих инженер может отдать приоритет такому расположению запорной арматуры, при котором достигается минимизация потенциально возможных объемов разлива и защита районов с высокой экологической уязвимостью.

Литература

1. СП 36.13330-2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85* .
2. ASME B31.4-2012 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries.
3. CSA Z662-15. Нефтегазовые трубопроводные системы. Канада, Торонто: CSA Group, 2015, 673 с.
   CSA Z662-15: Oil and Gas Pipeline Systems. Canada, Toronto, CSA Group, 2015, 673 p.
4. Report of the OECD Workshop on Pipelines. Series on Chemical Accidents, Paris: OECD, 1997, issue 2. (In French).
5. USDOT. Final Longhorn Pipeline Environmental Assessment, Office of Pipeline Safety of USDOT and USEPA, Dallas TX, 2019. (US).
6. Bonvicini S., Antonioni G., Cozzani V. Assessment of the risk related to environmental damage following major accidents in onshore pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, Vol. 56, P. 505–516.
7. Afinogentov Yu., Bagdasarova I., Fan. Multi-factor efficiency analysis of structural elements placing on trunk oil pipeline for the optimal design problem. 2019, XXI international conference “Complex systems: control and modeling problems” (CSCMP), IEEE, 2019, P. 343–346.
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operation Research, 1978, Vol. 2, issue 6, P. 429–444.
9. Chen Y., Du J. Super-Efficiency in data envelopment analysis. International Series in Operations Research & Management Science, Boston, MA, 2015, Vol. 221.
10. Методика экономической оценки возможного ущерба от порыва трубопроводов. Методические указания Компании ПАО НК «Роснефть». 2015. 22 с.

ENGLISH

Results

The solution of the problem using [7, 10] allows us to take into account the potential volumes of spills, placement of shut-off valves and minimize possible environmental risks. The optimization model tested on a real example of pipelines, and the results not showed that the current arrangement of shut-off valves is the best one. This method allows us to check an unlimited number of variations and identify the most effective one. In addition, due to the applied assessment of economic damage from the applied spill, it is possible to identify environmentally vulnerable areas at the design stage, determine and reduce the potential costs of environmental.

Conclusions

The proposed method allows us to evaluate an unlimited set of additional factors and use multi-purpose approaches to solve the problem. Thus, when designing new pipeline or overhauling existing ones, the engineer can give priority to the location of the shut-off valves, which minimizes the potential volume of spills and protects areas with high environmental vulnerability.

References

1. CR 36.13330-2012 Trunk pipelines. Updated version, SNiP 2.05.06-85*. (in Russ).
2. ASME B31.4-2012 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries.
3. CSA Z662-15. Нефтегазовые трубопроводные системы. Канада, Торонто: CSA Group, 2015, 673 с. CSA Z662-15: Oil and Gas Pipeline Systems. Canada, Toronto, CSA Group, 2015, 673 p.
4. Report of the OECD Workshop on Pipelines. Series on Chemical Accidents, Paris: OECD, 1997, issue 2. (In French).
5. USDOT. Final Longhorn Pipeline Environmental Assessment, Office of Pipeline Safety of USDOT and USEPA, Dallas TX, 2019. (US).
6. Bonvicini S., Antonioni G., Cozzani V. Assessment of the risk related to environmental damage following major accidents in onshore pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, Vol. 56, P. 505–516.
7. Afinogentov Yu., Bagdasarova I., Fan. Multi-factor efficiency analysis of structural elements placing on trunk oil pipeline for the optimal design problem. 2019, XXI international conference “Complex systems: control and modeling problems” (CSCMP), IEEE, 2019, P. 343–346.
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operation Research, 1978, Vol. 2, issue 6, P. 429–444.
9. Chen Y., Du J. Super-Efficiency in data envelopment analysis. International Series in Operations Research & Management Science, Boston, MA, 2015, Vol. 221.
10. Method of economic assessment of possible damage from pipeline breakage. Methodical instructions of “Rosneft” PJSC, Moscow, 2015, 22 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фан Сергей Дмитриевич, ведущий инженер отдела концептуального и интегрированного проектирования ООО «СамараНИПИнефть», Самара, Россия
Для контактов: Fan_s@list.ru

Фан Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры «Трубопроводный транспорт» ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия

Афиногентов Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Трубопроводный транспорт» ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия

Fan Sergej Dmitrievich, lead engineer, LLC “SamaraNIPIneft”, Samara, Russia
Corresponding author: Fan_s@list.ru

Fan Irina Aleksandrovna, assistant Professor, Samara State Technical University, Samara, Russia

Afinogentov Aleksandr Aleksandrovich, ph.d., Associate Professor, Samara State Technical University, Samara, Russia