

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ УПГТ

УДК 622.691.4

С.Л. Перов, к.т.н., ОАО «Оргэнергогаз» (Москва, РФ), oeg@oeg.gazprom.ru

А.В. Сорокин, ОАО «Оргэнергогаз» (Санкт-Петербург, РФ), oeg@oeg.gazprom.ru

Трубопроводы линии регенерации установок подготовки газа к транспорту эксплуатируются в условиях высоких переменных температурных нагрузок. В целях повышения надежности работы УПГТ рассмотрены конструктивные и технические решения, обеспечивающие достаточную температурную компенсацию трубопроводов для выполнения требований статической и циклической прочности, а также требований сейсмоустойчивости. Поставлен вопрос о целесообразности оснащения установок подготовки газа к транспорту автоматизированными системами мониторинга трубопроводов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: УСТАНОВКА ПОДГОТОВКИ ГАЗА К ТРАНСПОРТУ, ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ, ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ, ОПОРНО-ПОДВЕСНАЯ СИСТЕМА, МОНИТОРИНГ ТРУБОПРОВОДОВ.

Установки подготовки газа к транспорту (УПГТ) предназначены для осушки газа до требуемой точки росы по влаге и углеводородам перед подачей его в протяженные трубопроводы, в первую очередь в морские подводные участки, в целях предотвращения возможности образования гидратов и выпадения углеводородного конденсата. Осушка газа производится в адсорбционных колоннах (адсорберах) путем пропуска его через силикагель. Особенность работы установки заключается в том, что после нескольких часов работы адсорбера в режиме осушки газа требуется регенерация силикагеля. Для этого через адсорбер пропускается газ с высокой температурой – около 300 °С. Горячий газ забирает влагу из силикагеля и далее поступает в аппараты воздушного охлаждения, где он охлаждается, при этом влага конденсируется и отводится из газа в специальные сборники для дальнейшей утилизации. После регенерации производится охлаждение силикагеля холодным газом, и далее адсорбер запускается снова на осушку газа.

Конструктивно установка подготовки газа к транспорту состоит

из ряда адсорберов, аппаратов воздушного охлаждения, нагревательной печи, системы сбора и переработки конденсата, трубопроводов «влажного» и «сухого» товарного газа, трубопроводов линии регенерации. С точки зрения прочности наиболее нагруженными являются трубопроводы линии регенерации. По этим трубопроводам от печи в адсорбер и от адсорбера до аппаратов воздушного охлаждения сначала в режиме регенерации поступает горячий газ (с температурой около 300 °С), а затем, в режиме охлаждения, – газ с температурой окружающей среды. Таким образом, трубопроводы линии регенерации эксплуатируются в условиях высоких переменных температурных нагрузок.

Основная задача прочности в этих условиях – обеспечить достаточную компенсацию линейного расширения трубопроводов при их периодическом нагреве. Эта задача решается по-разному для каждой УПГТ. В настоящее время в ПАО «Газпром» построено четыре УПГТ: 1 и 2 на КС «Краснодарская», на КС «Портовая» и на КС «Казачья».

На УПГТ-1 КС «Краснодарская» проблема температурной компенсации решается путем использования многоярусной конструкции и применения большого количества труб малого диаметра (рис. 1). При наличии нескольких плоскостей для размещения труб температурная компенсация обеспечивается как по горизонтали, так и по вертикали без больших затруднений. Проблем прочности трубопроводов для такого типа УПГТ не возникает, но конструкция получается слишком тяжеловесная, и в первые годы после строительства наблюдались значительные подвижки фундаментов. Кроме того, применение большого количества металлоконструкций приводит к удорожанию проекта.

Все последующие проекты УПГТ – одноярусные. Трубопроводы линии регенерации выполнены в виде протяженных коллекторов, расположенных вдоль ряда адсорберов, и отводов к каждому адсорберу.

В частности, на УПГТ КС «Портовая» магистрального газопровода «Северный поток» коллекторы газа регенерации установлены на хомутовых скользящих опорах.

Perov S.L., Ph.D. in Engineering, Orgenergogas, OJSC (Moscow, RF), oeg@oeg.gazprom.ru

Sorokin A.V., Orgenergogas, OJSC (Saint Petersburg, RF), oeg@oeg.gazprom.ru

Technical solutions on increasing the reliability of process pipelines of the fuel gas system station (FGST)

Pipelines of the regeneration line of FGST are operated in the conditions of high and fluctuating temperature loads. To increase the reliability of FGST, we reviewed design and engineering solutions providing a sufficient temperature compensation for pipelines to comply with the requirements of static and cyclical strength, and the requirements to seismic resistance. A question on the expediency to equip FGST with pipeline automated monitoring systems was raised.

