

# Бесстыковый магистральный полимерный трубопровод с внешним армированием

**Виктор Тихонович ФЕДОРОВ**, доктор технических наук, советник, e-mail: fedorovsteer@gmail.com

Концерн «Наноиндустрия», 119334 Москва, ул. Бардина, 4, корп. 1

**Мухамед Нургалиевич КОКОЕВ**, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, e-mail: kbagrostroy@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», Кабардино-Балкарская Республика, 360004 Нальчик, ул. Чернышевского, 173

**Аннотация.** Многолетняя эксплуатация показала недостатки стальных трубопроводов – дороговизну и трудоёмкость строительства. Аварийность нефтепроводов из-за коррозии вызывает катастрофические последствия для природы. Возникает вопрос: можно ли построить бесстыковый трубопровод, не подверженный коррозии? Для полимерных трубопроводов этот вопрос частично решен, но только строительными отрезками. В работе рассматривается концепция мобильного комплекса для непрерывной экструзии трубы большого диаметра в полевых условиях. Комплекс должен производить «бесконечную» трубу, охлаждать и армировать ее высокопрочной лентой и укладывать в траншею. Все оборудование комплекса размещается на колесных платформах, которые тянет трактор со скоростью, равной скорости экструзии трубы. Для создания мобильного комплекса необходимо снизить массу экструдера, увеличить его производительность, обеспечить работу системы охлаждения и др. Уже существующие экструдеры позволяют разработать комплекс для производства в полевых условиях до 50 км в месяц «бесконечной» трубы. При внешнем армировании высокопрочной лентой полимерный трубопровод сможет работать при давлении до 10 МПа.

**Ключевые слова:** бесстыковый полимерный трубопровод, коррозия, мобильный комплекс, экструдеры, внешнее армирование высокопрочной лентой.

## SEAMLESS POLYMER MAIN PIPELINE WITH EXTERNAL REINFORCEMENT

**Victor T. FEDOROV**, e-mail: fedorovsteer@gmail.com

Concern "Nanoindustry", ul. Bardina, 4, korp. 1, Moscow 119334, Russian Federation

**Muhammed N. KOKOEV**, e-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Kabardino-Balkar State University named after H. M. Berbekov, ul. Chernyshevskogo, 173, Nalchik 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation

**Abstract.** Long-term operation has shown the disadvantages of steel pipelines - the high cost and labor intensity of construction. The accident rate of oil pipelines due to corrosion causes catastrophic consequences for nature. The question is, is it possible to build a seamless pipeline that is not subject to corrosion? For polymer pipelines, this issue has been partially resolved, but only by construction segments. The paper considers the concept of a mobile complex for continuous extrusion of large diameter pipes in the field. The complex should produce an "infinite" pipe, cool and reinforce it with high-strength tape and put it in a trench. All the equipment of the complex is placed on wheeled platforms, which are pulled by a tractor at a speed equal to the pipe extrusion speed. To create a mobile complex, it is necessary to reduce the mass of the extruder, increase its productivity, ensure the operation of the cooling system, etc. Already existing extruders make it possible to develop a complex for the production of up to 50 km per month of "endless" pipe in the field. With external reinforcement with high-strength tape, the polymer pipeline will be able to operate at a pressure of up to 10 MPa.

**Key words:** seamless polymer pipeline, corrosion, mobile complex, extruders, external reinforcement with high-strength tape.

### Введение

Академик П. Л. Капица для решения сложных технических и научных задач использовал междисциплинарный подход, а для внедрения своих крупных разработок — межотраслевой. Например, ему удалось таким образом решить проблему получения сильных магнитных полей, слож-

ную задачу по созданию турбодетандера нового типа для производства жидкого кислорода в промышленных количествах, потребность в котором была очень велика, и др. [1]. Далее покажем, что предложенная концепция мобильного комплекса для решения проблемы нарастающей аварийности стальных трубопрово-

дов также основана на межотраслевом подходе.

Ежегодно из-за коррозии и усталостного разрушения металла происходят тысячи аварий на теплотрассах и трубопроводах водоснабжения в городах и поселках. Еще более серьезные последствия вызывают аварии и протечки нефтепроводов. Из ста-

рых нефтепроводов в России вытекает 10–15 млн т нефти [2].

Промысловые и межпромысловые нефтепроводы подвержены коррозии и разрушениям более часто, чем магистральные трубопроводы, так как в нефти промышленных трубопроводов больше содержание агрессивных примесей — минеральных солей, воды, кислот и сероводорода. Коррозия труб промысловых трубопроводов на месторождениях нефти увеличивается после проведения кислотных обработок скважин и гидроразрывов пластов, когда закачиваются в породу сотни тонн воды с химическими добавками.

