

УДК 622.69; 658.5

## МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ

<sup>1</sup>Земенкова М.Ю., <sup>2</sup>Сероштанов И.В., <sup>1</sup>Шантарин В.Д.,

<sup>1</sup>Земенков Ю.Д., <sup>1</sup>Торопов С.Ю.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: muzemenkova@mail.ru;

<sup>2</sup>ООО «Газпром трансгаз Югорск», Югорск, e-mail: seroshtanoviv@mail.ru

Проведен анализ проблем оценки надежности при управлении процессами транспорта энергоресурсов. Определены основные направления научных разработок для развития системы мониторинга функциональной надежности в системе трубопроводного транспорта. Показана актуальность вопроса применения современных инновационных технологий и разработки новых моделей и методов. В качестве примера показаны результаты моделирования показателя гидравлической надежности для транспорта нефти и нефтепродуктов. Доказано, что предложенный показатель позволяет проводить мониторинг надежности объекта, а также его технической и экономической эффективности. Разработанная модель мониторинга надежности позволяет по зарегистрированному блоку диспетчерских данных в режиме реального времени сканировать развитие показателей надежности трубопроводных систем и получить различные устойчивые экспертные оценки функциональной надежности, обеспечивая постоянный контроль за эффективностью работы нефтепровода.

**Ключевые слова:** надежность, мониторинг, транспорт углеводородных ресурсов, повышение эффективности, повышение надежности, современные технологии

## MONITORING OF FUNCTIONAL RELIABILITY AT MANAGEMENT OF PROCESSES OF TRANSPORT OF HYDROCARBONIC RESOURCES

<sup>1</sup>Zemenkova M.Y., <sup>2</sup>Seroshtanov I.V., <sup>1</sup>Shantarin V.D., <sup>1</sup>Zemenkov Y.D., <sup>1</sup>Toropov S.Y.

<sup>1</sup>FGBO of higher education «Tyumen State Oil and Gas University»,

Tyumen, e-mail: muzemenkova@mail.ru;

<sup>2</sup>JSC «Gazprom transgaz Yugorsk», Yugorsk, e-mail: seroshtanoviv@mail.ru

The analysis of problems of an assessment of reliability at management of processes of transport of energy resources is carried out. The main directions of scientific development for development of system of monitoring of functional reliability in system of pipeline transport are defined. Relevance of a question of application of modern innovative technologies and development of new models and methods is shown. As an example results of modeling of an indicator of hydraulic reliability for transport of oil and oil products are shown. It is proved that the offered indicator allows to carry out monitoring of reliability of object, and also its technical and economic efficiency. Thus, the developed model of monitoring of reliability allows to scan in real time on the registered block of dispatching data development of indicators of reliability of pipeline systems and to receive various steady expert estimates of functional reliability, providing a constant control behind overall performance of the oil pipeline.

**Keywords:** reliability, monitoring, transport of hydrocarbonic resources, efficiency increase, reliability increase, modern technologies

Современные условия эксплуатации трубопроводных систем как опасных производственных объектов требуют принятия решений, способствующих повышению их безопасности и надежности. Требования безопасности нефтепроводов РФ обуславливают необходимость особого контроля технического ресурса линейной части и нефтеперекачивающих станций (НПС). Целенаправленное внешнее воздействие на работу объектов (например, техническое обслуживание), направленное на получение максимального эффекта от эксплуатации системы, – есть только один из методов повышения надежности и, естественно, безопасности объектов.

Все чаще возникает вопрос, насколько надежна та или иная система с точки зрения

обеспечения заданной производительности, потерь напора, обеспечения потребителей в строго определенное время. Отклонение в процессе эксплуатации рабочих параметров системы от плановых требует соответствующего контроля и регулирования. Необходимы разработки, повышающие эффективность и совершенствующие процесс управления в целом эксплуатируемых опасных производственных объектов, что ставит задачи по систематизации, анализу, контролю и управлению показателями надежности опасного производственного объекта. В настоящее время в ряде случаев регулирование осуществляется без учета влияния на показатели безопасности и надежности объекта, учитывая в основном

экономический фактор, со значительным отставанием по времени.

Отечественный и зарубежный опыт применения различных средств контроля технического состояния в процессе эксплуатации ТС показывает, что использование в этих целях микропроцессорных устройств и ЭВМ позволяет значительно повысить эффективность принятия решений. Современное развитие техники математического моделирования, прогресс в области информатики и эффективные средства передачи данных позволяют не только оперативно оценивать состояние ТС, но и имитировать и прогнозировать развивающиеся процессы для проведения экспертных оценок технологического состояния объектов различными федеральными службами надзора и независимыми общественными организациями и оперативного принятия эффективных решений по техническому обслуживанию и повышению функциональной надежности систем трубопроводного транспорта.

