

## УСИЛЕНИЕ ЭНЕРГОИНФРАСТРУКТУРЫ – УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Камкамидзе К.Н., Кикнадзе Д.Л., Бердзенишвили И.Г.  
Грузинский Технический Университет

### Резюме

Показано, что вопрос обеспечения безопасной транспортировки каспийской нефти на мировые рынки по всему маршруту следования является для Грузии важнейшей государственной задачей. Аварийные отказы энергоинфраструктуры ведут к значительным материальным и экологическим ущербам. Эффективность антикоррозионной защиты стеклоэмальевыми покрытиями подтверждена на основе расчетов для нерезервированной системы с использованием дифференциальных уравнений Колмогорова. Срок эксплуатации эмалированных по современной технологии трубопроводов увеличивается до 45 лет.

**Ключевые слова:** энергоинфраструктуры . Транспортировка нефти. Аварийные отказы. Антикоррозионная защита. Дифференциальные уравнения Колмогорова.

### 1. Введение

Успешное осуществление совместных региональных транспортных и энергетических проектов имеет огромное стратегическое значение для развития нефтегазового комплекса страны и грузинской экономики в целом. Основной экспортный трубопровод Баку-Тбилиси-Джейхан, длиной 1773 км, проходящий через территории Азербайджана и Грузии (длина грузинского участка 248 км) до терминала Джейхан на средиземноморском побережье Турции и являющийся по словам президента Азербайджана И. Алиева «хорошим образцом регионального сотрудничества», способен прокачать до 50 миллионов тонн нефти в год. Совершенно очевидно, что вопрос обеспечения безопасной транспортировки каспийской нефти на мировые рынки по всему маршруту следования является для Грузии важнейшей государственной задачей.

Коррозия трубопроводов одна из основных причин снижения их эксплуатационного ресурса [1-3]. В ряде случаев коррозия вызывает аварийные отказы на трубопроводах, которые сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Особенно страдает природа от утечек нефти из магистральных нефтепроводов, так как нефтепродукты относятся к разряду наиболее опасных загрязняющих веществ.

Сравнительный анализ состояния спонтанной микрофлоры на незагрязненных и загрязненных различными фракциями нефтепродуктов грунтов показал, что численность основных групп гетеротрофных бактерий и спорообразующих микроорганизмов снижена на 58-68%, что объясняется токсичным действием нефтепродуктов на жизнедеятельность микроорганизмов. О влиянии степени загрязнения на биологическую продуктивность растительного покрова можно судить по следующим данным: при разливе 12 л (одного ведра) нефтепродуктов на квадратный метр поверхности земли фитомасса наземной части растений через 3 года уменьшается на 74 %, при разливе же 25 л/м<sup>2</sup>, соответственно — на 90% всего за 1 год [4].

Таким образом, из-за коррозии наносится экологический ущерб территориям, сокращается ресурс стальных трубопроводов. Кроме того, практически во всех системах транспорта нефти существует проблема отложения на стенках трубопровода парафина, смол, продуктов

полимеризации и других осадков, что ухудшает гидродинамические характеристики трубопроводов.

Борьбу с коррозией ведут разными методами, в том числе применением стальных труб с антикоррозионными покрытиями на органической или неорганической основе, а также использованием трубопроводов из коррозионностойких материалов (полимерные из термопластичных материалов) [2,5-7].

Для сведения к минимуму риска коррозионных повреждений труб нефтяного сортамента разработаны различные виды покрытий: эпоксидные, песчано-цементные, лаковые, силикатноэмалевые и др. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки [5-7].

Основными недостатками являются:

- песчано-цементные покрытия обладают шероховатостью и уменьшают площадь поперечного сечения труб;
- эпоксидные и лаковые покрытия проницаемы для агрессивных сред, а также имеют недостаточные прочностные и температурные характеристики; допустимая температура эксплуатации трубопроводов с полиэтиленовым и эпоксидным покрытием не должна превышать 60<sup>0</sup>С. Кроме того, органические виды покрытий (полиэтиленовые, эпоксидные, уретановые и др. смолы) достаточно дороги.

