

ГЛАВА 6. ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В РЕКАХ И КАНАЛАХ. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

6.1. Пути совершенствования подводных переходов магистральных трубопроводов в народном хозяйстве (Карапетян М.А., Мочунова Н.А., Пряхин В.Н.)

Трубопроводный транспорт газа, нефти и нефтепродуктов является основным средством доставки этих продуктов от мест добычи, переработки или получения к местам потребления.

При этом пересечения водных преград магистральных труб магистральными трубопроводами чаще всего решается путём строительства подводных переходов. Подводным переходом называется ГТС одного или нескольких трубопроводов, пересекающая водные преграды, при строительстве которого применяются специальные методы производства подводно-технических работ.

На рисунке 6.1 представлен состав подводного перехода.

При эксплуатации подводного перехода необходимо учитывать особенности эксплуатации технического состояния перехода.

При этом особенностями эксплуатации переходов являются:

- наличие пунктов технического обслуживания;
- эффективность работы станции электрохимической защиты;
- стабильность перекачки;
- характер выполнения технического обслуживания и ремонта;
- работы перехода с включёнными одной или несколькими нитками.

Техническое состояние подводного перехода определяют:

- уровень качества проектирования и дефекты строительного перехода;
- параметры и техническое состояние перехода соответствует установленной проектной нормативно - технической документации;
- оголения трубопровода;

- повреждение стенки трубопровода без потерь герметичности;
- нарушение состояния футеровки и изоляции;
- состояние берегоукреплений.

Рассмотрим возможность вероятной оценки аварийной ситуации подводных переходов магистральных газопроводов в зависимости от гидрологического режима рек.

Развитая газотранспортная сеть России на обширной территории страны с исключительно густой сетью рек и других водных объектов обусловили наличие множество подводных переходов магистральных газопроводов (ППМГ). Их количество и важность в плане безопасности жизнедеятельности населения и возможности значительных экономических ущербов для ряда отраслей народного хозяйства обусловили необходимость рассмотрения функционирования ППМГ как самостоятельного специфического водопользователя.



Рисунок 6.1 – Основные конструктивные элементы подводного перехода

Подводный переход магистрального газопровода представляет собой участок линейной части магистрального газопровода, пересекающий водную преграду и уложенный, как правило, с заглублением в дно водоема (реки, озера, канала, водохранилища и т.д.). Переход включает в себя одну или несколько ниток трубопровода, выполненных с соблюдением специфических требований строительных норм и правил, учитываемых при его проектировании и эксплуатации.

Многолетний опыт эксплуатации ППМГ показывает, что аварийные ситуации возникают по нескольким основным причинам, обусловленными естественными факторами природных условий объектов, а также техническими характеристиками [117]. Одной из основных причин неисправности и аварийности ППМГ является размыв защитного слоя грунта, находящегося сверху трубопровода. При этом основным действующим фактором этого процесса является донная размывающая скорость потока. Описанию этого явления были посвящен ряд исследований.

Целью настоящей работы является разработка методики вероятностной оценки возникновения неисправности (аварийной ситуации) ППМГ в зависимости от гидрологических характеристик рек, в частности, от скорости их течения. Были поставлены следующие задачи:

- оценка вероятностных характеристик максимальных расходов рек;
- оценка вероятностных характеристик скоростей течения рек;
- расчет повторяемости наступления неисправного состояния ППМГ

из-за превышения не размывающей средней скорости потока.

Известно, что максимальные скорости течения рек наблюдаются в период весенних половодий и летних паводков. Большинство ППМГ Российской Федерации находятся в природных зонах, где максимальные расходы весеннего половодья превышают максимальные расходы дождевых паводков практически на всех (в том числе - даже на малых) водотоках. Продолжительность высоких половодий и скоростей, превышающих донную не размывающую скорость, также значительно превышает продолжительность паводков. Таким образом,

периодом наибольшего риска выхода ППМГ в неисправное состояние в результате воздействия естественных факторов является период весеннего половодья. Достаточно объективными характеристиками половодья можно считать его максимальный расход и соответствующие ему среднюю скорость или донную скорость реки. Сетевые гидрологические наблюдения и нормативные расчеты позволяют оценить в значениях вероятности превышения, как самих конкретные величины расходов воды, так и соответствующие скорости течения реки, в частности, вероятность превышения допустимых размывающих скоростей потока. Сам расход воды (Q) по определению является произведением средней скорости (V_{cp}) потока на площадь его поперечного сечения (Ω):

$$Q = \Omega \cdot V_{cp} \quad (6.1)$$

При известных определяемых значениях расходов и уровней воды на реках посредством установленных хронологических измерений в системе Гидрометслужбы или в других ведомствах можно определить площадь поперечного сечения реки, а из формулы (6.1) определить среднюю скорость и сравнить ее с размывающей средней скоростью грунта, закрывающего трубы ППМГ [61, 114].