Необходимо отметить важность постоянного контроля за эффективностью работы нефтепровода и своевременного реагирования на непрогнозируемые изменения эффективности работы, связанные с изменением свойств нефти, поступления партии некондиционной нефти с повышенным содержанием воды и примесей, и прочие факторы. Система телемеханики в настоящее время фиксирует значения мгновенной производительности, плотности и вязкости с узла учета нефти, значение напора в точках по трубопроводу с каждого датчика давления по трассе, что позволяет обеспечить контроль в автоматическом режиме с использованием данных с пульта диспетчера.

Для проведения оценки и прогнозирования надежности объектов трубопроводного транспорта необходимо комплексное исследование всех факторов, явлений и процессов, определяющих различные свойства надежности системы. Изучение объектов связано с разработкой физико-математических моделей явлений и процессов, отражающих особенности, явления и процессы, характерные для объектов трубопроводного транспорта.

Методика оценки сохраняемости гидравлических параметров систем трубопроводного транспорта основана на оценке гидравлических параметров и характеристик. Таким образом, в качестве показателя, характеризующего надежность поставки продукции и позволяющего давать оценку функциональной надежности и сохраняемости системы, может быть использован безразмерный коэффициент гидравлической надежности.

В соответствии с поставленной целью основными задачами на этапе математического моделирования коэффициента гидравлической надежности являются:

- 1) моделирование технологического процесса транспорта (гидравлический расчет);
- 2) моделирование показателя сохраняемости гидравлических характеристик системы;
- 3) апробация разработанной модели.

Одним из показателей, характеризующих надежность поставки продукции и позволяющих давать оценку функциональной надежности и сохраняемости системы, может быть безразмерный коэффициент гидравлической надежности:

$$J_{hi} = \frac{N_i}{N_0} = \frac{\rho_i \cdot g \cdot Q_i \cdot \Delta H_i}{\rho_0 \cdot g \cdot Q_0 \cdot \Delta H_0} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_i}{Q_0} \right) \cdot \left( \frac{H_i}{H_0} \right), \quad (1)$$

где  $N_i$  – значение полезной мощности в  $i$ -й период времени,  $N_i = \rho g H_i Q_i$ ;  $N_0$  – значение полезной мощности в начальный период эксплуатации,  $N_0 = \rho g H_0 Q_0$ ;  $Q_i$  – производительность нефтепровода в  $i$ -й период времени;  $Q_0$  – проектная производительность нефтепровода в  $i$ -й период времени;  $\Delta H_i$  – потери напора на участке при производительности  $Q_i$  нефтепровода;  $\Delta H_0$  – проектные потери напора на участке при производительности  $Q_0$  нефтепровода.

В случае если  $Q_i = Q_0$ ,  $\rho_i = \rho_0$ , следует принимать  $\Delta H_i = \Delta H_p$ , а  $\Delta H_0 = \Delta H_\phi$ , тогда после несложных преобразований формула (1) примет вид

$$J_n = \left( \frac{H_p}{H_\phi} \right) = E, \quad (2)$$

где  $Q_i = Q_0$  – расчетная производительность нефтепровода;  $\Delta H_p$  – расчетные потери напора на участке;  $\Delta H_\phi$  – фактические потери напора на участке.

Следует заметить, что широко применяемый на практике коэффициент гидравлической эффективности  $E$  является частным решением коэффициента гидравлической надежности. Расчет  $\Delta H_i$  по уставкам даст завышенный результат по величине гидравлических потерь, однако при расчетах достаточных для анализа эксплуатационных режимов, можно принимать  $\Delta H_i = \Delta H_p$ , определенного по действительной производительности трубопровода.

Изменение коэффициента гидравлической надежности можно рассчитывать

и для лимитирующих производительностей  $Q_{\text{lim max}}$  и  $Q_{\text{lim min}}$ .

