

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Галиев А.Б.,

Закирова Г.Р.,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

**Аннотация:** в данной статье рассмотрены характеристики и условия для использования в нефтедобыче противотурбулентной присадки, создающая среду для роста пропускной способности трубопровода при фиксированной производительности перекачки как с технической, так и с экономической точки зрения. Был рассмотрен возможный экономический эффект в результате снижения энергопотребления при перекачке нефти. В результате анализа было выявлено, что применение присадок дает возможность не только снизить затраты на электроэнергию, но и улучшить надежность эксплуатации, обеспечить ремонтные работы без уменьшения плановых объемов перекачки, сформировать необходимую пропускную способность в процессе консервации и полном отключении насосных станций. В современных экономических условиях добыча и транспортировка нефти – довольно противоречивый вид бизнеса. С одной стороны, добыча энергоресурсов считается высокорентабельной сферой приложения предпринимательских усилий. Однако в данной сфере наблюдается сложнейшая конкуренция со странами, в которых добыча нефти менее сложна по климатическим, геологическим и иным причинам. В связи с этим возникает необходимость применения наиболее экономически выгодных способов транспортировки нефти к конечному покупателю.

**Ключевые слова:** противотурбулентные присадки, капитальные затраты, транспортировка нефти, энергопотребление, экономическая целесообразность

### Введение

В современных экономических условиях добыча и транспортировка нефти – довольно противоречивый вид бизнеса. С одной стороны, добыча энергоресурсов считается высокорентабельной сферой приложения предпринимательских усилий. Однако в данной сфере наблюдается сложнейшая конкуренция со странами, в которых добыча нефти менее сложна по климатическим, геологическим и иным причинам. В связи с этим возникает необходимость применения наиболее экономически выгодных способов транспортировки нефти к конечному покупателю.

Трудности при транспортировке на территории России связаны с перманентно изменяющимся составом и структурой товарной нефти – от севера Западной Сибири до границ России на западе [2]. Транспортировка продукции нефтедобычи от скважин до пунктов подготовки этого ресурса осуществляется промысловыми трубопроводами.

Трубопроводный транспорт по сравнению с другими видами транспорта обладает целым рядом преимуществ:

1. Относительно низкая себестоимость перекачки.
2. Бесперебойная поставка углеводородов в течение года, в малой степени зависящая от условий северного климата.
3. Небольшие потери нефти в процессе ее перекачки.

4. Способность перекачки нефти и нефтепродуктов разных сортов одновременно по одному трубопроводу.

5. Возможность расширения пропускной способности трубопровода за счет строительства насосных станций и прокладки дополнительных участков [1].

В настоящее время происходит увеличение обводнённости нефти на функционирующих месторождениях, при этом очень часто встречаются эмульсии так называемого первого рода (содержание воды может достигать до 97%). Данное явление осложняется тем, что вязкость нефтяной эмульсии значительно превышает вязкость самой нефти. Высокая скорость таких эмульсий ведет к увеличению гидравлического сопротивления в турбулентном потоке и росту энергозатрат.

В нефтедобывающих районах есть тенденция к росту добычи трудноизвлекаемой нефти, объем которых достигает 80% от всех запасов. В России большая часть месторождений относятся к высоковязким и высокозастывающим залежам с плотной структурой, поэтому необходимы дополнительные меры по увеличению эффективности транспорта нефти и нефтяной эмульсии [3].

### Методы

Проблему повышения производительности трубопроводного транспорта можно решить несколькими способами. Увеличение мощности силовых установок, которые функционируют на насосных станциях, тормозится из-за технических сложностей и объема финансовых вложений. По-

этому на сегодняшний день оптимальным вариантом является снижение гидродинамических затрат в процессе перекачки нефти и нефтепродуктов, которая ведет к росту производительности трубопроводов при аналогичных мощностях силовых установок [4].

Большую роль для наращивания пропускной способности трубопроводов и уменьшения затрат энергии на транспортировку жидкой среды играет снижение гидравлического сопротивления. Широкое применение получили следующие методы:

- перекачка с разбавителями;
- предварительный нагрев перекачиваемой среды;
- перекачка нефти после термообработки;
- гидротранспортировка высоковязкой нефти;
- перекачка нефти с присадками.