Износ межпромысловых трубопроводов на 80 % больше, чем магистральных, а частота их повреждений составляет 1,5–2 разрыва на 1 км длины трубопровода [3, 4]. Это особенно характерно для трубопроводов, расположенных в зонах вечной мерзлоты. Таким образом, помимо большой трудоемкости и высокой стоимости строительства стальных трубопроводов различного назначения, у них есть большой недостаток — они подвержены коррозии и, как следствие, высокой аварийности.

В настоящее время для защиты трубопроводов от коррозии в заводских условиях используется изоляция труб снаружи полиэтиленом. Заводская технология боковой экструзии — это когда медленно вращающаяся на опорных роликах стальная труба расположена поперек продольной оси экструдера, который выдает через широкую щелевую матрицу расплавленную ленту полиэтилена. Далее она по спирали плотно наматывается на подготовленную поверхность стальной трубы [5]. Однако это не защищает трубы от коррозии изнутри и разрушения от химически активной перекачиваемой среды.

Серийное производство труб

из термопластичных полимеров методом экструзии существует более 80 лет. За это время технологии настолько привыкли видеть в цехах тяжелые экструдеры и длинные линии охлаждения труб, что у них даже не возникает мысли о мобильном комплексе для производства в полевых условиях «бесконечной» магистральной трубы. Это неудивительно, если учесть, какие задачи у цеха по выпуску пластмассовых профилей и труб, используемых в жилищном строительстве, и какие проблемы у строителей стальных магистральных трубопроводов.

В этой связи возникает вопрос, можно ли создать магистральный трубопровод, например, диаметром от 300 до 500 мм без сварных стыков и стальных труб, громоздких и неудобных для перевозки на сотни километров? Иначе говоря, возможно ли построить многокилометровый бесстыковый магистральный трубопровод, не подверженный коррозии и протечкам?

Цель работы — показать возможность строительства магистрального трубопровода из полимеров без стыков путем создания мобильного комплекса для производства «бесконечной» трубы методом экструзии в полевых условиях.

#### **Особенности полимерных трубопроводов**

Полимерные трубы давно применяются в различных отраслях промышленности, в том числе химической, для подачи агрессивных жидкостей. Чаще всего они используются относительно небольших диаметров. Если трубы производят диаметром больше 125 мм и строительными отрезками длиной до 6–12 м, то их на месте строительства соединяют с помощью фитингов или тепловой сваркой. Более того, одно из российских предприятий уже давно производит частично «бес-

стыковые» полимерные трубы диаметром до 125 мм, строительная длина которых не превышает 150 м [6, 7]. Это говорит о том, что трубы для перевозки должны быть свернуты в бухты. Предельный диаметр такой бухты по условиям транспортировки равен 2750 мм. Трубы внутри, между слоями полимера, армированы высокопрочными полиэфирными малоусадочными нитями с повышенной адгезией к поверхности трубы. Нити имеют предел прочности 900 МПа, т. е. прочность хорошей стали. Благодаря этому полимерные трубы могут работать при давлении до 4 МПа [8]. Трубы диаметром больше 140 и 160 мм выпускают отрезками по 12 м, поскольку их в бухту свернуть нельзя.

Для соединения отрезков труб на месте строительства применяют различные виды тепловой сварки. Например, используют контактную сварку встык с приложением осевого давления после оплавления кромок трубы с выдержкой времени — в раструб, через муфту. Существуют специальные электросварные муфты для полиэтиленовых труб диаметром до 315 мм включительно. Электросварные муфты имеют встроенные нагревательные элементы, которые при сварке нагревают пластмассу до плавления и появления в контрольных отверстиях муфты расплава. Эти муфты стоят достаточно дорого, а соединение труб с помощью тепловой сварки занимает большую часть времени монтажа магистральной. Муфты годятся для установки на трубопроводы давлением до 1,6 МПа. Давление в таких пределах чаще применяют в системах водоснабжения.

Таким образом, видно, что при строительстве магистрального трубопровода из полимеров есть технические проблемы. Во-первых, хотя пластмассовые трубы легче в 5–6 раз стальных, но они

также громоздки. Во-вторых, существующая практика не позволяет избежать многочисленных стыков на трубопроводе из полимеров, если диаметр таков, что трубу можно доставить на место укладки только в виде отрезков. Большое количество стыков на трубопроводе — это снижение надежности, много затрат времени и средств на соединение труб. В-третьих, прочность доступных по цене и технологически удобных термопластичных пластмасс, например полиэтилена или полипропилена, пусть даже усиленных полиэфирными нитями, недостаточна для работы в виде трубопровода увеличенного диаметра под давлением выше 4 МПа [9].