1. Для оценки запаса гидравлической надежности по отношению к проектному значению в качестве  $Q_i$  можно принять допустимые или действительные значения показателей режима в трубопроводе, а в качестве  $Q_0$  – проектные: тогда

$$J_{\text{н доп}} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_{\text{доп}}}{Q_{\text{пр}}} \right) \cdot \left( \frac{H_{\text{доп}}}{H_{\text{пр}}} \right) \quad (3)$$

или

$$J_{\text{н действ}} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_{\text{действ}}}{Q_{\text{пр}}} \right) \cdot \left( \frac{H_{\text{действ}}}{H_{\text{пр}}} \right), \quad (4)$$

где  $\Delta H_{\text{действ}}$  – потери напора на участке при действительной производительности  $Q_{\text{действ}}$  нефтепровода;  $\Delta H_{\text{пр}}$  – потери напора на участке при производительности  $Q_{\text{пр}}$  нефтепровода.

2. Для оценки гидравлической надежности по отношению к допустимой в качестве  $Q_0$  следует принять допустимые значения, определенные по уставкам, а в качестве  $Q_i$  – реальные значения производительности в трубопроводе:

$$J_{\text{н}} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_{\text{действ}}}{Q_{\text{доп}}} \right) \cdot \left( \frac{H_{\text{действ}}}{H_{\text{доп}}} \right). \quad (5)$$

Достоинством предложенного показателя можно считать то, что расчет гидравлической надежности представляется возможным проводить с учетом ряда других показателей режима работы нефтепровода, например с учетом формулы Лейбензона: с учетом диаметра трубопровода, производительности, вязкости нефти  $\nu$ , плотности и др., т.е. если

$$H_i = \beta \frac{Q_i^{2-m} \nu_i^m}{D_i^{5-m}}; \quad (6)$$

$$H_0 = \beta \frac{Q_0^{2-m} \nu_0^m}{D_0^{5-m}},$$

то

$$J_{\text{н}} = \rho_i g \beta_i \frac{Q_i^{2-m} \nu_i^m Q_i}{D_i^{5-m}} \cdot \left( \beta_0 \frac{Q_0^{2-m} \nu_0^m \cdot Q_0}{D_0^{5-m}} \right)^{-1} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \left( \frac{\beta_i}{\beta_0} \right) \left( \frac{\nu_i}{\nu_0} \right) \frac{Q_i^{2-m} Q_i \cdot D_0^{5-m}}{D_i^{5-m} \cdot Q_0^{2-m} \cdot Q_0} = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \left( \frac{\beta_i}{\beta_0} \right) \left( \frac{\nu_i}{\nu_0} \right) \left( \frac{Q_i}{Q_0} \right)^{3-m} \cdot \left( \frac{D_0}{D_i} \right)^{5-m}. \quad (7)$$

Стоит заметить, что проводить оценку гидравлической надежности только по производительности не совсем корректно, т.к. функция изменения производительности не учитывает физических свойств перекачиваемой нефти, диаметр и напорную характеристику трубопровода. Значения  $J_{\text{н}}$  при режимах эксплуатации с заниженной по отношению к проектной производительностью существенно ниже значений, получаемых при анализе гидравлической эффективности работы по коэффициенту  $E$ . Разработанная методика может быть использована не только для оценки надежности функционирования объекта, но и для оценки экономического ущерба, наносимого предприятию, эксплуатируемому при режимах, отличных от проектных, при расчете коэффициента  $J_{\text{н}}$  по потребляемой мощности.

Система оценки надежности апробирована при прогнозировании гидравлической эффективности и способности действующего нефтепровода сохранять эффективность в пределах, установленных технической документацией. При анализе экспериментальных данных различных нефтепроводов, например, было установлено, что эффект от очистки наблюдается в 65% случаев и производится при снижении эффективного диаметра менее чем на 1% или при снижении эффективности менее чем до уровня  $E = 0,952$ . Этот факт противоречит правилам технической эксплуатации нефтепроводов и способствует увеличению стоимости перекачки. Только в 35% очисток наблюдается эффект от проведения очистки, выраженный в увеличении эффективного диаметра и, следовательно, эффективности работы нефтепровода. По итогам эксперимента также установлено, что применение штатной аппаратуры и информации об одном эксперименте не дает оснований для использования полученных данных для статистической обработки и выявления зависимости коэффициента  $E$  от времени из-за низкого коэффициента корреляции.