Четыре первых метода базируются на уменьшении показателя вязкости жидкости, однако их использование не всегда выполнимо по техническим или экономическим соображениям. При гидротранспорте нефти создается пристенный кольцевой слой жидкости и перекачка нефти происходит в водяном кольце. Водяной слой из-за турбулентной и молекулярной диффузии постепенно «размывается», вследствие чего образуется эмульсия, которая имеет довольно большую вязкость и в некоторых случаях превышает значение исходной нефти [5].

По этой причине наибольший интерес получило исследование в использование специальных полимерных присадок, способствующих снижению гидравлического сопротивления. Введение добавок в перекачиваемый поток представляют с собой углеводородные полимеры, имеющие высокую молекулярную массу. Несмотря на малую дозу добавления, коэффициент сопротивления потока может снизиться до 30-60% [6].

На сегодняшний день применение противотурбулентных присадок (далее ПТП) в качестве увеличения пропускной способности является актуальной. Так, например, на магистральном трубопроводе Ванкорское месторождение (Пурпе) в условиях Крайнего Севера добавление присадки в двух участках нефтепровода позволила снизить гидравлическое сопротивление нефти на 41% [11]. Их эффективное действие также отмечены на нефтепроводе Казахстан-Китай, где увеличение

производительности работы магистральных трубопроводов является одной из главных задач [12].

В процессе выбора конкретной присадки стоит принять во внимание эксплуатационные характеристики товарной формы, возможной деструкции в турбулентном потоке, продолжительность и скорости растворения в нефтяной среде. Товарная форма может быть, как в виде геля, так и в виде дисперсии.

Наиболее частое применение получили присадки FLO-MXA (Baker Hughes B.V.), M- Flowtreat, Necadd 477, RT FLYDE-H (ООО «НИКА-ПЕТРОТЭК»), LPTM Arctic Grade (Conoco Specialty Products Inc.).

В процессе эксплуатации на их эффективную работу влияют такие параметры как: молекулярная масса полимера, эксплуатационные характеристики протекаемой среды и работы трубопровода (режим течения, диаметр трубопровода, температура и вязкость нефти и др.).

Стоит отметить, что использование присадок целесообразно только при турбулентном потоке и для углеводородных жидкостей с вязкостью 150-200 мм<sup>2</sup>/с. Эффективность определенной марки ПТП в большей степени зависит от внешних факторов.

Так, исследования, проведенные ООО «НИИ Транснефть» совместно с АО «Транснефть-Север», показали, что наиболее благоприятные условия для ввода присадок марки FLO-MXA является теплое время года, когда температура перекачиваемой среды на 5-7°С выше чем в холодный период. Данное явление благотворно влияет на физические свойства нефти, увеличивая при этом растворимость используемой ПТП. Поэтому данной группой рекомендуется использование в холодный период года и при эксплуатации магистральных трубопроводов, пролегающих в зоне вечномерзлых грунтов присадок с содержанием полимеров акрилового ряда [13].

Экономический эффект от ввода ПТП заключается в снижении энергопотребления и оценивается как разность между сэкономленной электроэнергией и затратами на эксплуатационные расходы, где учитываются амортизационный отчисления, ремонт и обслуживание устройств по вводу присадок.



Рис. 1. Схема установки ввода присадок в транспортируемую среду

Экономия при использовании ПТП заключается в снижении чистых дисконтированных капитальных затрат к которым относят строительство магистральных нефтепроводов (далее МН), строительно-монтажные работы и т.д. Данный показатель уменьшается за счет возможного исключения перекачивающей станции (далее ПС), которая ведет к снижению издержек на электроэнергию МН и затрат на эксплуатацию исключенной ПС.

На этапе проектирования применение ПТП дает возможность уменьшения диаметра трубопровода и толщину, снижая металлоемкость и ее стоимость. Предполагается, что расходы, связанные с закупкой ПТП, в большей степени приходят на период пиковой работы месторождения при максимальной производительности МН [13].