#### **Мобильные комплексы для строительства бесстыкового трубопровода**

Строительство магистрального трубопровода из полимеров без стыков возможно при создании мобильного комплекса для производства «бесконечной» трубы методом экструзии в полевых условиях — непосредственно на месте строительства трубопровода. Все технологические процессы для создания такого мобильного комплекса уже существуют. Нужно решить технические задачи для того, чтобы такие технологии и процессы работали согласованно. Например, технология непрерывной длительной экструзии полимеров уже есть, но только существует она в цехах предприятий и для относительно небольших труб и профилей. Кстати, экструзия словно специально создана для многодневного непрерывного технологического процесса. Беспрерывность производства на сырье одной марки гарантирует получение однородного продукта с постоянными параметрами качества.

Уже более 100 лет существует и развивается на кабельных за-

водах технология и оборудование для непрерывной оплетки различными лентами кабельной продукции. Есть технология беспрерывного охлаждения полимерных строительных профилей и труб, получаемых экструзией в стационарных условиях. На рынке есть модульные дизель-генераторы мощностью в сотни киловатт, которые можно использовать для снабжения комплекса электроэнергией. Существуют гусеничные тягачи с ходоуменьшителями, а также средства автоматизации, которые можно использовать для синхронизации скорости мобильного комплекса со скоростью выхода трубы из экструдера.

Для создания мобильного комплекса с целью производства бесстыкового магистрального трубопровода в полевых условиях необходимо следующее.

1. Снизить массу экструдера в 1,5–2 раза, особенно его станины, при одновременном увеличении его производительности. Для стационарного экструдера такая задача никогда не ставилась. Чтобы значительно уменьшить массу экструдера, для станины следует использовать не сталь или чугун, а высокопрочный алюминиевый сплав или углеродный композит. Для той же цели сделать привод экструдера гидравлическим, а электродвигатель с гидронасосом поставить на соседнюю платформу.

2. Обеспечить бесперебойную автоматическую пневмоподачу в экструдер гранул полимера из большой емкости на несколько тонн, установленной на отдельной платформе.

3. С целью уменьшения потерь воды разработать систему оборотного водоснабжения для регулирования температуры материальных цилиндров экструдера и интенсивного охлаждения производимой комплексом трубы. Для этого поставить сухую гра-

дирную систему Геллера–Форго на отдельной платформе.

4. Экструдер должен комплектоваться устройствами для многослойной оплетки трубы стекловолоконными лентами или жгутами (ровингом) с эластичной матрицей. Для этого использовать опыт и модернизированное оборудование из кабельной промышленности.

5. Снабдить мобильный комплекс дизель-генератором необходимой мощности.

6. Комплект оборудования разместить на колесных платформах и обеспечить движение комплекса гусеничным тягачом с ходоуменьшителем со скоростью, равной скорости выхода трубы из экструдера и укладки ее в траншею.

Значительное повышение прочности трубы достигается ее оплеткой в несколько слоев прочными лентами или жгутами (ровингом). Например, по нашим расчетам для увеличения рабочего давления до 10 МПа в магистральном трубопроводе диаметром 325 мм из полиэтилена с толщиной стенки 20 мм нужно увеличить прочность трубы до 14 250 Н на 1 см ее длины. Прочность обычного полиэтилена не учитывают, так как она невысока.

При увеличении прочности трубы оплеткой лентами или жгутами из стекловолокон с допустимой прочностью на разрыв 800 МПа, суммарное сечение волокна должно составить 18 мм<sup>2</sup> на 1 см длины трубы (без учета площади сечения матрицы). С учетом объема матрицы, защищающей волокна от влаги и повреждений, многослойная обмотка должна иметь толщину около 6–8 мм. Поскольку скорость выходящей из экструдера трубы невелика (порядка 1,2 м/мин), процесс непрерывной оплетки трубы можно решить технологически и конструктивно.

Сейчас существует широкий

выбор высокопрочных волокон и жгутов (ровингов) — стеклянных, базальтовых, полиамидных, арамидных, углеродных [10,11]. Высокопрочное стекловолокно имеет прочность на разрыв около 2 ГПа, однако попадание влаги на поверхность стеклянных волокон снижает их прочность. Поэтому они почти не применяются без защитной матрицы. Как было сказано ранее, в расчете толщины оплетки трубы из лент или стекловолоконных жгутов взято допустимое напряжение волокон при растяжении — 800 МПа. Конечно, прочность углеродных волокон выше прочности стеклянных, но углеродные волокна менее гибки вследствие высокого модуля упругости, а также более хрупки и стоят примерно в 10 раз дороже стеклянных.