Согласно требованиям, при выполнении вероятностных расчетов максимальных расходов воды использовалось трех параметрическое гамма распределение Крицкого и Менкеля.

В гидрологических расчетах принято рассматриваемое распределение характеризовать помимо среднего значения наблюдаемых величин значениями коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s), определяемых методами, изложенными в [57]. В соответствии с требованиями этого документа были определены средние значения модуля максимального стока, C_v и C_s для пунктов наблюдений Гидрометслужбы, ближайших к створам ППМГ ряда судоходных рек Российской Федерации. По полученным значениям были построены интегральные функции распределения вероятностей максимальных расходов воды для створов рек ППМГ. При этом расход воды (Q , м³/с) определялся как

произведение модуля максимального стока (q , $м^3/с \cdot км^2$) относительно ближайшего к расчетному створу водомерного поста Гидрометслужбы и площади речного бассейна относительно самого створа ППМГ (A , $км^2$). Такая функция (в гидрологии - кривая вероятности превышения значений или кривая обеспеченности) представлена на рисунке 6.2 для реки Оки (пункт Коломна).

После определения зависимостей расходов воды, средних скоростей течения и площадей поперечного сечения створа реки от уровня воды - $Q(H)$, $V_{cp}(H)$ и $\Omega(H)$, были построены интегральные функции распределения вероятностей средних скоростей потока (рисунок 6.3). Необходимо заметить, что сглаженной функции при этом не получается, поскольку на зависимость $V_{cp}(Q)$ влияют особенности створа реки (сочетания форм русла и поймы) и различие гидравлических и морфометрических характеристик на спаде и на подъеме половодья, которые влияют на зависимости $Q(H)$, $V_{cp}(H)$ и $\Omega(H)$.

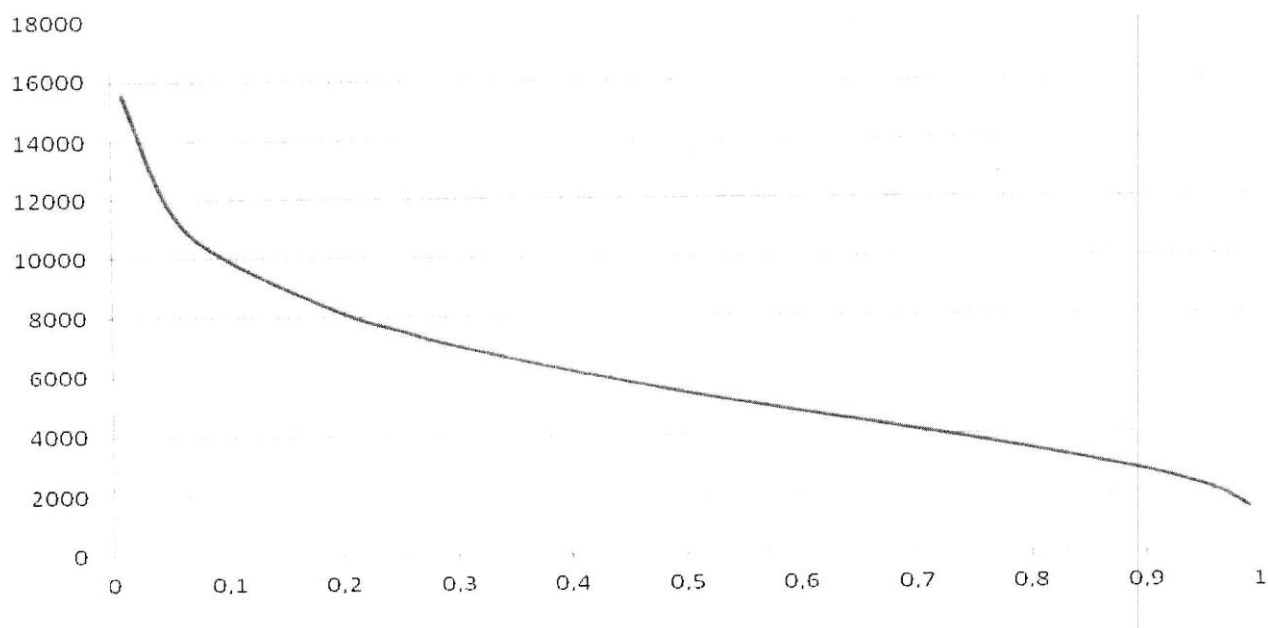


Рисунок 6.2 – Кривая функции ежегодной вероятности превышения расходов воды реки Оки в створе ППМГ у г. Коломна

