



РАБОТО-

СПОСОБНОСТЬ

ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Валентина Зубанова, Валерий Сергеев, Владислав Коврига, Александр Сазонов

Способность полиэтиленовых труб сохранять работоспособность после сейсмических воздействий уже рассматривалась в нашем журнале. В статье «Полиэтиленовые трубы выдерживают землетрясения», опубликованной в №3/2006, приведены результаты анализа повреждений трубопроводов из различных материалов после сильных землетрясений в Кобе (Япония) в 1995 г. и в Сан-Франциско (США) в 1989 г.

Хорошие результаты, показанные полиэтиленовыми трубами, подчеркивают необходимость подробного анализа работы ПЭ труб в условиях землетрясе-

ния. Такой анализ был выполнен японскими специалистами [1, 2]. Для российского читателя представляют интерес три вопроса.

1. Анализ общей ситуации с использованием труб различных видов (ПЭ, ПВХ, сталь, чугун) в районах с повышенной сейсмической активностью.

2. Дополнительные проблемы прокладки линий водоснабжения, выявленные при анализе последствий землетрясения.

3. Методы оценки способности трубопровода сохранять работоспособность в условиях землетрясения.

Выбор между металлическими и полимерными трубами

До 1995 года ситуация с применением полиэтиленовых труб в Японии была примерно такой же, как в России сегодня. Основными материалами для производства труб водоснабжения были ковкий чугун и поливинилхлорид. Трубы из полиэтилена применялись, главным образом, для строительства трубопроводов диаметром до 50 мм, где их доля составляла только 14%.

По сравнению с европейскими странами это очень низкий показатель. Напомним, что в Европе в то время использовалось около 540 тыс. тонн ПЭ труб, из них приблизительно 200 тыс. тонн (37%) приходилось на водоснабжение. В Японии в 1995 г. было проложено приблизительно 110 тыс. тонн ПЭ труб, из них только 12 тыс. тонн (11%) использовалось в системах водоснабжения. В 1992 г. в общей массе полимерных трубопроводов доля ПЭ по отношению к ПВХ составляла в Японии только 9% (по весу), в то время как в Германии – 73%, в Англии – 49%, во Франции – 36%, в Италии – 74%, в среднем по Европе – 45% [1].

17 января 1995 г. произошло Большое Землетрясение Ханшин-Авадзи силой 7,2 балла с эпицентром, находящимся в 14 км от острова Авадзи в бухте Осака. От него сильно пострадал город Кобе: почти 6,3 тыс. погибших, около 43 тыс. раненых и около 440 тыс. разрушенных зданий [5]. На сетях водоснабжения зафиксировано около 1600 повреждений, из них около 20% пришлось на повреждения труб, 63% – на разгерметизацию соединений и 17% – на другие повреждения. Утечки воды из поврежденных труб оцениваются приблизительно в 90 тыс. куб. м. Это означает, что трубы из ковкого чугуна и ПВХ не обеспечили необходимой надежности. В то же время на водоводах из полиэтилена утечек замечено не было.

Результаты анализа разрушений трубопроводов, пострадавших при землетрясении Ханшин-Авадзи, стали причиной принципиального изменения подхода к строительству трубопроводных сетей в Японии. Трубы ПВХ и ковкого чугуна было решено заменить на трубы из полиэтилена, а в качестве основных методов монтажа применять автоматическую стыковую и муфтовую электрофузионную сварку.

Область применения ПЭ труб расширяется

Наряду с традиционным использованием в сетях водоснабжения были выделены другие перспективные области применения полиэтиленовых труб: подводные трубопроводы между островами, пожарные водоводы, трубопроводы, проложенные по мостам и др.

В состав Японии входит около 6900 островов, из них населены 330. Большинство островов испытывает дефицит пресной воды, и их водоснабжение представляет реальную проблему. В настоящее время

146 островов обеспечиваются питьевой водой по подводным водоводам. Требования к этим водоводам включают обязательное заглубление в морское дно (чтобы не создавать помех рыболовству), минимум соединений (ввиду сложности их ремонта) и меры по предотвращению всплытия труб. Специально для этих целей разработана многослойная композитная труба с внутренним слоем из полиэтилена, армирующим, утяжеляющим и защитными слоями. Труба производится непрерывным отрезком большой длины и доставляется к месту монтажа на барабане, установленном на барже. Самая длинная непрерывная труба, проложенная по дну, имеет длину 13 км, а максимальный диаметр подводного водовода – 400 мм. С 1975 по 1997 гг. с применением подобных труб было построено 70 водоводов общей длиной около 140 км.

Армированные трубы из полиэтилена также нашли применение в строительстве сетей водоснабжения на прибрежных и осушенных территориях, где применение стальных и чугунных труб осложняется большой подвижностью грунтов и их засоленностью, а также при прокладке пожарных трубопроводов по мостам. В частности, такие трубы с успехом применены в строительстве систем пожаротушения моста Хонсю-Сикоку длиной 12 км и самого длинного висячего моста Акаши-Кайкио длиной около 4 км. По обеим сторонам мостов установлены гидранты с интервалом 50-70 м, подключенные к полиэтиленовым армированным трубам диаметром 125 и 150 мм. Важными преимуществами полиэтиленовой трубы являются ее способность адаптироваться к колебаниям и температурным изменениям длины моста, а также простота обслуживания. Помимо этих сверхдлинных мостов полиэтиленовые трубы широко применяются и на обычных мостах, благодаря таким своим качествам, как малый вес, быстрота монтажа и простота обслуживания. В холодных районах для этих целей используют теплоизолированные полиэтиленовые трубы.