С учетом перспектив освоения месторождений, условий прохождения трассы, свойств жидкостей трубопроводы Западной Сибири запроектированы на различную производительность при одинаковых диаметрах. По результатам обработки многочисленных экспериментальных данных

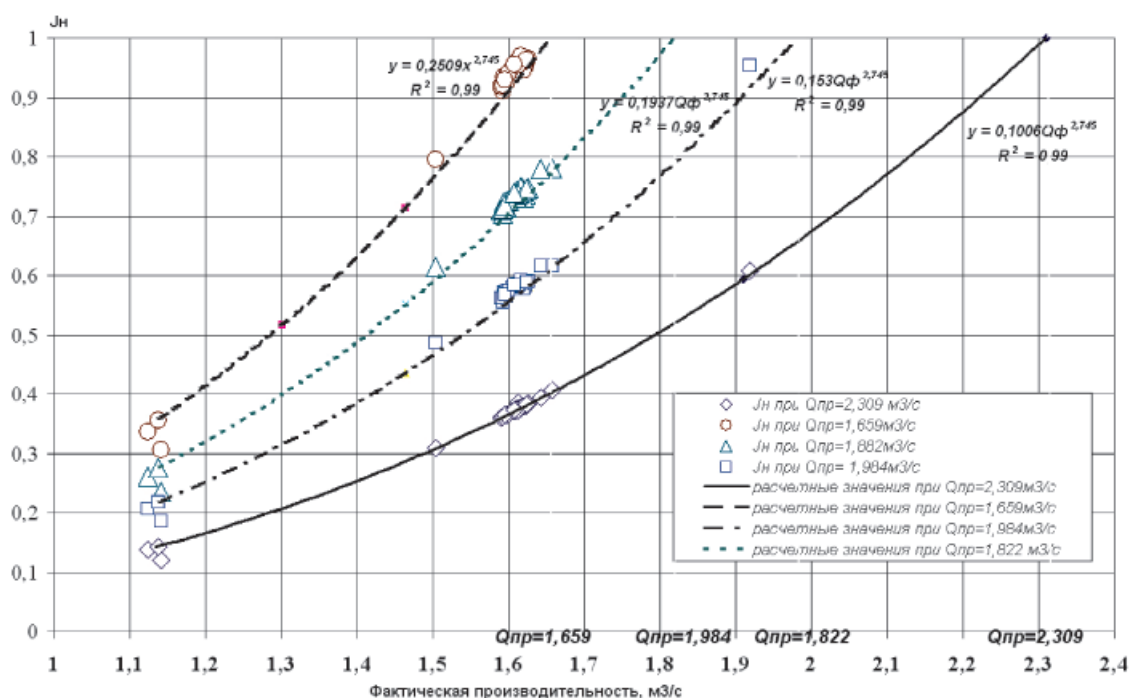
авторами получены зависимости для экспресс-оценки значений коэффициента гидравлической надежности. Например, для нефтепроводов диаметром 1220 мм, запроектированных на различные производительности, кривые изменения  $J_n$  (рисунок) зависимость имеет вид

$$J_n = 1,016 \cdot Q_{\text{пр}}^{-2,7634} \cdot Q_{\text{ф}}^{2,745}, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{пр}}$ ,  $Q_{\text{ф}}$  – проектный и фактический массовые расходы соответственно, м<sup>3</sup>/с.

по предварительно составленному плану-графику, а на основании действительного уменьшения функциональной надежности нефтепровода.

Таким образом, разработанная модель мониторинга надежности, встроенная в АСУ ТП, позволяет по зарегистрированному блоку диспетчерских данных в режиме реального времени сканировать развитие показателей надежности трубопроводных систем и получить различные устойчивые



Коэффициент гидравлической надежности при различных режимах перекачки ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с)

Анализ значений коэффициента гидравлической надежности позволяет сделать вывод о том, что на исследуемом нефтепроводе межочистной период целесообразно увеличить, а количество очисток сократить. В среднем эффективность работы нефтепровода уменьшается на 0,01 за 1,5 месяца или 0,08 в год. Таким образом, эффективность работы нефтепровода, по прогнозам, достигнет значения 0,952 через 7 месяцев после очередной очистки. На основании этого предложено увеличить межочистной период на указанный срок.

Полученные результаты дают возможность определить не только количественные характеристики уровня надежности трубопровода для последующих экспертных и оперативных оценок, но и позволяют принять оперативные решения по проведению очередных очисток нефтепровода не

экспертные оценки функциональной надежности, обеспечивая постоянный контроль за эффективностью работы нефтепровода.