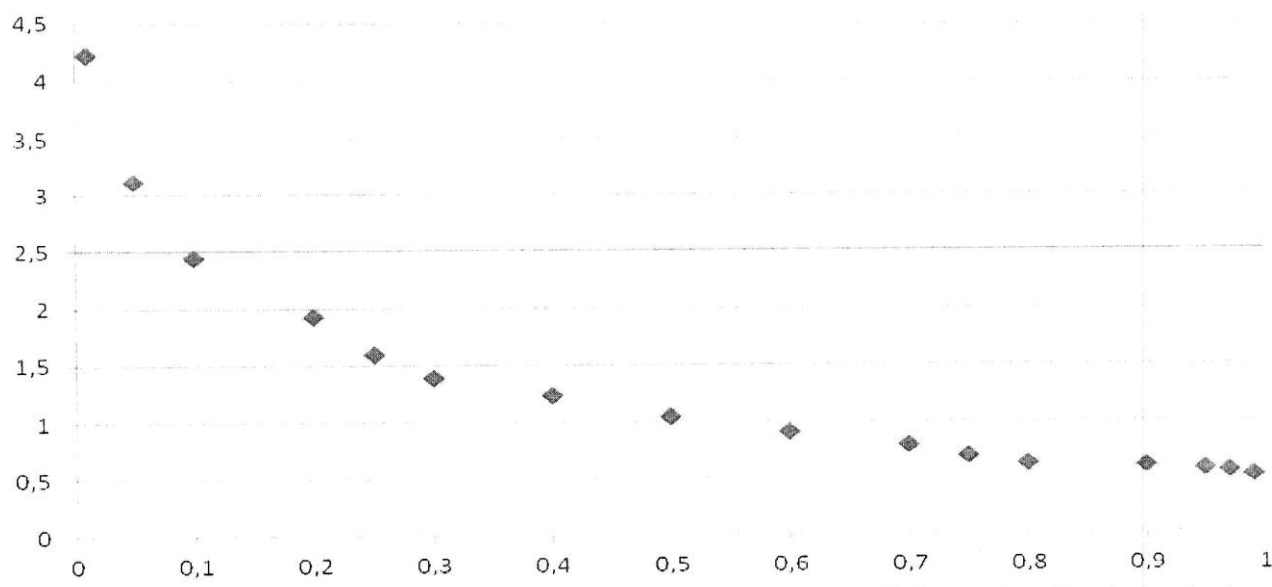


Рисунок 6.3 – Эмпирические ежегодные вероятности превышения средних скоростей потока воды реки Оки в створе ППМГ у г. Коломна

Размывающая средняя скорость потока при средних его глубинах более 3 метров составляет примерно 1,4 м/с. При такой размывающей скорости практически неизбежно происходит интенсивное переформирование русла и, следовательно, размыв искусственной насыпи над трубой, что может привести к ее оголению, что считается опасным состоянием и предвестником аварии (аварийной ситуацией). Как видно из рис.2 ежегодная вероятность превышения допустимой скорости соответствует примерно величине 0,35. Для большинства рассмотренных створов ППМГ ежегодная вероятность превышения размывающей средней скорости потока оказалась в пределах 0,35 - 0,55 [116].

Вопрос о повторяемости превышения такой величины (то есть, как часто эта величина может превышать) решался на основе формулы:

$$P^* = 1 - (1 - P)^n \quad (6.2),$$

где P - ежегодная вероятность превышения величины (обеспеченность); P^* - вероятность превышения величины (повторяемость превышения) за n совместных лет.

Таким образом получаем, что при ежегодной вероятности превышения размывающей скорости $P=0,35$ практически размыв будет происходить в

среднем не реже чем один раз в 8 лет с вероятностью 0,95 (95%), а при 0,55 - не реже, чем один раз в 4 года. Следовательно, при принятии вероятностного 95%-го уровня, по регламенту ремонтных работ следует их планировать исходя из основного природного фактора - не реже чем один раз в 4 года. Однако следует заметить следующее.

