

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ

Самохин Е. Г., Белых И. С., Бурков П. В., Буркова С. П.

В статье приводится исследование прочности полиэтиленовых газопроводов с использованием программного комплекса ANSYS. Определены условия, обеспечивающие достаточные прочностные характеристики полиэтиленовых газопроводов для профилактики разрывов под воздействием различных нагрузок и дальнейшей рациональной эксплуатации.

Ключевые слова: полиэтиленовый газопровод; нагрузки; трещина; напряжения.

Полиэтиленовые трубы для подземных газопроводов предназначены для транспортирования горючих газов, предназначенных в качестве сырья и топлива для промышленного и коммунально-бытового использования. С каждым годом рынок полиэтиленовых труб растёт, применение полимерных материалов становится всё популярнее. Многие инженеры, проектировщики, строители считают, что пластиковые трубы – самый удобный строительный материал для транспортировки газа. Они экономически выгодны, износостойки, что позволяет использовать их в несколько раз дольше, чем стальные аналоги. Затраты труда при использовании полиэтиленовых труб в строительстве газопроводов меньше в три раза, чем при монтаже аналогичных стальных конструкций [1].

Перспективной областью применения полиэтиленовых труб являются территории горных выработок с возможными деформациями поверхностей, вызванными подземной эксплуатацией месторождений. В этом случае полиэтиленовые трубы, применяемые для строительства газопроводов, не требуют дополнительных компенсаторов. Они обладают большой устойчивостью к динамическим нагрузкам, подтвержденной практическим опытом, полученным в сейсмически активных странах, где полиэтиленовые элементы подземной инфраструктуры городов подвергаются значительно меньшим разрушениям в случае сейсмической активности по сравнению с остальными, чугунными или поли-

хлорвиниловыми [2].

Для сооружения промышленных трубопроводов в России используются преимущественно:

- трубы из полиэтилена низкого давления (ПНД);
- полиэтилена высокого давления (ПВД);
- полипропилена (ПП);
- суспензионного поливинилхлорида (ПВХ);
- стеклопластиков [3].

Целью данной работы является определение условий, обеспечивающих прочностные характеристики полиэтиленовых газопроводов для обеспечения их надежной и долговечной эксплуатации.

В процессе технологического цикла изготовления и эксплуатации трубопроводов из полимерных армируемых труб в них могут возникать нагрузки различного характера, которые в итоге приводят к формированию трещин и в дальнейшем к разрыву. Наиболее характерными являются нагрузки, связанные с технологическими режимами работы трубопровода. Во-первых, к ним относится расчетная квазистатическая рабочая нагрузка конкретного трубопровода. Во-вторых, в зависимости от применяемых насосов, задвижек в каждом трубопроводе могут возникать динамические нагрузки в виде импульсных, осциллирующих (колебательных) процессов движения жидкости в трубопроводе) и собственных колебаний жидкости на участке между запорными элементами [4].

Хрупкий разрыв сварных соединений полимерных материалов происходит, как прави-

ло, по шву и в зоне термического влияния, а также по границе грата с основным материалом, так называемой зоной сплавления [5], независи-

мо от вида конструкции. Такой тип разрушения наблюдается в полиэтиленовых трубопроводах при длительном воздействии напряжений [6].

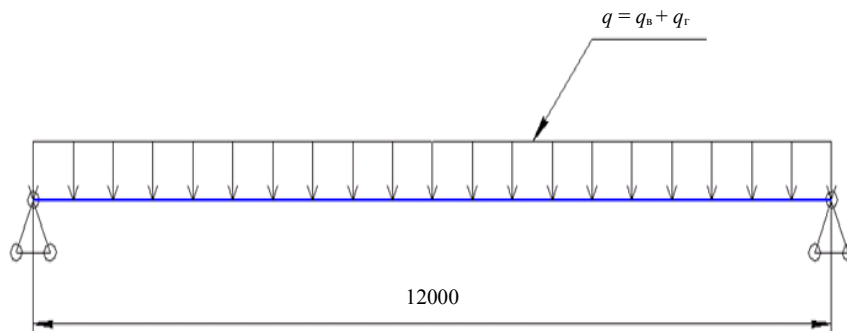


Рис. 1. Расчетная схема полиэтиленового газопровода [2]

Образование трещины длиной $a > 4,7d$ характеризует начало быстрого распространения трещин, в дальнейшем приводящих к

разрушению [7]. Рассмотрим пример. Размеры трещины: длина 1480,5 мм, глубина 3,2 мм. Трещина начинается в торцевой зоне. Целе-