Как показывает зарубежный опыт определенные сложности возникают и при применении полимерных труб из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида. Трубы из полимеров со временем стареют и теряют прочностные свойства, являются диффузионно-проницаемыми, т.е. газы через стенку трубы могут проникать внутрь и насыщать транспортируемый продукт.

Для долговременной защиты от коррозии общее признание во многих странах мира получило производство труб с внутренним силикатноэмалевым покрытием. Эмалирование труб широко распространено в США, Англии, Мексике, Германии, Японии, Франции, на Украине и т.д. [1,2,6], а в связи со значительной дороговизной оцинкованных и нержавеющей труб, стеклоэмалевое покрытие сегодня является наиболее экономичным способом повышения надежности и долговечности трубопроводов. В отличие от полимерных труб, эмалированные трубы не склонны к старению [2,6].

Применяемые для труб нефтяного сортамента стеклоэмалевые покрытия весьма разнообразны. Это и двухслойные покрытия на основе грунта и кислотостойких эмалей, и однослойные безгрунтовые, а также композиционные покрытия [2,6,7].

Так как система трубопроводов является нерезервированной, то ее можно рассматривать как однолинейную систему массового обслуживания с постоянной интенсивностью отказов  $\lambda$  [8]. Для такой системы функция готовности совпадает с вероятностью работоспособного состояния  $k_T(t) = P_0(t)$ , а функция простоя – с вероятностью отказа  $k_{II}(t) = P_1(t)$ . Согласно системе дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) ,$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t)$$

где  $\mu = \frac{1}{T_B}$  – параметр, характеризующий восстанавливаемость системы ( $T_B$  – среднее время восстановления).

Как показывают расчеты, стеклоэмалевое покрытие сегодня является наиболее экономичным способом увеличения срока эксплуатации трубопроводов до 40-45 лет (срок службы стальных труб не превышает 2-3 лет, а труб с органическими покрытиями 10-15 лет). Эффективность системы «трубопровод-стеклопокрытие» также довольно высокая, так как значительно преобладает вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии

$$(p_i). \text{ Показатель эффективности } E = \sum_{i=1}^s E_i p_i$$

где  $s$  – количество работоспособных состояний,  $E_i$  – условный показатель эффективности.

На рисунке 1 приведены сопоставительные данные стальных труб и труб с покрытиями. «Цифровые» аргументы выглядят достаточно убедительно.

