



УДК 624.9

Пространственные модели, разрабатываемые с применением лазерного сканирования на газоконденсатных месторождениях северной строительно-климатической зоны

С.Н.МЕНЬШИКОВ¹, А.А.ДЖАЛЯБОВ¹, Г.Г.ВАСИЛЬЕВ², И.А.ЛЕОНИЧ² ✉, О.М.ЕРМИЛОВ³

¹ ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Россия

² Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия

³ Ямало-Ненецкий филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука, Новосибирск, Россия

Широкое освоение и промышленная эксплуатация углеводородных месторождений полуострова Ямал ставит перед строительными и эксплуатирующими организациями важнейшие проблемы эффективной реализации строительных работ в условиях постоянно развивающегося месторождения с обязательным учетом климатических и геокриологических условий его расположения. Полуостров Ямал характеризуется неустойчивыми грунтами, подвижность которых оказывает значительное влияние на изменение пространственного положения объектов месторождений как непосредственно в процессе строительства, так и при выполнении работ по их расширению и капитальному ремонту оборудования. В статье рассматривается проблема внедрения в процесс выполнения строительно-монтажных работ на месторождениях углеводородов северной строительно-климатической зоны технологии трехмерного моделирования пространственного положения объектов обустройства. Целью внедрения данной методики совместно с трехмерным моделированием пространственного положения элементов обвязки технологического оборудования является повышение надежности и безопасности таких объектов на протяжении всего их жизненного цикла. Анализируется проблематика постановки и решения задачи выверки и монтажа оборудования и трубопроводов высокой степени заводской готовности с учетом современных технологий трехмерного проектирования и моделирования. Рассматривается модель построения трехмерного пространства с элементами геометрии обвязки технологического оборудования, привязка такой модели к существующим объектам на месторождении. Проводится анализ и математическая постановка задачи поиска оптимального пространственного положения таких моделей. Рассматриваются возможные типовые отклонения, возникающие в процессе монтажа конструкций и элементов обвязки, а также моделируется их пространственное положение. Предлагаются возможные варианты и алгоритм реализации модели на реальном месторождении.

Ключевые слова: промысловые трубопроводы; промысловое оборудование; трехмерное моделирование; наземное лазерное сканирование; Ямал; блочно-комплектное строительство

Как цитировать эту статью: Пространственные модели, разрабатываемые с применением лазерного сканирования на газоконденсатных месторождениях северной строительно-климатической зоны / С.Н.Меньшиков, А.А.Джалябов, Г.Г.Васильев, И.А.Леонович, О.М.Ермилов // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 430-437. DOI 10.31897/PMI.2019.4.430

Введение. На сегодняшний день Ямало-Ненецкий автономный округ является наиболее перспективным регионом развития добычи природного газа и газового конденсата Российской Федерации. Начало промышленной эксплуатации месторождений полуострова Ямал, в первую очередь Бованенковского, Харасавэйского и Новопортовского, расположенных за Северным полярным кругом, стало отправной точкой формирования нового ресурсного центра добычи углеводородов как для внутреннего потребления, так и для экспорта во все регионы мира посредством системы трубопроводов Единой системы газоснабжения России и терминалов сжиженного природного газа [11, 12]. За 9 месяцев 2018 г. добыча в регионе выросла на 5,3 % по сравнению с таким же периодом 2017 г. и составила 433,5 млрд м³, добыча нефти и газового конденсата равнялась 39,4 млн т. В регионе действует порядка 70 предприятий-недропользователей, а общее число месторождений превышает 280 («Все растет! На Ямале за 9 месяцев 2018 г. увеличилась добыча природного газа, конденсата и нефти» // Neftegaz.RU. URL: <https://neftegaz.ru/news/view/176325-Vse-rastet-Na-Yamale-za-9-mesyatsev-2018-g-uvlechilas-dobycha-prirodnogo-gaza-kondensata-i-nefti> (дата обращения 13.11.2018)).