KEY WORDS: FUEL GAS SYSTEM STATION, PIPELINE STRENGTH, TEMPERATURE COMPENSATION, SUSPENSION AND SUPPORT SYSTEM, PIPELINE MONITORING.

По результатам диагностических работ, проведенных в 2014–2015 гг., на всех четырех линиях адсорбции УПГТ были выявлены:

- осевые смещения (до 200 мм) хомутовых скользящих опор Ду500 на нагретых участках трубопроводов газа рециркуляции;
- непроеekтные вертикальные перемещения трубопроводов Ду500, достигающие 90 мм, на различных режимах работы УПГТ.

При контроле технического состояния смещенных от проектного положения скользящих опор на «горячих» трубопроводах линии адсорбции (максимальная рабочая температура – 288 °С) было выявлено значительное ослабление хомутов, а осевое смещение по трубе достигало 200 мм (рис. 2). Причиной ослабления хомутов явился неравномерный нагрев трубы и хомутов вследствие переменного теплового контакта между ними. Данный факт был подтвержден расчетом взаимодействия опорной конструкции с трубой с использованием объемных (твердотельных) расчетных моделей. Для устранения указанного явления были изменены условия закрепления хомутов на трубе и опорах.

В ходе постоянного мониторинга технического состояния опор и трубопроводов УПГТ КС «Портовая» были отмечены непроеekтные подъемы участков коллектора газа регенерации в районе нескольких скользящих опор (рис. 3) до 90 мм на всех ли-



Рис. 1. УПГТ-1 КС «Краснодарская»



Рис. 2. Смещение скользящей хомутовой опоры с бетонного основания в процессе эксплуатации УПГТ



Рис. 3. Периодические подъемы участков коллектора газа регенерации в районе хомутовой опоры



Рис. 4. Опорно-подвесная система коллекторов УПГТ-2 КС «Краснодарская»

ниях адсорбции. По результатам тепловизионной съемки данных участков было определено, что на режимах регенерации всех адсорберов возникает неравномерное распределение температуры трубы с перепадом по сечению до 130 °С. Расчет методом конечных элементов в оболочечной постановке, позволяющий учесть неравномерное распределение температуры по сечению трубы, подтвердил, что именно этот факт является причиной подъема коллектора. Постоянный мониторинг всех линий адсорбции УПГТ КС «Портовая» показал, что наличие неравномерного распределения температуры по сечению участков ТПО (и соответственно, подъема ТПО) является технологической особенностью разработанного проекта УПГТ (периодическая последовательная подача горячего и холодного газа). В настоящее время разрабатываются изменения в регламенте переключения кранов, которые позволят устранить данное явление.

На УПГТ-2 КС «Краснодарская» коллекторы расположены на пружинных подвесах (рис. 4а). Применение таких подвесов обеспечивает хорошую температурную компенсацию самого коллектора (в режиме регенерации он удлиняется до 19 см в каждую сторону). Но отводы от коллекторов к адсорберам расположены на наземных скользящих опорах (рис. 4б). Расширение при нагревании вертикального участка трубы приводит к тому, что значительная часть веса коллектора передается на эти опоры. При первом же пуске установки из-за большого трения и большого вертикального усилия конструкции скользящих опор деформировались, перемещения по опорам происходили рывками.

Уже при проведении предварительной расчетной оценки напряженно-деформированного состояния было установлено, что напряжения в ряде участков тру-