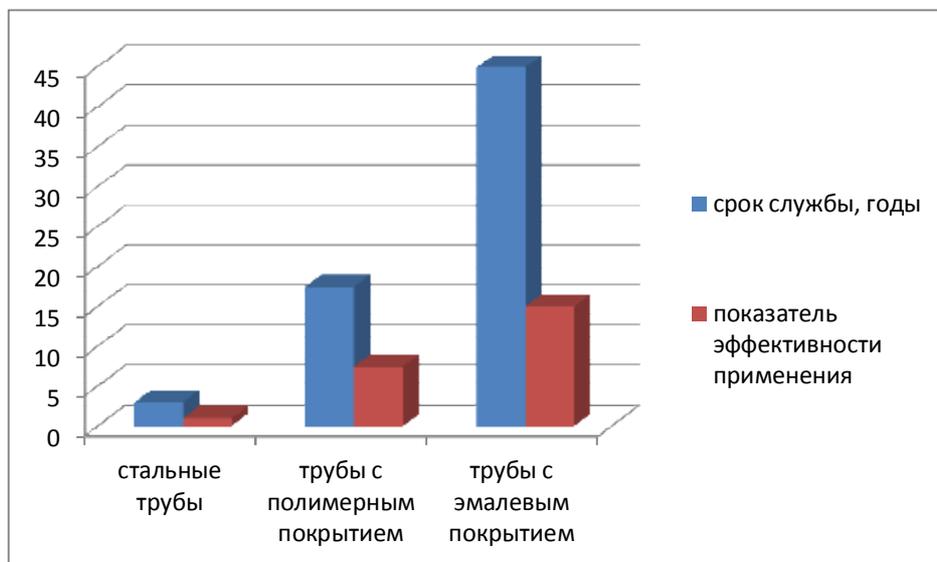


Рис. 1 Эксплуатационные параметры стальных труб с покрытием и без него

В результате исследований, направленных на повышение эффективности функционирования динамических систем, в Грузинском техническом университете созданы специальные бесфтористые многопрофилирующие системы стеклопокрытий как двухслойные, так и однослойные для разновидностей современных технологий эмалирования труб, новизна которых подтверждена более десятком патентов. Основной упор делается на повышение конкурентоспособности защитных материалов [7]. Стеклоэмали характеризуются высокой химической устойчивостью (ISO 2743, ISO 2745), стойкостью к термическим (DIN 51167) и механическим ударам (ГОСТ 3-17-48-98), а также адгезионной прочностью (EN 10209). Широкий спектр химической сопротивляемости гладкостных покрытий позволяет выдерживать воздействие различных агрессивных сред и температурных режимов внутри трубопроводов и предотвратить коррозию наружной и внутренней поверхности.

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность гладкостных покрытий является шероховатость поверхности. На рис. 2 представлены показатели шероховатости поверхности трубы с разработанным покрытием, с универсальной украинской эмалью, с полимерным покрытием, а также незащищенной трубы (из новой углеродистой стали и стали, бывшей в эксплуатации). Чистота поверхности разработанного покрытия в 5 раз превышает чистоту поверхности универсальной украинской эмали УЭС-300.

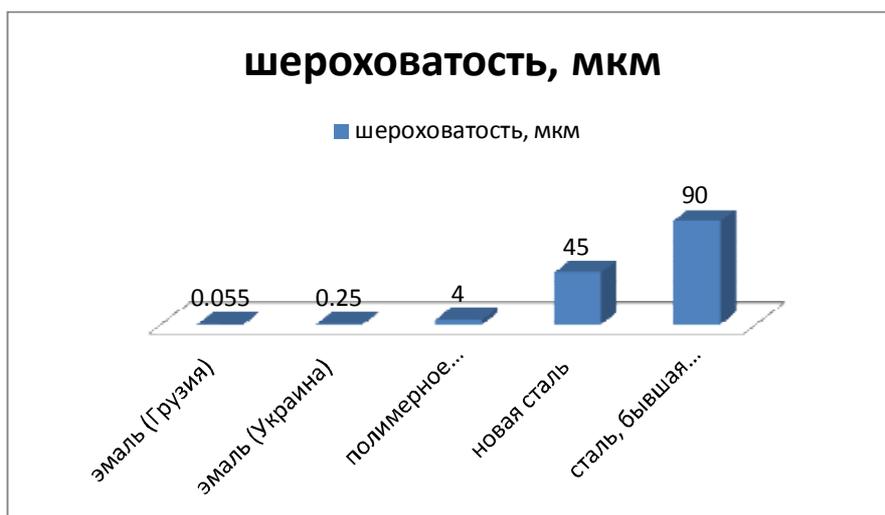


Рис. 2. Показатели шероховатости поверхности стальной трубы с покрытием и без него

Зеркальная стекловидная поверхность разработанной эмали не допускает парафино- и солеотложений на стенках труб, что обеспечивает максимальный гидравлический эффект.

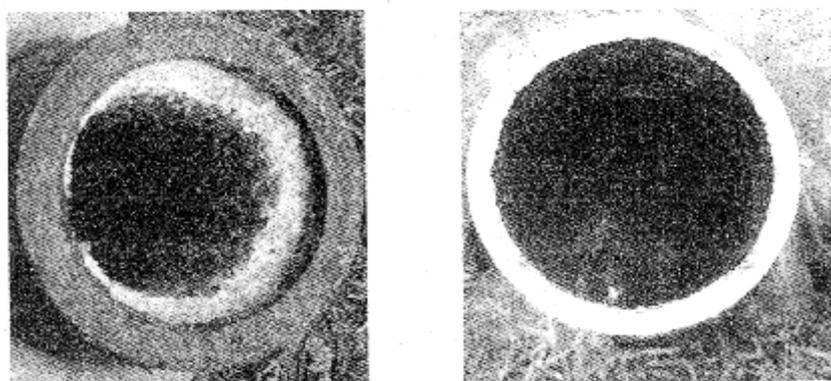


Рис.3. Стальные трубы диаметром 530 мм; а– «черная» труба с отложениями солей, б – труба с внутренним эмалевым покрытием