1. В какой год попадет случай размыва не известно.
2. В какой-то четырехлетке может не быть случаев размыва вообще, но при этом в другой четырехлетке - 2 случая и т.п.
3. Следует подчеркнуть, что для различных рек вероятностные показатели размывающих скоростей различны, но исходя из рис. 2 и 3 им в соответствие можно поставить критический («сигнальный») расход воды, при котором непременно будет существенный размыв дна с возможным оголением трубы.

Тем не менее финансовый расчет затрат на обследование ППМГ может рассчитываться из значения средней повторяемости превышения размывающих скоростей потока при принятии вероятностного 95%-го уровня.

Поскольку оперативная гидрологическая информация с постов гидрологических наблюдений Гидрометслужбы или других ведомств - вполне доступна, то можно определить «сигнальное значение» максимального расхода, при котором превышает не размывающая средняя скорость течения реки. После прохождения такого максимального расхода воды весеннего половодья, следует проводить инструментальное обследование состояния ППМГ. Это можно делать в год прохождения половодья - в летнюю межень.

Большая значимость ППМГ для безопасности жизнедеятельности населения РФ обусловили рассмотрение вопросов эксплуатации строительства перехода, во многом определяющих правила использования водных ресурсов и природообустройство прилегающих ландшафтов.

При этом ППМГ через водные объекты является весьма Сабине специфическими инженерными сооружениями и сложными природно-техническими комплексами. Эксплуатации этих трубопроводов сопряжена с

многофакторными рисками их повреждения, несущими угрозу экологической безопасности природных комплексов и значительные экономические риски, связанные с необходимостью бесперебойной поставки углеводородного сырья потребителю.

Качественное системное видение мониторинга за такими подводными переходами и факторами, влияющими на их состояние, должно обеспечивать надежность и рентабельность эксплуатации, в частности способствовать более эффективному планированию ремонтных и профилактических работ на ППМГ.

В результате проведенных исследований было предложено математическое обоснование эффекта надежности и безопасности в результате внедрения в отрасль новой методики комплексной автоматизации оценки ТС ППМГ, в рамках которой реализована новая автоматизированная система «Подвод Газ Эксперт», с помощью основанного показателя теории надежности – средней наработки на отказ T_0 :

$$T_0 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt, (6.3)$$

где t - произвольное время, отчитываемое от начала эксплуатации объекта до перехода его в аварийное состояние;

$f(t)$ – плотность вероятности случайной наработки на отказ

При этом величина T_0 измеряется в единицах времени.

На программно-аппаратном комплексе электронно-вычислительного центра Международной Академии экологической безопасности и природопользования (МОАЭБП) проведено испытание новой методики комплексной автоматизированной оценки технического состояния (ТС) подводного перехода магистрального газопровода (ППМГ).

Испытание проводилось в два этапа:

1. Произведен хронометраж работы аналитика по определению ТС одной нитки ППМГ без использования методики комплексной автоматизированной оценки ТС ППМГ по алгоритму, соответствующему согласно основным руководящим документам отрасли.

2. Произведен хронометраж работы аналитика по определению ТС одной нитки ППМГ с использованием новой комплексной автоматизированной оценки ТС ППМГ по оригинальному алгоритму, составленному при разработке схемы.

Согласно полученным результатам общее время определения ТС одной нитки ППМГ без использования новой методики составило: 151 мин.23 сек. Или 2 ч.31 мин. 23с., а общее время определения ТС одной нитки ППМГ с использованием методики 24 мин. 58 с. Или 0ч. 24 мин.58 с.

Получив реальные значения времени показателей, подсчитываем коэффициент эффективности внедрения в отрасль новой методики.

Так как отказ объекта может произойти в момент времени, затрачиваемого на процесс определения ТС ППМГ, то в формуле

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\alpha \cdot t} dt, \quad (6.4)$$

в которой e – длительность наработки объекта на отказ;

t – время, затраченное на процесс определения ТС ППМГ.

При этом $t = 151 \text{ мин.} 23 \text{ с.} = 2,52 \text{ ч.}$;

$t^1 = 24 \text{ мин.} 58 \text{ с.} = 0,42 \text{ ч.}$

Соответственно

$$B = \frac{T_0^1}{T_0} = \frac{e^{-\alpha \cdot 0,42}}{e^{-\alpha \cdot 2,52}} = 8,18, \quad (6.5)$$

т.е. средняя наработка на отказ в случае внедрения новой АС «Подвод Газ Эсперт» выше в 8,18 раз, чем средняя наработка на отказ в случае без использования новой «Подвод Газ Эсперт».

Таким образом, процесс определения ТС одной нитки ППМГ при помощи новой автоматизированной системы в 8,18 раз эффективнее существующего на сегодняшний день в отрасли.