

УДК 621.644.07

БЛОК-СХЕМА НАДЕЖНОСТИ ЕДИНИЧНОГО УЧАСТКА СТАЛЬНОГО
ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА
BLOCK DIAGRAM OF THE RELIABILITY OF A SINGLE SECTION
OF A STEEL UNDERGROUND PIPELINE

Струцкий Н. В., зам. начальника управления систем газоснабжения,
ГПО «Белтопгаз», г. Минск, Беларусь
Романюк В. Н., д-р техн. наук, профессор,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
N. Strutsky, Deputy Head of the Department of Gas Supply Systems,
Beltopgaz SPA, Minsk, Belarus
V. Romaniuk, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. Представлены блок-схемы надежности стального подземного трубопровода в различных вариантах подземной прокладки. Данные блок-схемы применимы при расчетах надежности ряда инженерных коммуникаций: теплотрасс, нефте- и газопроводов, и т. д.

Abstract. The block diagrams of the reliability of a steel underground pipeline in various variants of underground laying are presented. These block diagrams are applicable in calculating the reliability of a number of engineering communications: heating mains, oil and gas pipelines, etc.

Ключевые слова: трубопровод, блок-схема надежности, изоляция, электрохимическая защита, балластировка.

Key words: pipeline, reliability block diagram, insulation, electrochemical protection, ballasting.

ВВЕДЕНИЕ

На современном уровне развития, расчет надежности является обязательным этапом при проектировании и диагностировании (в процессе эксплуатации) любых технических систем. В основе надежностного расчета, в явном или неявном виде, всегда лежит модель рассчитываемого объекта.

К одним из наиболее распространенных технических систем в мире относятся стальные трубопроводные коммуникации в подземном исполнении (теплопроводы, магистральные и распределительные нефте- и газопроводы, и пр.). Соответственно, моделирование надежности таких технических систем и их составных частей представляет большой теоретический и практический интерес.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим типовой элемент трубопроводной системы – участок трубопровода, состоящий из некоторого ограниченного количества стандарт-

ных заводских труб с монтажными сварными соединениями. Условимся, что данный участок однороден по техническим характеристикам, условиям эксплуатации и имеет определенные параметры надежности.

Являясь элементом для построения сложных пространственных структур (сетей), такой единичный трубопровод, в рамках системного подхода, в свою очередь также может рассматриваться как система. Более того, его вполне корректно отнести к сложным техническим системам (СТС), то есть, системам, поведение которых сложно моделировать из-за сложных зависимостей между их частями или из-за сложных взаимодействий между данной системой и окружающей средой [1].

Так, стальные подземные трубопроводы должны быть защищены от коррозии. Как правило, это комплексная защита: антикоррозийное изоляционное покрытие отделяет поверхность трубы от агрессивной внешней среды, а электрохимическая защита (ЭХЗ) максимально подавляет коррозионный процесс в местах, где электрический контакт между трубой и грунтом все же возник.

Как вариант, подземные трубопроводы (например, теплопроводы) могут изолироваться от внешней среды с помощью прокладки в каналах (лотках). Также теплопроводы, во избежание потерь тепла, обеспечиваются тепловой изоляцией.

На обводненных участках и участках подводных переходов трубопроводы, в которых транспортируемая среда легче воды (газ, нефть), могут оборудоваться пригрузами (утяжелителями), для закрепления в проектном положении.

В местах пересечения с транспортными и некоторыми смежными коммуникациями на трубопроводах устанавливаются защитные футляры.

Таким образом, стальной трубопровод включает в себя ряд элементов, каждый из которых исполняет самостоятельную функцию, и имеет свои, специфические физические свойства и конструкцию. Проанализируем характер влияния перечисленных элементов на общую надежность трубопровода, а также целесообразность их выделения и включения в надежностную модель.

Поскольку при строительстве должна обеспечиваться равнопрочность металла сварного соединения и основного металла трубы, на данном уровне рассмотрения допустимо объединить их в один элемент.

Коррозионный фактор несет основную опасность для стального подземного сооружения. Соответственно, состояние и работа элементов антикоррозийной защиты стального трубопровода оказывают определяющее влияние на его надежность. Таким образом, данные элементы должны присутствовать в модели в обязательном порядке.

Затопление или занос канала (лотка) грунтом значительно ухудшает коррозионную ситуацию, что также должно учитываться. В свою очередь, состояние теплоизоляции (выполняемой, как правило, из гидрофильных материалов) на коррозионные процессы влияния не оказывает.

Функциональный отказ балластировки повлечет за собой изменение пространственного положения трубопровода и возникновение напряженно-деформированного состояния, поэтому данный элемент (при наличии) должен включаться в модель надежности.

Футляры на трубопроводах в большей степени предназначены для защиты пересекаемых транспортных и инженерных коммуникаций от вредного или даже опасного (например, в случае выхода горючего газа) воздействия транспортируемой среды. Вместе с тем, участки переходов под железнодорожными путями, магистральными автомобильными трассами могут подвергаться повышенным механическим нагрузкам. В таком случае футляр будет необходим для придания конструкции дополнительной прочности, и также должен учитываться при моделировании.

Сгруппируем элементы трубопровода по степени влияния на общую надежность и функциональному назначению. Тогда модель трубопровода будет включать один основной элемент – трубу, и два возможных блока вспомогательных элементов для защиты от коррозии и механических напряжений:

Основной элемент – труба.