Область экономической целесообразности применения присадок зависит от определения оп-

тимальной концентрации присадок на конкретном участке для каждого режима и определяется ее стоимостью в зависимости от расхода среды, диаметра и протяженности трубопровода, КПД ( $\eta$ ) насосов.

Относительное снижение сопротивления определяется по формуле 1:

$$DR = \left(1 - \frac{\chi}{\chi_0}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент гидравлического сопротивления потока с наличием присадки;

$\chi_0$  – коэффициент гидравлического сопротивления потока без присадки (базовый режим).

Эффективность ПТП описывается кривой эффективности, в зависимости от ее концентрации в среде, представленный на рис. 2 [7, 8].

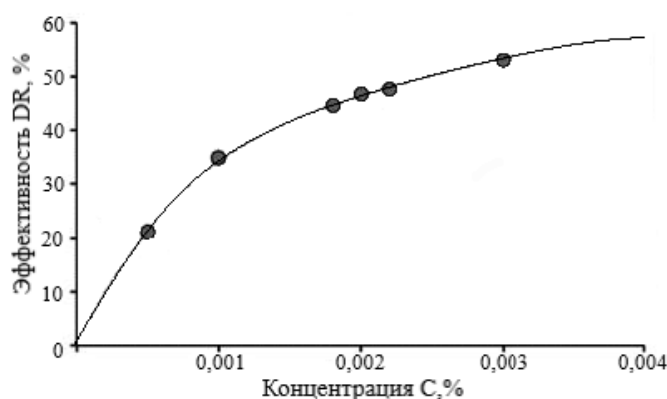


Рис. 2. Зависимость эффективности ПТП от ее концентрации

Для получения точных данных оптимальной концентрации (С) при проектировании магистральных трубопроводов и улучшения ее эффективности используются программные обеспечения, позволяющие смоделировать влияние ПТП на перекачку нефтяного сырья и нефтепродуктов [9].

Основываясь на анализе, проводимых центром гидромеханических исследований ООО «НИИ ТНН» годовая экономия при использовании ПТП существенна, рентабельность составляет 5% [10]. Основные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные расчетные показатели применения ПТП на участках магистрального трубопровода, представленных Центром гидромеханических исследований ООО «НИИ ТНН»**

Нефтепровод	Ду, мм	Допустимая цена ПТП, руб/кг	Требуемое количество ПТП, т/год	Экономия электроэнергии, МВт/год (%)	Экономический эффект, тыс.руб./год
Ухта – Ярославль, Приводино – Ярославль	800	261	814	96199 (45%)	26627
Сургут – Полоцк, Пермь – Лазарево	1000	138	983	55549 (48%)	16238
Сургут – Полоцк, Лазарево – Горький	1000	107	1671	136956 (48%)	20880
Тихорецк – Туапсе, Тихорецк – Пшехская	500	204	185	16512 (41%)	9725

### Заключение

Таким образом, с целью снижения электропотребления при транспорте нефти и нефтепродуктов одним из оптимальных методов является применение ПТП, позволяющее снизить затраты на электроэнергию. Для достижения требуемого эффекта необходимо грамотное и точное определение ее концентрации как при проектировании трубопровода и системы подачи, так и при ее эксплуатации. При выборе конкретной модели присадок должны учитываться как внешние, так и внутрен-

ние факторы. Немаловажную роль в экономической целесообразности применения ПТП играет и стоимость нефти на мировом рынке, которая отрицательно может повлиять на выбранный метод снижения энергозатрат.

По техническим показателям использование присадок позволяет не только снизить гидравлическое сопротивление, но и способствует снижению рабочего давления, что уменьшает риск возникновения аварии и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

