

Опыт расчета и проектирования трансферных трубопроводов

Т. В. Кузнецова, А. Н. Краснокутский

Рассматривается опыт решения такой сложной инженерной задачи, как проектирование или реконструкция трансферного трубопровода. Данная задача требует комплексного подхода, выполнения гидравлического и теплового расчета двухфазного течения, прочностного расчета, поиска компромисса при удовлетворении зачастую противоречащих друг другу требований к конфигурации и конструкции трубопровода. Обсуждаются способы снижения вибрации трубопровода.

Ключевые слова: трансферный трубопровод, проектирование, реконструкция, экспертиза, расчет двухфазного течения, оценка прочности, пульсация, вибрация.

ООО «НТП Трубопровод» и ЗАО «ИПН» имеют большой опыт проектирования и экспертизы трансферных трубопроводов для различных нефтеперерабатывающих производств (Московского, Афипского, Антипинского НПЗ и др.). Расскажем подробнее о специфике возникающих при этом инженерных проблем.

Трансферный трубопровод является связующим звеном между змеевиком печи и ректификационной колонной или реактором. Перекачиваемым продуктом обычно являются нефтепродукты: нефть, масляные дистилляты, отбензиненная нефть, мазут и другие нефтяные фракции. Колонна может быть как атмосферной, так и вакуумной.

Проектирование трансферного трубопровода требует комплексного подхода, выполнения гидравлических и прочностных расчетов, поиска компромисса при удовлетворении ряда зачастую противоречащих друг другу требований к конфигурации и конструкции трубопровода. Именно такой подход реализуется в ООО «НТП Трубопровод» и ЗАО «ИПН», для чего имеются необходимые программные и технические средства.

Длина и диаметр трансферного трубопровода, а также набор местных сопротивлений оказывают значительное влияние на режим работы печи и колонны или реактора. Поэтому точное значение гидравлического сопротивления, доли отгона и температуры продукта является важным, так как отклонение этих данных от расчетных как в сторону завышения, так и в сторону занижения приводит к отклонению требуемых качества продукта и производительности установки в целом. Это указывает на то, что при проектировании трансферных трубопроводов необходимо стремиться к созданию такого трубопровода, который бы обеспечивал минимальные гидравлические сопротивления и минимальное падение температуры. Перепад давления в трансферном трубопроводе можно существенно

снизить, путем выбора оптимальных диаметров и трассировки трансферного трубопровода, а также разделением потока продукта на несколько потоков и увеличением диаметра части змеевика печи на участке испарения. Это особенно важно при вакуумной перегонке, т. к. скорости продукта могут быть близки к скорости звука. При неправильном подборе диаметров или неточном расчете скорость продукта в трансфере может превышать скорость звука, что в реальности ведет к критическому истечению, скачкам давления, отклонению от проектных данных, а возможно и к аварийной ситуации.

Выполнение таких точных расчетов затруднено двухфазностью продукта изменением температуры по длине трубопровода. В настоящее время расчет трансферных трубопроводов проводится с использованием программы «Гидросистема», в которой заложены современные методики расчета двухфазных потоков.

Для исключения пульсаций парожидкостной смеси, уменьшения потерь давления к конструкции трансферного трубопровода предъявляется ряд требований. Помимо оптимального выбора диаметров трансфера, а также диаметров змеевика печи, повороты (отводы), переходы с одного диаметра на другой должны быть плавными, разность высот между выходом из печи и входом в колонну должна быть минимально возможной. Схема трансферного трубопровода должна иметь вид как можно ближе к S-образному. Кроме того, опыты сотрудников БашНИИ НП (Л. Б. Худайдаевой и др.) показывают, что для обеспечения равновесного состояния время пребывания потока в трансфере должно быть не менее 0,85 с, а расход водяного пара, подаваемого в змеевик печи не более 0,3% от общего расхода.

В условиях двухфазного газожидкостного потока возникает опасность возникновения высокой вибрации трубопроводов, причиной которой являются вынужденные колебания, возникающие вследствие пробкового (снаряд-

Допускаемые значения амплитуд вибрации трубопроводов, мкм

Диапазон	Частота, Гц									
	2	4	6	8	10	20	30	40	50	60
1	120	115	100	90	85	60	50	45	40	50
2	250	230	200	180	165	120	95	85	75	70
3	500	450	400	360	330	230	180	145	135	130
4	1250	1100	950	800	750	500	420	350	320	300

ного) режима течения, а также критического режима течения в местных гидравлических сопротивлениях. При этом максимальная вибрация возникает в месте, где совпадает направление воздействия потенциального пробкового или критического течения с максимальной амплитудой собственных колебаний.

При обнаружении трубопроводов с повышенной вибрацией проводится вибродиагностика с помощью прибора OneproD MVP-200 фирмы 01dB/Metravib, AREVA Group, Франция, и программного обеспечения VibGraf XPR.

Для определения мест замеров вибрации трубопроводов с максимальными колебаниями определяются собственные частоты и формы их колебаний. Учитывая сложную геометрию и условия закрепления трубопроводов, для этого используется метод конечных элементов в объемной постановке с использованием ПК ANSYS.

При оценке полученных данных, помимо общего уровня вибрации [1], используются амплитудно-частотные характеристики участков трубопроводов. При этом амплитуды виброперемещений нормируются в зависимости от частоты вибрации [2,3].

Различаются пять опорных уровней вибрации:

- 1) расчетный при проектировании;
- 2) допускаемый при эксплуатации;
- 3) требующий исправления, реконструкции системы;
- 4) уровень появления аварийных ситуаций.

В таблице даны дискретные значения допускаемых значений вибрации трубопроводов в зависимости от частоты.

В случае превышения уровня вибрации 2-го уровня необходимо провести реконструкцию трубопровода.

Как правило, реконструкция сводится к уменьшению количества отводов, увеличению их радиуса до $3...5 D$, а также рациональному размещению арматуры, которая является основным источником критического течения среды.

Кроме того, проводится изменение расположения опор и модификация опорных конструкций с целью повышения низших частот собственных колебаний как минимум до 10 Гц.

Все указанные мероприятия приводят к снижению самокомпенсирующей способности температурных деформаций трубопроводов. Поэтому, после внесенных изменений в конфигурацию трансферных трубопроводов, необходимо провести поверочный расчет по программе СТАРТ, с целью безусловного выполнения условий прочности трубопроводов и определения нагрузок на штуцера аппаратов. Прочность врезок штуцеров, а также косых врезок проверяется с помощью программы «Штуцер-МКЭ».

Накопленный ООО «НТП Трубопровод» и ЗАО ИПН опыт расчета и проектирования трансферных трубопроводов позволяет по согласованию с заказчиком выбирать их оптимальную конфигурацию и параметры и обеспечить их надежную работу.

Литература

1. ПБ 03–585–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Ростехнадзора России.
2. РТМ 38. 001–94 «Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических, стальных трубопроводов», разработаны НТП «Трубопровод» и согласован с Госгортехнадзором России;
3. СА 03–003–07. Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов. Стандарт Ассоциации «Ростехэкспертиза».

T. V. Kuznetsova, A. N. Krasnokutsky

Experience of Transfer Line Analysis and Designs

The article is devoted to experience of complex engineering problem — transfer line (from fired heater to column) design or rebuilding. This task demands comprehensive approach, including hydraulic and thermal two-phase flow analysis, stress analysis, and searching for compromise in fulfilling different, often conflicting requirements on pipeline geometry and construction. The ways of piping vibration reduction are discussed.

Key words: transfer line, design, rebuilding, expertise, two-phase flow analysis, strength estimation, pulsation, vibration.