Постановка проблемы. Согласно действующим правилам («Об утверждении Правил разработки месторождений углеводородного сырья»: Приказ Минприроды России от 14.06.2016 N 356. URL: <https://rg.ru/2016/09/12/minprirodi-prikaz356-site-dok.html> (дата обращения 13.11.2018)) разработка месторождений углеводородного сырья представляет собой совокупность технологических этапов, каждый из которых включает в себя выполнение на месторождении тех или иных

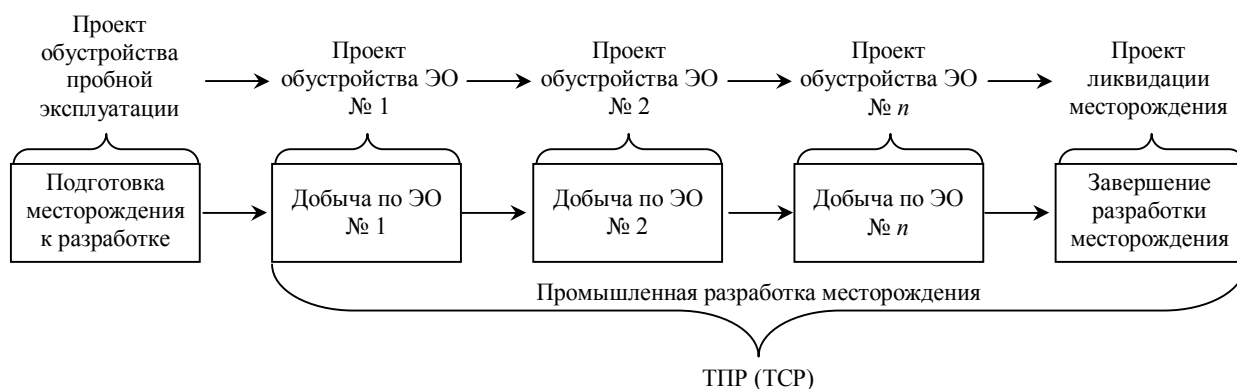


Рис.1. Организационная структура разработки месторождения

строительно-монтажных работ (рис.1). Весь жизненный цикл месторождения (за исключением этапа подготовки месторождения к эксплуатации) реализуется согласно разрабатываемой недропользователем технологической схеме разработки (ТСР) или технологическому проекту разработки (ТПР) месторождения.

Технический проект разработки (или ТСР) разрабатывается на все месторождение целиком, в оговоренных «Правилами» случаях – на группу месторождений, и содержит проектные решения, которые будут реализовываться на протяжении всего жизненного цикла, кроме того, на месторождении выделяются эксплуатационные объекты (ЭО), которые будут последовательно (или последовательно-параллельно) вводятся в эксплуатацию по мере развития добычи на месторождении.

На основании ТПР (ТСР) на протяжении жизненного цикла месторождения разрабатываются проекты обустройства ЭО, в состав которых обычно входят комплексы надземных сооружений сбора и внутрипромыслового транспорта нефти, газа (конденсата) и пластовой воды; технологические установки и оборудование подготовки углеводородов к транспортировке; оборудование, обеспечивающее работоспособность технологических установок.

При проектировании и сооружении вышеуказанного оборудования необходимо учитывать и выполнять технологическое присоединение коммуникаций к уже эксплуатируемому оборудованию согласно генеральной схеме обустройства месторождений в ТПР (ТСР). Более того, при реализации стадии подготовки к промышленной эксплуатации месторождения, до разработки ТПР (ТСР), требуется выполнять работы по проектированию и строительству некоторого числа скважин, устьевого оборудования, отдельных элементов технологического оборудования и т.д. При дальнейшей эксплуатации и реализации проектов капитального строительства на месторождении нужно учитывать данные элементы и выполнять технологическое присоединение к ним.

Таким образом, на протяжении всего жизненного цикла постоянно требуется реализовывать большой комплекс работ по стыковке технологических коммуникаций и оборудования друг с другом, с уже действующими объектами и планировать стыковые элементы для будущих проектов развития месторождения. Поскольку указанные работы выполняются как на подземных элементах технологического оборудования и трубопроводах, так и на объектах надземного исполнения, на осуществление указанных работ огромное влияние оказывают климатические и геокриологические условия региона строительства.

По сравнению с другими нефтегазоносными областями севера Западной Сибири, Ямал уникален по сложности климатических и геокриологических условий. Ключевыми факторами в данном случае являются расположение территории за Северным полярным кругом, наличие толщ высокосолевых засоленных многолетнемерзлых пород с особо сложными геокриологическими условиями верхней части разреза. Особая чувствительность многолетнемерзлых пород к техногенному воздействию приводит к нестабильности их положения при минимальном воздействии антропогенной деятельности. Данная проблема усугубляется активностью геодинамической обстановки, высокой интенсивностью денудации территории, повсеместным развитием экзогенных геологических процессов и высокими фоновыми концентрациями загрязняющих веществ в компонентах природной среды в условиях месторождений углеводородов.