### Литература

1. Васильев Г.Г., Коробков Г.Е., Коршаков А.А. и др. Трубопроводный транспорт нефти / под ред. С.М. Вайнштока: учеб. для вузов: в 2 т. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. Т. 1. 407 с.
2. Маринин Н.С., Тарасов М.Ю., Саватаев Ю.Н. и др. Подготовка высоковязких нефтей на месторождениях Крайнего Севера. Сер.: Нефтепромысловое дело: Обзорная информация. 1983. Вып. 18. 41 с.
3. Башкирцева Н.Ю. Композиции на основе неионогенных ПАВ для комплексного решения задач повышения нефтеотдачи, подготовки и транспортирования высоковязких нефтей: дис. ... докт. техн. наук. г. Казань: КГТУ, 2009. 360 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15960680>
4. Коршаков А.А. Ресурсосберегающие методы и технологии при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие для системы доп. проф. образования по направлению "Трансп. и хранение нефти, нефтепродуктов и газа". Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. 191 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002956990>
5. Ильин А.В., Карева Г.Н., Васильева Е.В., Ильина Л.А. и др. Экспериментальные исследования устойчивости течения нефтепродуктов в трубе с пристенным жидким (газовым) слоем // Технология нефти и газа. 2013. №5. С. 36 – 41.
6. Рыженков В.А., Волков А.В., Погорелов С.И., Рыженков А.В. Способ уменьшения гидравлического сопротивления трубопроводных сетей для транспортировки жидких сред: пат. 139 2318140 Рос. Федерация: МПК7 F15D1/06; №2006138190; заявл. 30.10.2006; опубл. 27.02.2008. 3 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37593441>
7. Сариев М.Е., Чурикова Л.А. Влияние противотурбулентной присадки на эффективность перекачки нефти // Молодой ученый. 2019. № 47 (385). С. 127 – 130. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41444014>
8. Егоров А.Г., Лосев К.А., Сулейманова Ю.В., Шевкунов С.Н. и др. Результаты применения противотурбулентной присадки «M-FLOWTREAT» при трубопроводном транспорте газового конденсата // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 1. С. 34 – 35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19106093>

9. Анисимова Е.Ю., Яснюк Т.И., Цырендашиева Н.Б., Панасенко Н.Л. и др. Математическое моделирование процесса транспорта нефти по трубопроводу с применением противотурбулентных присадок // Нефть. Газ. Новации. 2018. №5. С. 47 – 50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35162644>

10. Ширяев А.М., Жолобов В.В., Ковардаков А.В. О применении химреагентов для повышения энергоэффективности магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 1 С. 70 – 77. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17587882>

11. Теплоухова А.В. Опыт применения противотурбулентных присадок в ЗАО «Ванкорнефть» // Технологии добычи и использования углеводородов. 2015. № 1. С. 1 – 2.

12. Алдыярлов, Т.К. Дидух А.Г., Габсаттарова Г.А., Боранбаева Л.Е. и др. Исследование эффективности противотурбулентной присадки при трубопроводном транспорте нефти по экспортному маршруту Казахстан-Китай // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. № 2 (14). С. 22 – 27.

13. Валиев М.И., Хасбиуллин И.И., Казаков В.В. Особенности применения противотурбулентных присадок на основе полиальфаолефинов при различной температуре нефти // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 5 (25). С. 32 – 37.

### References

1. Vasil'ev G.G., Korobkov G.E., Korshak A.A. i dr. *Truboprovodnyj transport nefiti. pod red. S.M. Vajnshtoka: ucheb. dlja vuzov: v 2 t. M.: OOO «Nedra-Biznescentr», 2002. T. 1. 407 s.*

2. Marinin N.S., Tarasov M.Ju., Savvataev Ju.N. i dr. *Podgotovka vysokovjazkih neftej na mestorozhdenijah Krajnego Severa. Ser.: Neftepromyslovoe delo: Obzornaja informacija. 1983. Vyp. 18. 41 s.*

3. Bashkirceva N.YU. *Kompozicii na osnove neionogennyh PAV dlya kompleksnogo resheniya zadach povysheniya nefteotdachi, podgotovki i transportirovaniya vysokovjazkih neftej: dis. ... dokt. tekhn. nauk. g. Kazan': KGTU, 2009. 360 s. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15960680*

4. Korshak A.A. *Resursosberegayushchie metody i tekhnologii pri transportirovke i hranenii nefiti i nefteproduktov: ucheb. posobie dlja sistemy dop. prof. obrazovaniya po napravleniyu "Transp. i hranenie nefiti, nefteproduktov i gaza". Ufa: DizajnPoligrafServis, 2006. 191 s. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01002956990*