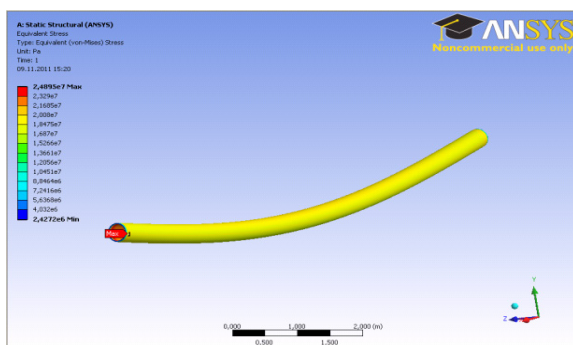


Рис. 2. Расчетные напряжения без трещины

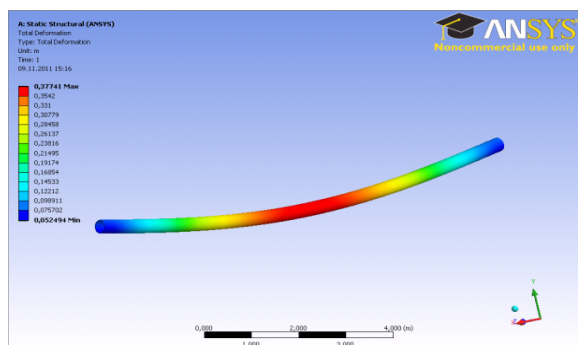


Рис. 3. Расчетные перемещения без трещины

сообразнее рассматривать и брать в расчет трубопровод 3 м, так как наибольшие напряжения и перемещения будут наблюдаться на

данном участке трубопровода, а напряжения на остальном участке будут изменяться незначительно, поэтому этим участком можно

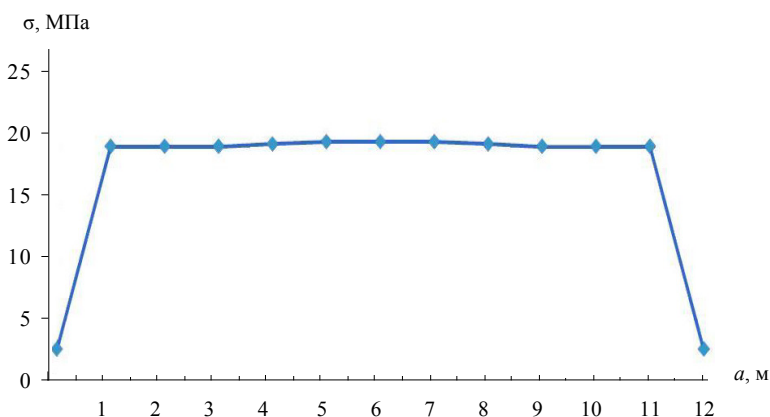


Рис. 4. Распределение напряжений по длине газопровода

пренебречь. Диаметр исследуемого газопровода 315 мм, толщина стенки 17,9 мм, рабочее давление в трубопроводе 2,5 МПа, температу-

ра окружающей среды 0 °С. Газопровод проходит над землей. Материал трубы – полиэтилен с механическими характеристиками: пре-

дел прочности $\sigma_b = 33$ МПа, предел текучести при изгибе $\sigma_T = 21,6$ МПа. На газопровод, кроме рабочего давления, действуют распределенные нагрузки q – от веса самой трубы q_b и перекачиваемого газа q_r , $q = q_b + q_r$ [8]. Для решения нашей задачи рассмотрим две модели [9]. Расчетная модель в среде ANSYS представляет собой участок трубопровода определенной длины. В модели 1 труба только введена в производство, на нее действуют нагрузки, указанные выше, трещины отсутствуют, в модели 2 на полиэтиленовой трубе

образована трещина максимального размера. Расчетная схема представлена на рис. 1.

Рассчитаем распределенную нагрузку:

$$q = q_b + q_r = (0,92 \cdot 10^{-3} \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_{вн}^2) \cdot g) + (10^{-2} P_a D_{вн}^2) = 2,144 \text{ кН/м},$$

где D_n – диаметр наружный, $D_{вн}$ – диаметр внутренний.

На основании экспериментальных данных была получена другая модель 1. Результаты расчета представлены на рис. 2 и 3.