Вспомогательный блок I:

- антикоррозийная изоляция (гидроизоляция);
- электрохимзащита (ЭХЗ);
- канал (лоток).

Вспомогательный блок II:

- футляр;
- балластировка.

Следует отметить, что такой элемент как канал обеспечивает защиту трубопровода одновременно от коррозионного и механического воздействия внешней среды, поэтому может быть включен в оба вспомогательных блока элементов с одинаковым основанием.

Наиболее распространенным способом визуального представления надежностной модели технической системы является построение блок-схемы надежности (reliability block diagram, RBD).

Блок-схемы относятся к статическим моделям надежности, в рамках которых состояния системы определяются наборами работоспособных и неработоспособных элементов в определенный момент времени. Те элементы, отказ которых вызывает отказ системы, имеют на схеме последовательное соединение, элементы, отказ которых приводит лишь к увеличению вероятности отказа, соединяются параллельно. При параллельном соединении элементов отказ системы происходит лишь при совмещении отказов частей системы [2].

Различные варианты блок-схем для стального подземного трубопровода показаны на рис.

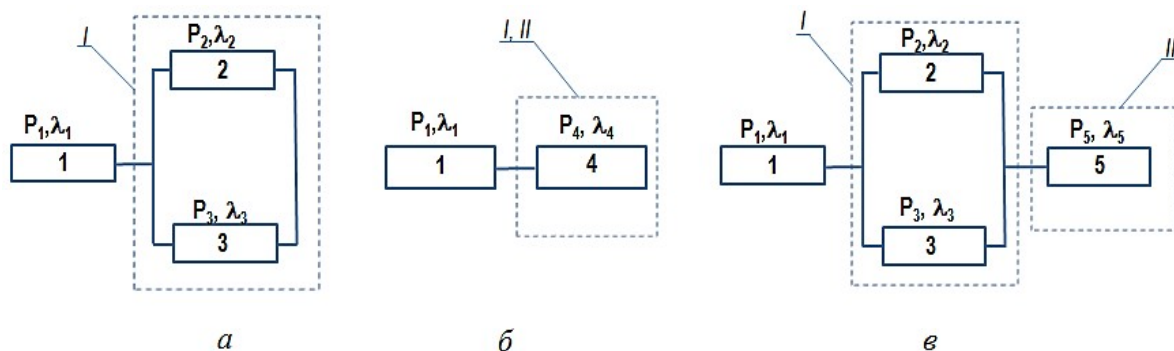


Рис. Блок-схемы стального подземного трубопровода:
 I – труба; 2 – изоляция; 3 – ЭХЗ; 4 – канал; 5 – балластировка

Как видно, для стального подземного трубопровода, учитывая набор и характер связей составляющих элементов, как правило, будет характерна последовательно-параллельная структура.

Полученные блок-схемы принципиально наиболее близки к варианту, предложенному А. М. Зиневичем в работе [3] для моделирования надежности магистральных газопроводов. Вместе с тем, подход указанного автора, предполагающий включение в модель трубопровода в качестве его элементов траншеи и грунта достаточно спорен – они все же являются частью эксплуатационной среды.

Представляется, что предлагаемые блок-схемы единичного трубопровода в настоящем виде более соответствуют реальной структуре моделируемого объекта, а также позволяют учесть конструктивные особенности трубопроводных коммуникаций различного назначения.

Так, например, вариант *а* на рис. отражает структуру единичного участка стального нефте- и газопровода, теплопровода бесканальной прокладки; вариант *б* – теплопровода канальной прокладки; вариант *в* – нефте- и газопровода с балластировкой.

Подобные статические модели позволяют рассчитать общую надежность системы по надежности составляющих ее элементов обычным способом, используя показатели вероятности безотказной работы P либо интенсивности отказов λ .

Безусловно, несмотря на очевидность метода блок-схем для понимания и применения, он имеет свои ограничения. Так, например, даже одновременный отказ антикоррозийной изоляции и средств ЭХЗ в действительности не означает немедленного и безусловного отказа стального трубопровода. Как правило, коррозионный процесс не начинается сразу в момент повреждения изоляции, ему предшествует инкубационный период, зависящий от ряда факторов. В некоторых случаях продолжительность инкубационного периода может превысить срок эксплуатации объекта (или коррозионный процесс будет иметь пренебрежимо малую скорость), тогда отказ не наступит.

Вместе с тем, очевидно, что в общем случае отказ средств защиты значительно снизит надежность стального трубопровода. Таким образом,

вероятностная задача расчета параметров надежности трубопровода не может быть исчерпывающе решена только в рамках статической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, представленные блок-схемы надежности единичного стального подземного трубопровода в различных вариантах прокладки в дальнейшем могут быть использованы при проведении оценки надежности таких трубопроводных коммуникаций как теплопроводы, нефте- и газопроводы на стадии проектирования, и в процессе эксплуатации (на этапе технического диагностирования).

Вместе с тем, учитывая реальную сложность такого технического объекта, как стальной подземный трубопровод, для полной и адекватной оценки его надежности целесообразно использовать многоуровневое моделирование с применением статического и динамического методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В. Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 3 (20) – С. 86–92.
2. Справочник по надежности, под ред. Якименко Л. – Т. 3. – М.: Мир, 1970. – 376 с.
3. Зиневич А. М. Научно-техническое обеспечение надежности сооружения линейной части магистральных трубопроводов. – М.: Информнефтегазстрой, 1984. – 132 с.