Таким образом, разработанные покрытия являются перспективными для защиты внутренней поверхности труб и позволят сохранить гидродинамические характеристики трубопроводов в течение длительного срока эксплуатации. Стойкость защитных покрытий подтверждена неоднократными испытаниями на одном из ведущих предприятий Украины.

Применение разработанных бесфтористых силикатноэмалевых покрытий позволяет практически решить проблемы, связанные с коррозионным разрушением металлических трубопроводов и в то же время будет способствовать решению экологических проблем, возникающих при повреждении нефтепроводов. Говорить о том, насколько реализация данного проекта важна для Грузии, как для транзитной страны, думаем, излишне.

#### Литერატურა:

1. Коршак А.А., Нечваль А.М. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2005
2. Смирнов Л.А. Как создать надежную защиту для труб и оборудования в нефтяной промышленности. Металлы Евразии, 2002, № 10. – с. 38-39
3. Мустафин Ф.М., Быков Т.И., Гумеров А.Г. Промысловые трубопроводы и оборудование. – М.: Недра, 2004
4. <http://www.vduma.ru/article.php?id=131>
5. Агалчев В.И., Мартяшева В.А. и др. Перспективы применения труб из полимерных материалов в нефтяной промышленности. Сер. Борьба с коррозией и защита окружающей среды.- М.: ВНИИОЭНГ, 1988. Вып. 3 (77). – с.1- 44.
6. Шкандратов В.И., Ким С. Антикоррозионная защита. Нефтегазовая Вертикаль, 2006, №10. – с. 158-162.
7. Berdzenishvili I.G. Glass Enamels for Oil- and Gas Pipelines. Proc.of the 1<sup>th</sup> Inter.Conf. and Exhibition of the European Ceramic Society. 2009, Krakow, Poland.– 742-744 p.
8. Вероятностные методы в вычислительной технике / Под редакцией А.Н. Лебедева и Е.А. Чернявского. М.: Высшая школа, 1986.

#### STRENGTHENING OF AN ENERGY INFRASTRUCTURE – CONDITION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

Kamkamidze K.N., Kiknadze D.L., Berdzenishvili I.G. (GTU)

#### Summary

The issue of ensuring safe transportation of Caspian oil to world markets is great strategic importance for Georgia and for the whole region. Place of the accident on the energy infrastructure cause the country as economic and environmental damage. The efficiency of enamel protection of pipelines is confirmed by calculations using Kolmogorov differential equations for the non-redundant system. Using the enameled pipes production by the latest technology increases the life of the pipeline up to 45 years.

#### ენერგოინფრასტრუქტურის გაძლიერება – რეგიონის მდგრადი განვითარების პირობა

კ. კამკამიძე, დ. კიკნაძე, ი. ბერძენიშვილი (სტუ)

#### რეზიუმე

აღნიშნულია, რომ კასპიის ნავთობის უსაფრთხო ტრანსპორტირების საკითხი სტრატეგიული მნიშვნელობისაა საქართველოსათვის და მთელი რეგიონისთვის. ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის დაზიანება საფრთხეს უქმნის როგორც ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებას, ასევე მის ბუნებრივ გარემოს. ნავთობსადენების მომინანქრებით დაცვის ეფექტურობა დამტკიცებულია კოლმოგოროვის დიფერენციალური განტოლებების დახმარებით ჩატარებული გათვლებით. ნაჩვენებია, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიით მომინანქრებული მილების გამოყენებით ნავთობსადენის ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა იზრდება 45 წლამდე.