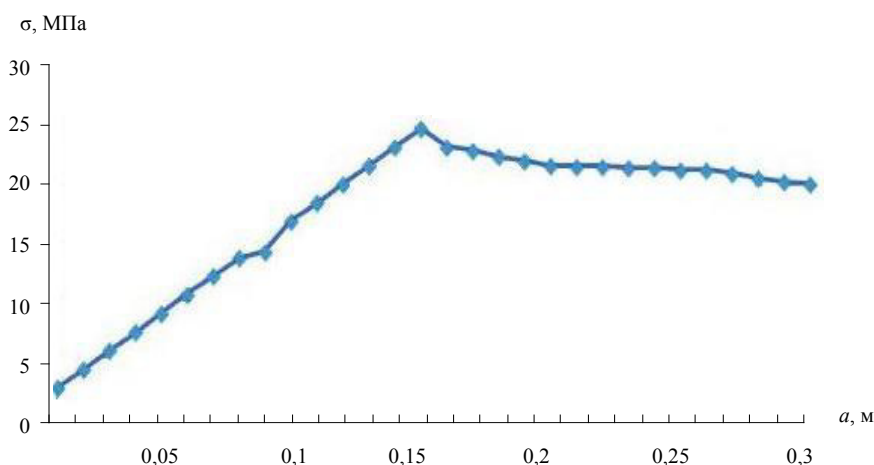


Рис. 5. Распределение напряжений на конкретном участке трубопровода

Распределение суммарных перемещений и напряжений, полученных в расчете, представлено на рис. 4–6.

Распределение суммарных перемещений и напряжений газопровода с трещиной, полученных в расчете, представлено на рис. 7–8.

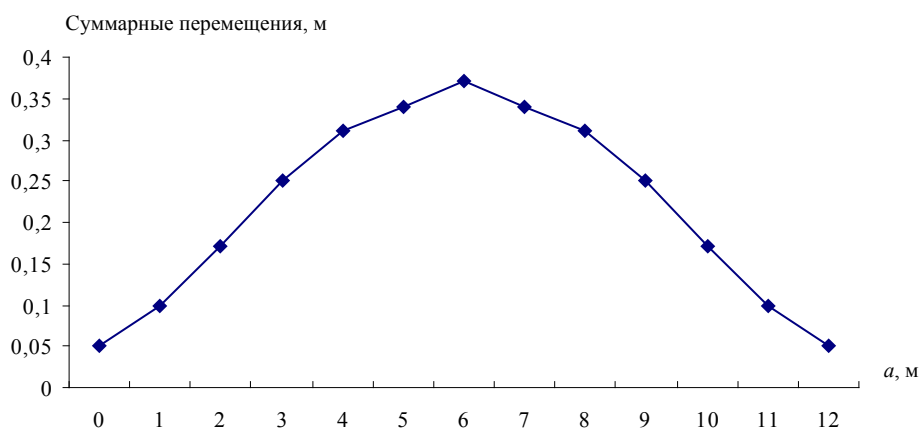


Рис. 6. Распределение суммарных перемещений по длине газопровода

Расчет показывает, что при отсутствии трещины напряженное состояние вполне соответствует техническим условиям (ГОСТ Р 50838-95) и может сильно увеличить сроки

службы трубопровода.

В случае реальной эксплуатации трубопровода на него действуют нагрузки, связанные с технологическими режимами работы

трубопровода, приводящие к образованию трещин. При достижении критической поврежденности трубы начинается устойчивый рост трещины, который приводит к дальнейшему разрушению. Расчётные напряжения превышают допустимые при образовании

трещины максимального размера.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

– на полиэтиленовом газопроводе без трещины максимальные напряжения будут приходиться на торцы трубы, суммарные пе-