5. Il'in A.V., Kareva G.N., Vasil'eva E.V., Il'ina L.A. i dr. *Jeksperimental'nye issledovaniya ustojchivosti techenija nefteproduktov v trube s pristennym zhidkim (gazovym) sloem. Tehnologija nefiti i gaza. 2013. №5. S. 36 – 41.*

6. Ryzhenkov V.A., Volkov A.V., Pogorelov S.I., Ryzhenkov A.V. *Sposob umen'shenija gidravlichesko-go soprotivlenija truboprovodnyh setej dlja transportirovki zhidkih sred: pat. 139 2318140 Ros. Federacija: MPK7 F15D1/06; №2006138190; zajavl. 30.10.2006; opubl. 27.02.2008. 3 s. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37593441*

7. Sariev M.E., CHurikova L.A. *Vliyanie protivoturbulentnoj prisadki na effektivnost' perekachki nefiti. Molodoj uchenyj. 2019. № 47 (385). S. 127 – 130. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41444014*

8. Egorov A.G., Losev K.A., Sulejmanova Ju.V., Shevkunov S.N. i dr. *Rezul'taty primeneniya protivoturbulentnoj prisadki «M-FLOWTREAT» pri truboprovodnom transporte gazovogo kondensata. Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ja. 2013. № 1. S. 34 – 35. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19106093*

9. Anisimova E.Ju., Jasnjuk T.I., Cyrendashieva N.B., Panasenko N.L. i dr. *Matematischeskoe modelirovanie processa transporta nefiti po truboprovodu s primeneniem protivoturbulentnyh prisadok. Neft'. Gaz. Novacii. 2018. №5. S. 47 – 50. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35162644*

10. SHiryayev A.M., ZHolobov V.V., Kovardakov A.V. *O primeneniye himreagentov dlya povysheniya energoeffektivnosti magistral'nogo truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. 2012. № 1 S. 70 – 77. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17587882*

11. Teplouhova A.V. *Opyt primeneniya protivoturbulentnyh prisadok v ZAO «Vankorneft'». Tekhnologii dobychi i ispol'zovaniya uglevodorodov. 2015. № 1. S. 1 – 2.*

12. Aldyyarov T.K., Diduh A.G., Gabsattarova G.A., Boranbaeva L.E. i dr. *Issledovanie effektivnosti protivoturbulentnoj prisadki pri truboprovodnom transporte nefiti po eksportiruemomu marshrutu Kazahstan-Kitaj. Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. 2014. № 2 (14). S. 22 – 27.*

13. Valiev M.I., Hasbiullin I.I., Kazakov V.V. *Osobennosti primeneniya protivoturbulentnyh prisadok na osnove polial'faolefinov pri razlichnoj temperature nefiti. Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov. 2016. № 5 (25). S. 32 – 37.*

---

## ECONOMIC ASSESSMENT OF THE USE OF ANTI-TURBULENCE ADDITIVES IN THE TRANSPORTATION OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

*Galiev A.B.,  
Zakirova G.R.,  
Ufa State Oil Technical University*

**Abstract:** this article describes the characteristics and conditions for the use of an anti-turbulence additive in oil production, which creates an environment for increasing the pipeline capacity at a fixed pumping capacity, both from a technical and economic point of view. The possible economic effect of reducing energy consumption during oil pumping was considered. As a result of the analysis, it was found that the use of additives makes it possible not only to reduce energy costs, but also to improve the reliability of operation, to provide repair work without reducing the planned pumping volumes, to form the necessary throughput during the conservation and complete shutdown of pumping stations. In modern economic conditions, oil production and transportation is a rather controversial type of business. On the one hand, the extraction of energy resources is considered a highly profitable area of application of entrepreneurial efforts. However, there is a very difficult competition in this area with countries where oil production is less difficult due to climate, geo-landscape and other reasons. In this regard, there is a need to apply the most cost-effective methods of transporting oil to the final buyer.

**Keywords:** anti-turbulence additives, capital expenditures, oil transportation, energy consumption, economic feasibility