Арамидные волокна имеют отличные физико-механические показатели, но стоимость их слишком высока для массового применения и сравнима со стоимостью углеродных волокон [12,13]. Главное преимущество стеклянных волокон при хороших показателях прочности и приемлемой цене состоит в том, что их объем производства в России превысил 100 тыс. т в год.

О методах значительного снижения массы экструдеров и других мерах для создания комплекса было сказано ранее. Мобильный комплекс при правильном проектировании и современной комплектации может непрерывно производить «бесконечную» трубу диаметром 325 мм со стенкой 20 мм и со скоростью 50

км/мес из полиэтилена высокой плотности, усиленной внешним армированием в виде многослойной оплетки стекловолоконными лентами или жгутами, на рабочее давление до 10 МПа. В этой связи видится целесообразным изготовление и применение в мобильных комплексах более производительных экструдеров для строительства бесстыковых магистральных трубопроводов диаметром до 500 мм из полимерных материалов на давление до 10 МПа [14, 15].

### Выводы

1. Освоенная в прошлые годы технология производства полимерных бесстыковых трубопроводов применима только для трубопроводов диаметром не больше 125 мм строительными отрезками до 150 м и с рабочим давлением до 4 МПа. Их неоспоримое преимущество перед стальными трубопроводами — они не подвержены коррозии и не нуждаются в электродуговой сварке. Благодаря этому уже существующие полимерные трубопроводы относительно небольшого диаметра снижают количество аварий и уберегут от ущерба природную среду.

2. Строительство бесстыкового магистрального трубопровода большого диаметра из полимеров возможно при создании мобильного комплекса для производства «бесконечной» трубы методом экструзии в полевых условиях, т. е. непосредственно на месте строительства трубопровода. Для создания такого компле-

кса отдельные технологические процессы и агрегаты в различных отраслях промышленности уже существуют. Для реализации мобильного комплекса при строительстве бесстыкового трубопровода диаметром 300—500 мм целесообразно провести НИОКР.

3. Стоимость строительства бесстыкового магистрального трубопровода из полимеров должна быть значительно ниже, чем стального, особенно за счет исключения трудоемких и ответственных сварочно-монтажных работ и уменьшения транспортных расходов. Насыпной полимер в гранулах намного проще доставлять к месту строительства, чем громоздкие и тяжелые стальные трубы. Это является решающим фактором при прокладке трубопроводов в отдаленных малонаселенных районах и в горной местности.

4. Недостатки полимерного магистрального трубопровода:

- есть ограничения в выборе термопластичного полимера при проектировании трубопровода для работы с горячей нефтью и в климатических условиях с очень низкими температурами;
- вандалоустойчивость полимерного трубопровода, лишенного должной грунтовой засыпки, ниже стального.

5. Вероятность разрушения бесстыкового магистрального трубопровода из термопластичных полимеров в районах с высокой сейсмичностью во много раз ниже, чем стального трубопровода.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика. М. : Наука, 1981. 495 с.
2. Мокроусов В. И. К вопросу об авариях магистральных нефтепроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 175–180.
3. Гумеров К. М., Козин И. В., Галютдинов А. А. Стресс-коррозия как основной источник опасности на магистральных газопроводах // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2004. № 63. С. 39–50.
4. Дудников Ю. В., Азметов Х. А. Экологическая безопасность подземных магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов при эксплуатации // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 2. С. 14–17.
5. Lim K. S., Azraai S. N. A., Noor N. M., Yahaya N. An

overview of corroded pipe repair techniques using composite materials [Обзор методов ремонта корродированных труб с использованием композитных материалов]. *World Academy of Science, Engineering and Technology // International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*. 2016. No. 10(1). Pp. 19–25.

6. Пепеляев В. С., Тараканов А. И. Полиэтиленовые трубы, армированные синтетическими нитями для нефтепромысловых трубопроводов // *Передовые нефтегазовые технологии*. 2006. № 9. С. 33–37.
7. Пепеляев В. С., Тараканов А. И. Выбор методики испытаний промысловых трубопроводов из полиэтиленовых армированных синтетическими нитями труб // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. 2007. № 3. С. 78–80.
8. Тараканов А. И. Обеспечение проектного положения промысловых трубопроводов из полиэтиленовых армированных труб ANACONDA™ // *Промысловые трубопроводы*. 2015. № 1. С. 32–35.
9. Тараканов А. И. Трубопроводы из полиэтиленовых армированных труб ANACONDA™ // *Энергетическая стратегия*. 2014. № 12. С. 32–34.
10. Hong Li, Cheryl R., Watson J. High-performance glass

fiber development for composite applications [Разработка высокоэффективного стекловолокна для композитных приложений] // *International Journal of Applied Glass Science*. 2014. No. 5[1]. Pp. 65–81. DOI:10.1111/ijag.12053.