Методы оценки работоспособности ПЭ трубопроводов при землетрясениях

Наряду с анализом поведения рабочих сетей в ходе землетрясения были проанализированы и технические требования, которые необходимо предъявлять к трубам, прокладываемым в районах сейсмической активности. Важнейшее из этих требований – это восприятие смещения величиной 5 см при любой длине заземления, которое определено требованиями к проектированию сейсмоустойчивых сооружений в директиве по сейсмическим проектам [3].

Данные по смещению были проверены экспериментально на образцах труб с фитингами и сварными соединениями при температуре –5°C и 23°C. Испытания проводились на испытательной машине Autograph фирмы Shimanzu Corporation при скорости растяжения 500 мм/мин. Для образцов были использованы отрезки полиэтиленовых труб номинальным диаметром 30 мм и 50 мм длиной 21 см (в этом случае



по 10 см с каждого конца закреплялись, и растяжению подвергался участок трубы длиной всего 1 см), 18 см и 24 см (минимально допустимые расстояния между фитингами для труб номинальным диаметром соответственно 30 мм и 50 мм).

Кроме того, были проведены испытания с высокими скоростями растяжения – 1 м/с и 5 м/с. Эти испытания проводились при температуре около 20°C на образцах диаметром 50 мм длиной 21 и 24 см.

Кроме того, проводились гидростатические испытания труб, подвергшихся деформации растяжения. Для образцов труб величины деформации составляли 15%, 20%, 25%, 35%, 50% и 65%, для образцов труб с электрофузионным соединением – 25%. Температура испытаний была 80°C и 90°C.

Испытания показали, что деформация, ведущая к разрушению трубопровода, развивалась на самой трубе, а не в зоне соединения. При высокоскоростных испытаниях со скоростью 1 м/сек и температуре -5°C удлинение образцов длиной 24 см составляло около 9 см. При увеличении скорости до 5 м/сек, напряжение выросло в полтора раза, а удлинение в момент разрушения образца практически не изменилось.

Рентгеноструктурный анализ образцов деформированных труб показал наличие анизотропии, обусловленной ориентацией молекул. Исследование под электронным микроскопом показало наличие молекулярной ориентации в направлении растяжения.

Отмечено что в процессе деформации происходит уменьшение поперечного сечения трубы. Полное удлинение в момент разрушения составляет 700% и более. В начале пластической деформации предел текучести снижался с 20 МПа до 17 МПа. В ходе гидравлических испытаний образцы труб, подвергшиеся растяжению на 50-60%, разрушились в тонкостенной части. Расчет разрушающих напряжений показал, что они находились на уровне предела текучести. При деформации, не превышающей 35% хрупкое разрушение не происходило в течение 10 000 часов.

Отмечено, что трубы выдержали деформацию в пределах 5 см, которые были предписаны директивой [3]. Согласно обзору Японской газовой ассоциации [4], вероятность смещения 9 см и более составляет 0,00312%. Поэтому число отказов на трубах, которые могут произойти при землетрясениях, определяется общим количеством фитингов на ПЭ трубопроводе, умноженном на вероятность использования самой короткой трубы из ПЭ, равной расстоянию между фитингами и умноженную на вероятность 0,00312.

Другая система оценки сейсмостойкости ПЭ труб была предложена специалистами НИИ сейсмостойкого строительства. В лаборатории по сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко ФГУП НИЦ «Строительство» проводились испытания системы трубопровода по специальной программе на модели из полиэтиленовых труб (ПЭ 80, ПЭ 100), фасонных частей к ним и узлов соединений, установленных на специально подготовленном вибростенде и виброплатформе ВП100. Подробный отчет об испытаниях публикуется в этом номере журнала (см. «9 баллов – это не предел» на стр. 64).

На основании полученных в результате испытаний данных и их анализа авторы сделали вывод, что ПЭ трубы, фасонные части к ним и их соединения могут быть рекомендованы к применению для строительства магистральных трубопроводов среднего и низкого давления в сейсмических районах Российской Федерации на площадках до 9 баллов по шкале MSK-64.

На основании полученных результатов видно, что для оценки сейсмостойкости ПЭ труб предлагаются два принципиально различных подхода: материаловедческий и основанный на испытании конструкции. Очевидно, что подходы не противоречат друг другу, а наоборот, позволяют повысить надежность сделанных в ходе экспериментов заключений о работоспособности ПЭ труб в сейсмически активных районах.

Список литературы

1. Hisachika Honda. The Evolution and Present State of Polyethylene Water Pipes in Japan. – Plastic Pipes X, 14-17.09.1998, Goeteborg, Sweden.
2. H.Nishimura, H.Maeba, T.Ishikawa, H.Ueda. Plastic Deformation Behavior of Polyethylene Pipes under Displacements. – Plastic Pipes X, 14-17.09.1998, Goeteborg, Sweden.
3. Guidelines for Aseismic Designs of Gas Pipelines. – Japan Gas Association, 1982.
4. The New Age of Pipelines (New Version). – Japan Gas Association and Polyethylene Gas Pipes Association, 1996.
5. Damages Caused to Facility Systems by the Great Hanshin-Awaji Earthquake and Evaluation. – Special Committee on Research of Damages by the Great Hanshin-Awaji Earthquake. Jan.1996.