Рис.2. Экспериментальная установка низкотемпературной сепарации с пластинчатыми теплообменниками

В таких условиях реализация каждого из очередных проектов развития месторождения или ввод в эксплуатацию нового ЭО сталкивается с необходимостью, с одной стороны, уменьшить объем строительно-монтажных работ на объекте, а значит, снизить интенсивность антропогенного воздействия на нестабильную окружающую среду полуострова. С другой стороны, ввиду технологической сложности промышленного оборудования и трубопроводов, требуется производство большого количества работ по выполнению технологических присоединений оборудования и трубопроводов непосредственно на месторождении.

Первая проблема активно решается применением промышленного оборудования и трубопроводных узлов высокой степени заводской готовности в блочном или блочно-комплектном исполнении [5], внедрением систем термической стабилизации грунта под оборудованием и промышленными трубопроводами и общей тенденцией к переносу сборочных и монтажных работ на площадки заводов-изготовителей. На Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение в блочном исполнении при максимальной заводской готовности были доставлены газоперекачивающие агрегаты, установки УПТПГ, котельные, водоочистные сооружения и много других полноценных технологических элементов, среди которых необходимо отметить экспериментальный блок-модуль установки низкотемпературной сепарации (рис.2).

Вторая проблема значительного числа стыковых соединений промышленного оборудования и трубопроводов сложной геометрии и пространственного положения на сегодняшний день продолжает решаться традиционными методами строительного контроля и производства работ.

Проведение строительно-монтажных работ и эксплуатация объектов в условиях многолетней мерзлоты требуют постоянного геотехнического контроля. В течение всего жизненного цикла объектов необходимо отслеживать большое количество параметров. В их числе пространственное положение технологического оборудования и строительных конструкций производственных объектов. Для выполнения работ такого типа применяется геодезическое оборудование, пооперационный контроль пространственного положения оборудования и трубопроводов в процессе монтажа, что при наличии отклонений от проектного положения приводит к росту подгоночных работ «по месту», а в отдельных случаях, при стыковке узлов заводской готовности и наличии значительного отклонения от проектного пространственного положения стыкуемых элементов, – к невозможности выполнить монтажные работы без «натяга» или «косых стыков». Указанные ситуации возникают по причине недостаточной информации о реальном пространственном положении объектов непосредственно после выполнения монтажных работ. В данном случае эффективным решением данной проблемы видится применение технологии наземного лазерного сканирования (НЛС). Оно обеспечивает построение трехмерных моделей реальной геометрии, которые пригодны для дальнейшей обработки в программах CAD-моделирования, что для различных типов конструкций подробно рассмотрено в работах [1, 3, 4, 6-8, 13]. Технология НЛС позволяет достаточно быстро получать трехмерные модели реального пространственного положения и геометрии объектов после их монтажа, определять отклонение стыкуемых элементов от их проектного положения, восстанавливать необходимую геометрию стыкового узла и по данной геометрии корректировать стыковой узел в условиях завода-изготовителя (или монтажной площадки) до отправки к месту монтажа. Применение трехмерных моделей на предприятиях нефтегазового комплекса активно используется для объектов месторождений углеводородов, например [2, 9, 10].

Методология. Наиболее важным фактором при реализации технологии НЛС и трехмерного моделирования является определение необходимых корректирующих изменений, которые следует внести в элемент обвязки технологических трубопроводов или оборудования с целью макси-



мально возможного снижения объемов работ «по месту». Для решения данной задачи и определения реальных отклонений размеров стыкуемых элементов обвязки технологических трубопроводов и оборудования, а также их геометрического положения может быть сформулирована следующая содержательная постановка математической задачи: *определить с учетом всех правил, требований и ограничений такое взаимное пространственное расположение элементов технологической обвязки (трубы, фасонные изделия, запорно-регулирующая арматура – ЗРА) в условиях реального пространственного положения смонтированного оборудования и технологических трубопроводов, при которых затраты на монтажные работы были бы минимальными.*

Для математической записи данной задачи предложен следующий критерий оптимизации (критерий оптимальности): *приведенные затраты на монтаж оборудования должны быть минимальными.* В математической записи критерий оптимизации представлен формулой

$$S = S_0 + S_m = S_1 L_1 + S_2 N_2 + S_3 N_3 + f(M_f, Y_f),$$

где S_0 – стоимость элементов обвязки; S_m – стоимость монтажных работ.