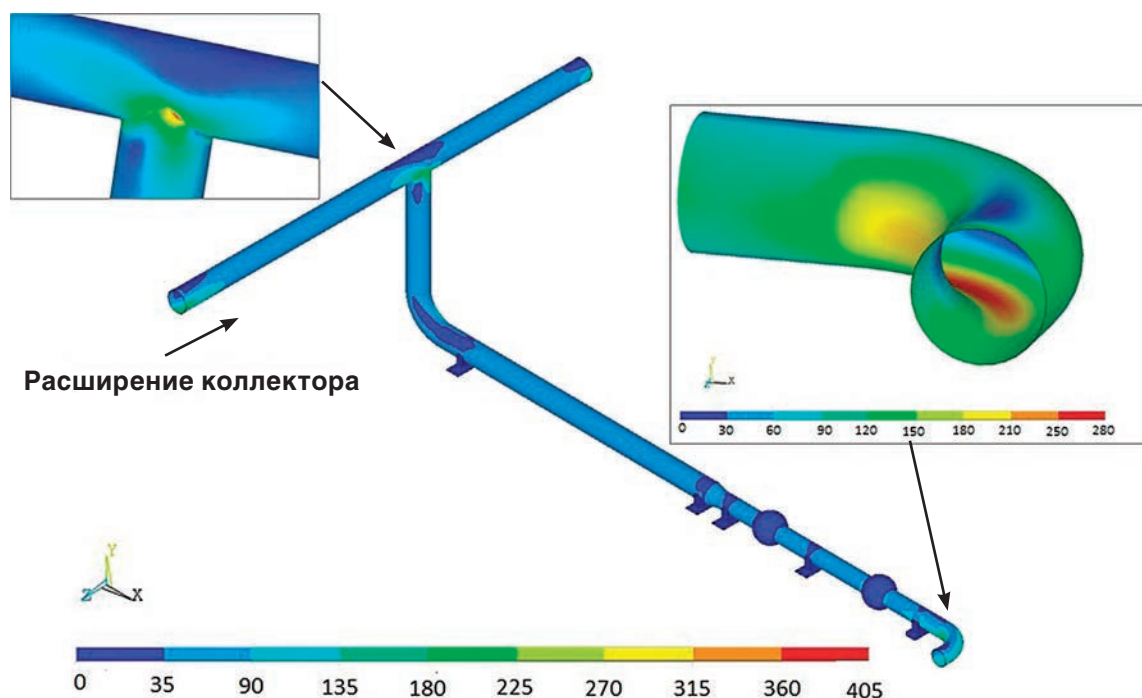


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) на трубопроводах-отводах к адсорберам

бопроводов линии регенерации превышают допустимые значения как по статической прочности, так и по циклической. Такими зонами являлись: зоны входа горячего газа в арматурный узел у адсорберов А, В, С и входные трубопроводы в каждый адсорбер.

Распределение напряжений для участка входа горячего газа в арматурный узел приведено на рис. 5. Области повышенных напряжений образуются на тройнике коллектора и на отводе входа в арматурный узел. Они обусловлены тем, что арматурный узел зафиксирован на опорах, а тройник коллектора смещается из-за температурных расширений.

Образование зон повышенных напряжений на трубопроводах входа в адсорбер (рис. 6) связано с тем, что под ними и под арматурными узлами были установлены жесткие опоры, не позволяющие компенсировать температурные расширения вертикального участка входного трубопровода. Надо отметить, что сам корпус адсорбера, в отличие от труб, не нагревается, так как внутри сосуда сделана футеровка. В процес-

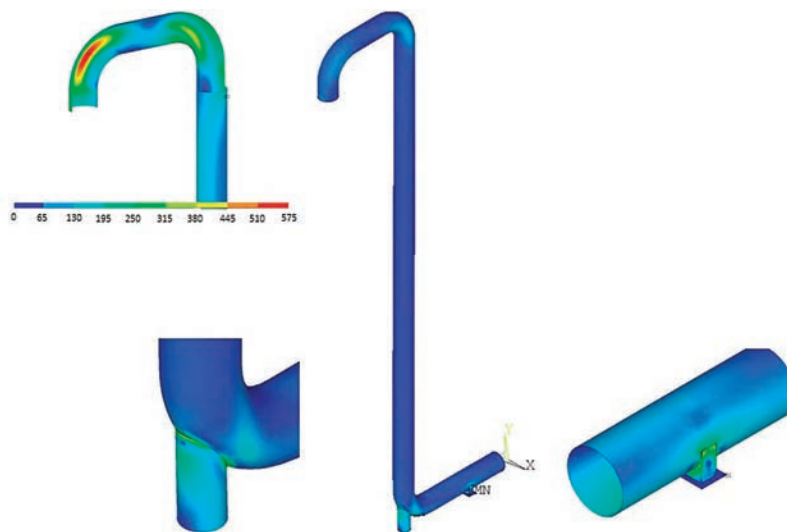


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) на трубопроводах входа в адсорбер

се регенерации на ближайшую к адсорберу жесткую опору передается усилие примерно в 40 т, и примерно такие же нагрузки передаются на фланцы адсорбера. Этот факт явился причиной того, что после первого пуска была нарушена герметичность фланцев, а ближайшая к адсорберу опора была деформирована.

Данные факты вызвали необходимость проведения комплекса

работ по доработке и модернизации опорно-подвесной системы трубопроводов линии регенерации УПГТ-2 КС «Краснодарская». Основная задача модернизации – обеспечение требований статической и циклической прочности, требований сейсмоустойчивости, обеспечение надежной работы всех узлов опорно-подвесной системы. Вся работа была построена на многократных расчетах,

разработке и апробации новых технических решений, проведении мониторинга напряженно-деформированного состояния трубопроводов в процессе пусков установки. При этом были применены следующие конструктивные решения.