11. Koltzenburg S., Maskos M., Nuyken O. Polymere: synthese, eigenschaften und anwendungen [Полимеры: синтез, свойства и применение]. Auflage, Springer Spektrum, 2014. 406 p.
12. Richards R. B. Polyethylene-structure, crystallinity and properties [Полиэтилен – структура, кристалличность и свойства] // *Journal of Applied Chemistry*. 2007. No. 8. Pp. 370–376.
13. Greif H., Limper A., Fattmann G., Seibel S. Technologie der Extrusion [Технология экструзии]. Munich, Carl Hanser Verlag, 2004. 235 S.
14. Osswald T. A. Understanding polymer processing: processes and governing equations [Понимание обработки полимеров: процессы и управляющие уравнения]. Munich, Carl Hanser Verlag, 2010. 290 S.
15. Kaiser W. Kunststoffchemie für Ingenieure [Химия пластмасс для инженеров]. Munich, Carl Hanser, 2011. 20 S.

#### REFERENCES

1. Kapitsa P. L. *Experiment, teoriya, praktika* [Experiment, theory, practice]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 495 p. (In Russian).
2. Mokrousov V. I. To the Issue of accidents of long-distance oil pipelines. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2015, no. 11-1, pp. 175–180. (In Russian).
3. Gumerov K. M., Kozin I. V., Galyautdinov A. A. Stress corrosion as the main source of danger on gas pipelines. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov*, 2004, no. 63, pp. 39–50. (In Russian).
4. Dudnikov Yu. V., Azmetov H. A. Ecological safety of underground long-distance oil and oil product pipelines during operation. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2012, no. 2, pp. 14–17. (In Russian).
5. Lim K. S., Azraai S. N. A., Noor N. M., Yahaya N. An overview of corroded pipe repair techniques using composite materials. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 2016, no. 10(1), pp. 19–25.
6. Pepelyaev V. S., Tarakanov A. I. Polyethylene pipes reinforced with synthetic threads for oil field pipelines. *Peredovye neftegazovye tekhnologii*, 2006, no. 9, pp. 33–37. (In Russian).
7. Pepelyaev V. S., Tarakanov A. I. Selection of test method for field pipelines made of polyethylene pipes reinforced with synthetic filaments. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*, 2007, no. 3, pp. 78–80. (In Russian).
8. Tarakanov A. I. Ensuring the design position of field pipelines from polyethylene reinforced pipes ANACONDA™. *Promyslovye truboprovody*, 2015, no. 1, pp. 32–35. (In Russian).
9. Tarakanov A. I. Pipelines made of polyethylene reinforced pipes ANACONDA™. *Energeticheskaya strategiya*, 2014, no. 12, pp. 32–34. (In Russian).
10. Hong Li, Cheryl R., Watson J. High-performance glass fiber development for composite applications. *International Journal of Applied Glass Science*, 2014, no. 5 [1], pp. 65–81. DOI:10.1111/ijag.12053.
11. Koltzenburg S., Maskos M., Nuyken O. Polymere: synthese, eigenschaften und anwendungen. Auflage, Springer Spektrum, 2014. 406 p.
12. Richards R. B. Polyethylene-structure, crystallinity and properties. *Journal of Applied Chemistry*, 2007, no. 8, pp. 370–376.
13. Greif H., Limper A., Fattmann G., Seibel S. Technologie der Extrusion. Munich, Carl Hanser Verlag, 2004. 235 S.
14. Osswald T. A. Understanding polymer processing: processes and governing Equations. Munich, Carl Hanser Verlag, 2010. 290 S.
15. Kaiser W. Kunststoffchemie für Ingenieure. Munich, Carl Hanser, 2011. 20 S.

Для цитирования: Федоров В. Т., Кокоев М. Н. Бесстыковый магистральный полимерный трубопровод с внешним армированием // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 1. С. 26–30. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.26-30.

For citation: Fedorov V. T., Kokoev M. N. Seamless Polymer Main Pipeline With External Reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2022, no. 1, pp. 26–30. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.26-30.