Стоимость элементов обвязки включает: стоимость 1 м трубопровода S_1 , количество метров трубы в i -м варианте обвязки L_1 ; стоимость фасонных изделий S_2 , количество фасонных изделий в i -м варианте обвязки N_2 ; стоимость ЗРА S_3 , количество ЗРА в i -м варианте обвязки N_3 . Стоимость монтажных работ представляет собой оценку стоимости монтажа, является эмпирической зависимостью от времени, необходимого для проведения монтажных работ t_m , которое, в свою очередь, представляет собой зависимость от фактических отклонений монтажа M_f и фактического уровня собираемости Y_f :

$$S_m = f(t_m) = f(M_f, Y_f).$$

Проектный уровень собираемости Y_p задан по СТО 02494680-0033.1-2004, численное значение Y_p определяется коэффициентом собираемости K_c , представляющим собой отношение функционального допуска Δ_ϕ к технологическому допуску Δ_τ :

$$K_c = \Delta_\phi / \Delta_\tau.$$

При проектировании металлической конструкции (в том числе обвязки) задается значение проектного коэффициента собираемости K_c , где значение Δ_ϕ устанавливается из условия обеспечения функциональных требований оборудования в соответствии с ГОСТ 26607-85, а значение Δ_τ – в соответствии с точностью разбивочных работ по ГОСТ 21779-82. По СТО 02494680-0033.1-2004 заданы минимальные допустимые значения K_c . Фактическое значение K_c находят по трехмерной модели реальной геометрии после проведения НЛС.

Фактическое отклонение монтажа M_f определяется по трехмерной модели пространственного положения и является оценкой действительного отклонения по СТО 02494680-0033.1-2004. Фактическое отклонение монтажа M_f – это количественное выражение систематических и случайных погрешностей, накопленных при выполнении операций и измерений.

Систематические погрешности возникают под влиянием постоянно действующего фактора, не изменяются (либо изменяются по какому-то определенному закону) в процессе выполнения технологического процесса и имеют постоянный знак. Примерами могут служить отклонения, вызванные неисправностью оборудования. В этом случае их необходимо устранить.

Случайные погрешности не имеют закономерностей ни по величине, ни по знаку. Для их расчета в модели используются фактические данные по результатам моделирования реального пространственного положения методом НЛС.

Фактическое отклонение монтажа M_f и фактический уровень собираемости Y_f для проектной конструкции обвязки определяется по результатам моделирования фактического пространственного положения базовых и стыкуемых плоскостей.

Математическая модель определена следующим образом: *найти такой вариант трассировки обвязки T_p в пространстве (x_0, y_0, z_0) из множества допустимых вариантов проектных трассировок, для которого выполнялось бы условие заданного критерия оптимальности – минимум функции приведенных затрат.*

В математической записи модель представлена формулой

$$T = \arg \min \{S(T) | T \in T_p\}.$$

Для решения данной модели установлены следующие ограничения: пространство поиска решения, зафиксированные элементы пространства, математическая модель положения обвязки, модель трассировки, модель отклонений и др.

Пространство поиска решения. Рассматривается прямоугольная система координат $XYZO$ с метрикой пространства ρ , выбор которой обусловлен требованием прокладки технологических коммуникаций по координатным осям:

$$\rho(c', c'') = |X_{c'} - X_{c''}| + |Y_{c'} - Y_{c''}| + |Z_{c'} - Z_{c''}|,$$

где $\rho(c', c'')$ – расстояние между точками c' и c'' пространства $XYZO$.

Пространство ограничено так, что

$$X_c^{\min} \leq X_c \leq X_c^{\max}; \quad Y_c^{\min} \leq Y_c \leq Y_c^{\max}; \quad Z_c^{\min} \leq Z_c \leq Z_c^{\max}.$$

Зафиксированные элементы пространства. Пусть заданы две плоскости (далее – базовые плоскости), между которыми должен быть размещен элемент обвязки (рис.3). Данные плоскости зафиксированы в пространстве и соответствуют реальному положению стыковых элементов технологического оборудования, с одной стороны, и технологического трубопровода, с другой.