1. Вместо жестких опор под трубопроводами на входе в адсорберы и под арматурными узлами установлены пружинные подвесы, характеристики которых выбирались на основе расчетов, в связи с чем напряжения в трубах и нагрузки на фланцы адсорберов приведены к допустимым значениям.

2. Скользящие опоры выполнены с боковыми ограничителями с фиксированным зазором. Такие опоры позволяют контролировать температурные расширения трубопроводов. Причем ограничители имеют скругленную, а не плоскую форму, что обеспечивает нормальное продольное скольжение (отсутствие «закусывания»), даже когда опора фиксируется ограничителем.

3. Для уменьшения трения и равномерности перемещения разработана опора с системой смазки.

4. Наиболее нагруженные скользящие опоры (под отводами от коллекторов), которые перемещались рывками, заменены на шариковые.

5. Установлены ограничители перемещений (упоры) трубопроводов с заданным зазором. При расширении коллектор линии рециркуляции доходит до упора, а

при дальнейшем нагреве смещение коллектора происходит только в противоположную сторону.

Комплексная модернизация опорно-подвесной системы и замена ряда фасонных изделий на другие, с более высокими прочностными характеристиками, позволили обеспечить статическую и циклическую прочность УПГТ-2 КС «Краснодарская» для всех режимов на весь срок эксплуатации. На примере работ по УПГТ-2 КС «Краснодарская» можно сделать вывод о том, что все проекты УПГТ как наиболее сложного технического объекта должны проходить обязательную экспертизу на статическую и циклическую прочность.

КС «Краснодарская» и КС «Казачья» находятся в зонах повышенной сейсмической активности. На КС «Краснодарская» проблема сейсмозащиты решалась дополнительным укреплением трубопроводной обвязки способом, не допускающим низкочастотных колебаний. Данный подход ограничивает возможности температурной компенсации трубопроводов и приводит к образованию дополнительных зон концентрации напряжений в месте закрепления. На КС «Казачья» проблема сейсмозащиты решается путем применения специальных гидравлических демпферов, которые гасят низкочастотные колебания, но не препятствуют температурным расширениям труб. Такой подход является более перспективным.

Опорно-подвесная система УПГТ сильно нагружена и постоянно работает в условиях скольжения с трением. При этом возможны деформации опор, задиры или обыкновенный износ. Многие опоры закрыты теплоизоляцией, что не позволяет проводить их регулярный визуальный контроль. Любые нарушения в работе опорно-подвесной системы приводят к нештатным условиям эксплуатации трубопроводов, росту напряжений в трубах и, как следствие, к образованию и развитию дефектов. В связи с этим целесообразно предусмотреть в проектах УПГТ автоматизированные системы мониторинга трубопроводов, а также рассмотреть возможность оборудования уже построенных УПГТ данными системами.

Прототип такой системы мониторинга, разработанный для УПГТ-2 КС «Краснодарская», использовался при испытаниях и пуске в эксплуатацию УПГТ. Система мониторинга включает подсистему контроля деформаций (напряжений) металла труб и подсистему контроля пространственного положения трубопроводов. Аналитический блок системы мониторинга проводит анализ показаний датчиков и их сравнение с контрольными значениями, определяющимися на основе расчетного моделирования. Внедрение системы мониторинга позволит сделать обоснованные выводы о реальном техническом состоянии трубопроводов в процессе их пуска и эксплуатации. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангалева А.М., Перов С.Л., Полоз М.В. Комплексная оценка напряженно-деформированного состояния трубопроводов и несущих конструкций установок подготовки газа к транспорту // Диагностика оборудования и трубопроводов компрессорных станций: мат-лы XXIV тематического семинара (Геленджик, 6–11 сентября 2005 г.). – Т. 2. – М.: ИРЦ Газпром, 2005. – С. 9–14.
2. ПБ 03-585-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов.
3. СНИП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы.

REFERENCES

1. Angaleva A.M., Perov S.L., Poloz M.V. Comprehensive Assessment of Stress Strain Behavior of Pipelines and Bearing Structures of Fuel Gas System Stations // Diagnostics of Equipment and Pipelines of Compressor Plants: Materials of XXIV Topical Workshop (Gelendzhik, September 6, 2005 – September 11, 2015). – V. 2. – M.: Information and Advertising Center of Gazprom, 2005. – P. 9–14.
2. Industrial Safety 03-585-03. Rules for Arrangement and Safe Operation of Process Pipelines.
3. SNiP 2.05.06-85*. Main Pipelines.