### Список литературы

1. Аспекты технологической надежности и экономической эффективности эксплуатации подземных хранилищ природного газа Западной Сибири: монография / А.Н. Шиповалов, Ю.Д. Земенков, С.Ю. Торпов, С.Ю. Подорожников и др. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 344 с.
2. Земенков Ю.Д. Резервирование энергоресурсов для обеспечения надежности системы газоснабжения / Ю.Д. Земенков, К.А. Акулов, Г.Г. Васильев и др. – Тюмень: ТГНГУ, 2006. – 244 с.
3. Земенкова М.Ю., Шиповалов А.Н., Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Системный анализ в процессах контроля и управления нефтегазовых объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – № 5. – С. 116–119.
4. Курушина Е.В. Транснациональный менеджмент: стратегический аспект: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 128 с.

5. Мониторинг гидродинамических и технических характеристик трубопроводных систем: учебное пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2008 – 432 с.

6. Основы эксплуатации гидравлических систем нефтегазовой отрасли: учебное пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: «Вектор Бук», 2012. – 402 с.

7. Техника и технологические процессы при транспорте энергоресурсов: учебное пособие в 2-х томах / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Изд. «Вектор Бук», 2008. – т. 1. – 380 с.

8. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах / В.Н. Антипов, Ю.Д. Земенков, А.Б. Шабаров и др. / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2002. – 432 с.

9. Торопов С.Ю., Земенков Ю.Д., Подорожников С.Ю. Повышение экологической надежности ремонта трубопроводов в сложных природно-климатических условиях // Газовая промышленность. – М.: ООО «Газойл пресс», 2015. – № S720 (720). – С. 95–98.

10. Шпилевой В.А., Курушина Е.В. Роль и оценка технической и экономической энергоэффективности добычи и транспорта нефти и газа Тюменского региона // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2008. – № 1. – С. 93–101.

### References

1. Aspekty tehnologicheskoj nadezhnosti i jekonomicheskoy jeffektivnosti jekspluatacii podzemnyh hranilishh prirodnogo gaza Zapadnoj Sibiri: monografija / Shipovalov A.N., Zemenkov Ju.D., Toropov S.Ju., Podorozhnikov S.Ju. i dr. Tjumen: TjumGNGU, 2012 344 p.

2. Zemenkov Ju.D. Rezervirovanie jenergoresursov dlja obespechenija nadezhnosti sistemy gazosnabzhenija/Zemenkov Ju.D., Akulov K.A., Vasilev G.G i dr. Tjumen: TGNGU, 2006. 244 p.

3. Zemenkova M.Ju., Shipovalov A.N., Dudin S.M., Zemenkov Ju.D. Sistemnyj analiz v processah kontrolja i upravlenija neftegazovyh obektov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft i gaz. 2007, no. 5. pp. 116–119.

4. Kurushina E.V. Transnacionalnyj menedzhment: strategicheskij aspekt: uchebnoe. posobie. Tjumen: TjumGNGU, 2012. 128 p.

5. Monitoring gidrodynamiczheskih i tehniczeskih harakteristik truboprovodnyh sistem: Uchebnoe posobie. Pod obshhej redakciej Ju.D. Zemenkova. Tjumen: Izdatelstvo «Vektor Buk», 2008 432 p.

6. Osnovy jekspluatacii gidravliczeskih sistem neftegazovoj otrasli: uchebnoe posobie/ Pod obshh.red. Ju.D.Zemenkova.- Tjumen: «Vektor Buk», 2012. 402 p.

7. Tehnika i tehnologicheskie processy pri transporte jenergoresursov: Uchebnoe posobie v 2-h tomah. Pod obshhej redakciej Ju.D.Zemenkova. Tjumen: Izd. «Vektor Buk». 2008 t. 1. 380 p.

8. Tehniczeskaja i parametriczeskaja diagnostika v truboprovodnyh sistemah / Antipev V.N., Zemenkov Ju.D., Shabarov A.B. i dr. Pod obshhej redakciej Ju.D. Zemenkova. Tjumen:izd-vo «Vektor Buk», 2002, 432 p.

9. Toropov S.Ju., Zemenkov Ju.D., Podorozhnikov S.Ju. Povyshenie jekologicheskoj nadezhnosti remonta truboprovodov v slozhnyh prirodno-klimaticzeskih uslovijah // Gazovaja promyshlennost. M.: ООО «Gazojl press», 2015, no. S720 (720), pp. 95–98.

10. Shpilevoj V.A., Kurushina E.V. Rol i ocenka tehniczeskoj i jekonomicheskoy jenergojeffektivnosti dobychi i transporta nefti i gaza Tjumenskogo regiona // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft i gaz. 2008, no. 1. pp. 93–101.

### Рецензенты:

Чекардовский М.Н., д.т.н., профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Шпилевой В.А., д.т.н., профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.