Каждая из базовых плоскостей задана в пространстве $XYZO$ уравнением плоскости

$$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0; \quad (1)$$

$$A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0. \quad (2)$$

Стыкуемые элементы (математическое упрощение стыкового сварного соединения трубопровода) представляют собой окружности одинакового диаметра ($2R$), расположенные в данных плоскостях. Центры окружности в базовых плоскостях заданы точками $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$ и $M_2(X_2, Y_2, Z_2)$.

Математическая модель положения обвязки. Пространственное положение обвязки представлено совокупностью элементов L_1, N_2, N_3 и двумя плоскостями (далее – стыкуемые плоскости), которые описывают стыкуемое соединение обвязки с технологическим оборудованием, с одной стороны, и технологическим трубопроводом, с другой (рис.4). Стыкуемые плоскости обвязки заданы плоскостями в пространстве $XYZO$:

$$A'_1x + B'_1y + C'_1z + C'_1 = 0;$$

$$A'_2x + B'_2y + C'_2z + C'_2 = 0.$$

Стыкуемые элементы (математическое упрощение стыкового сварного соединения трубопровода) пред-

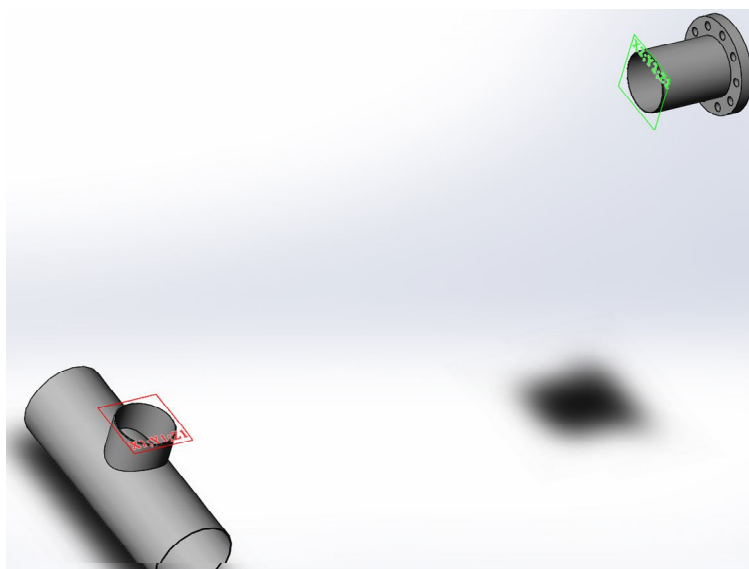


Рис.3. Пространство трассировки с базовыми плоскостями, заданными уравнениями (1) и (2)

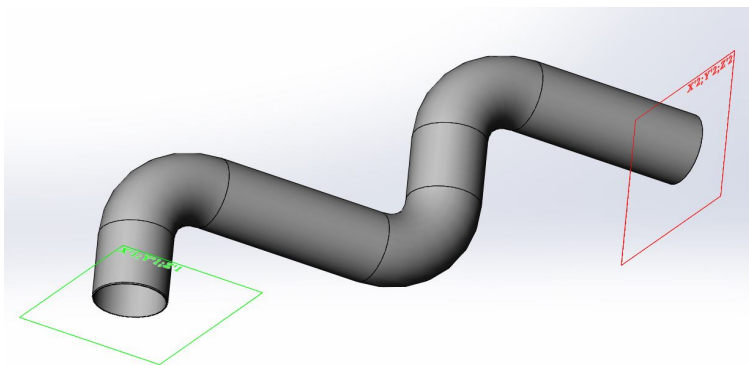


Рис.4. Модель обвязки со стыкуемыми плоскостями

ставляют собой окружности одинакового диаметра ($2R$). Центры окружности в базовых плоскостях заданы точками $M'_1(X'_1, Y'_1, Z'_1)$ и $M'_2(X'_2, Y'_2, Z'_2)$.

Модель трассировки. Под трассировкой будем понимать определенную совокупность элементов обвязки L_1, N_2, N_3 , положения базовых плоскостей и стыкуемых плоскостей обвязки, которые формируют определенные значения Y_p и M_p (рис.5).

Под проектной трассировкой будем понимать определенную совокупность элементов L_1^n, N_2^n, N_3^n , проектного положения базовых плоскостей и стыкуемых плоскостей обвязки, которым соответствуют проектные значения Y_p и M_p . Проектная трассировка указана в проектных чертежах, проектные значения Y_p и M_p – в монтажных размерах проектных чертежей.