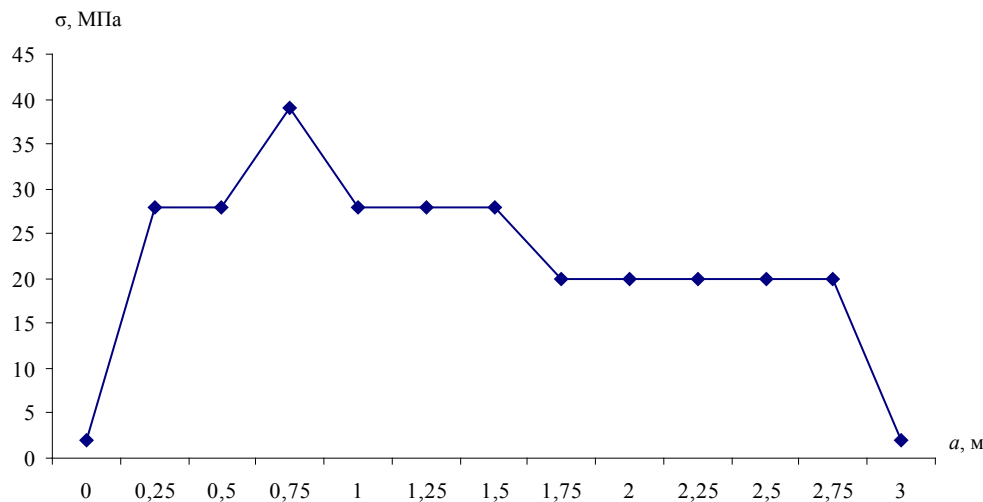


Рис. 7. Распределение напряжений по длине газопровода с трещиной

ремещения существенно зависят от действия распределенных нагрузок от веса самой трубы и перекачиваемого газа, наиболее опасное сечение находится на торцах полиэтиленово-

го газопровода;

– на полиэтиленовом газопроводе с трещиной максимального размера опасное сечение находится в центре трещины, здесь

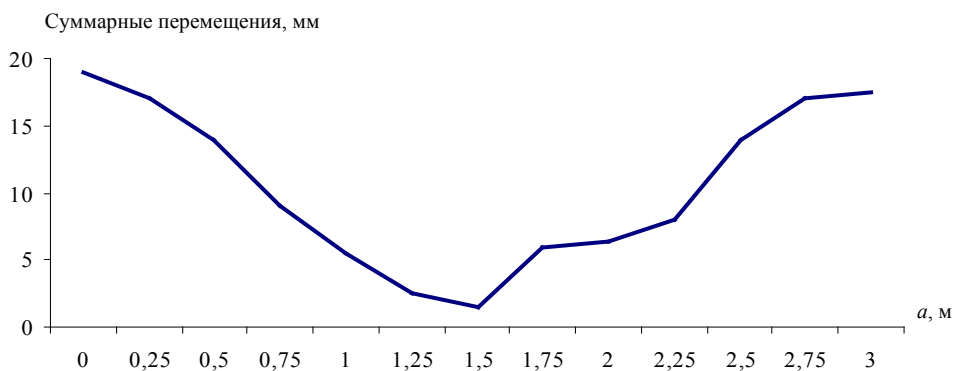


Рис. 8. Распределение суммарных перемещений по длине газопровода с трещиной

наблюдаются максимальные напряжения, которые превышают предел прочности и, следовательно, ведут к разрушению. А максимальные перемещения будут на торце, на котором начинается трещина;

– полученные результаты подтверждают, что при образовании трещины длиной $a > 4,7 d$

максимальное напряжение, действующее на трубопровод $\sigma_{\max} = 38,5$ МПа будет превышать предел прочности $\sigma_B = 33$ МПа. Поэтому желательно избегать нагрузок, возникающих в полиэтиленовом газопроводе, которые приводят к образованию трещин и дальнейшему разрыву, например с помощью компенсаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПолимерСтройСнаб. Полиэтиленовые трубы для газопроводов. URL: <http://prok-plus.ru>
2. Ноев Н. А., Бочкарев-Иннокентьев Р. Н., Аммосов А. П. Моделирование длительной прочности полиэти-

леновых газопроводов с учетом функциональных и нефункциональных воздействий // Газовая промышленность. 2009. № 4. С. 61–63.

3. Промысловые трубопроводы и оборудование: учеб. пособие для вузов / Ф. М. Мустафин [и др.]. М.: Недра, 2004. С. 57–62.

4. Клюпа А. Распределительные сети газа из полиэтиленовых труб в свете правовых положений Евросоюза // Газовая промышленность. 2005. № 6. С. 93–94.

5. Микроструктура качества стыковых сварных соединений полиэтилена / В. Д. Гринюк [и др.] // Автоматическая сварка. 1990. № 11. С. 23–26.

6. Кашковская Е. А., Кайгородов Г. К. Очаги разрушения сварных соединений полиэтиленовых трубопроводов // Автоматическая сварка. 1975. № 8. С. 23–26.

7. ГОСТ Р 50838-95 Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

8. СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы. Технические условия. М.: Госстрой, 1986.

9. Бурков П. В., Буркова С. П., Вертинская О. В. Исследование силовых факторов системы среда – трубопровод // ГИАБ. 2011. № 2. С. 153–157.

Поступила в редакцию 19 марта 2014 г.

Самохин Евгений Геннадьевич – студент. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. E-mail: bad-jeka@mail.ru

Белых Ирина Сергеевна – магистрант. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Бурков Петр Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры сварочного производства. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Буркова Светлана Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры сварочного производства. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.