Под фактическим будем понимать положение базовых плоскостей после выполнения монтажных работ. Фактическое положение имеет отклонение от проектного, что делает невозможным монтаж проектной обвязки с сохранением проектных значений Y_f и M_f .

Модель отклонений. Оценка отклонения при стыковке проводится по двум параметрам: расхождение центров стыкуемых окружностей D и отклонение плоскостей (соответствующих базовой и стыкуемой) от параллельности φ . «Модельный» стык является соосным, имеет параллельное положение стыкуемых плоскостей и зазор между плоскостями в соответствии с применяемой технологией сварки (рис.5).

Каждый вариант трассировки характеризуется определенными значениями расхождения центров стыкуемых окружностей D :

$$D_1 = \sqrt{(X_1 - X'_1)^2 + (Y_1 - Y'_1)^2 + (Z_1 - Z'_1)^2};$$

$$D_2 = \sqrt{(X_2 - X'_2)^2 + (Y_2 - Y'_2)^2 + (Z_2 - Z'_2)^2}$$

и определенными значениями отклонения параллельности стыкуемых плоскостей от соответствующих базовых плоскостей:

$$\cos \varphi_1 = \frac{A_1 A'_1 + B_1 B'_1 + C_1 C'_1}{\sqrt{(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2)(A_1'^2 + B_1'^2 + C_1'^2)}};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{A_2 A'_2 + B_2 B'_2 + C_2 C'_2}{\sqrt{(A_2^2 + B_2^2 + C_2^2)(A_2'^2 + B_2'^2 + C_2'^2)}}.$$

Тогда M_f есть функция от D и $\cos \varphi$:

$$M_f = f(D_1; D_2; \cos \varphi_1; \cos \varphi_2).$$

Для плоскостей определены допустимые уровни модельных отклонений. Под модельными отклонениями будем понимать следующие:

- отклонение по зазору между стыкуемыми плоскостями при сохранении соосности и параллельности (рис.6);
- отклонение от соосности с сохранением параллельности между стыкуемыми плоскостями (рис.7);
- отклонение от параллельности стыкуемых плоскостей (рис.7).

Фактически в реальной ситуации реализуются все указанные модельные отклонения, формируя фактические значения отклонений, выраженные через D и $\cos \varphi$.

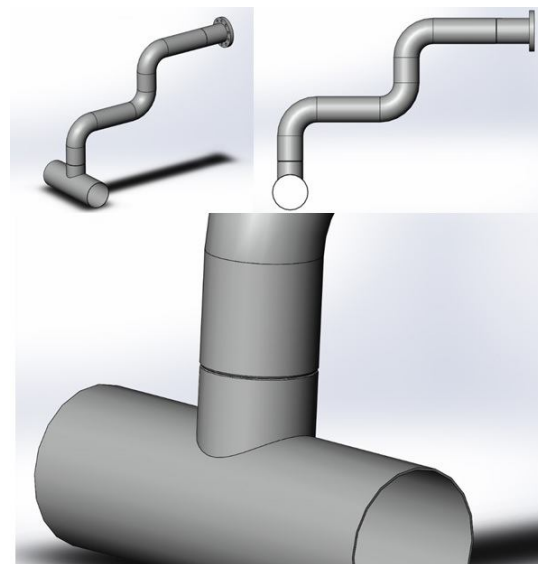


Рис.5. Модельная трассировка с «идеальным» стыковым соединением базовой и стыкуемой плоскостей (стыкуемые элементы параллельны, $\cos \varphi_1 = 1$, соосны, равномерный зазор $D = 5$ мм обеспечивает качество сварного стыка)

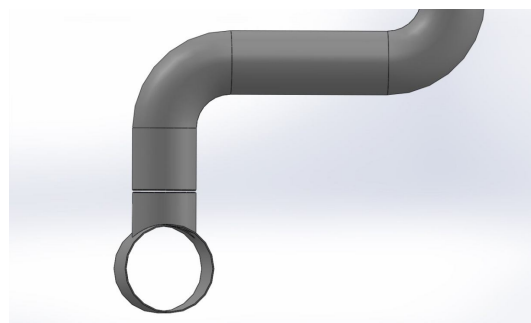


Рис.6. Модельное отклонение по оси Z (стыкуемые элементы соосны и параллельны, $\cos \varphi = 1$, но стыковочный зазор $D = 25$ мм, поэтому сварка невозможна)

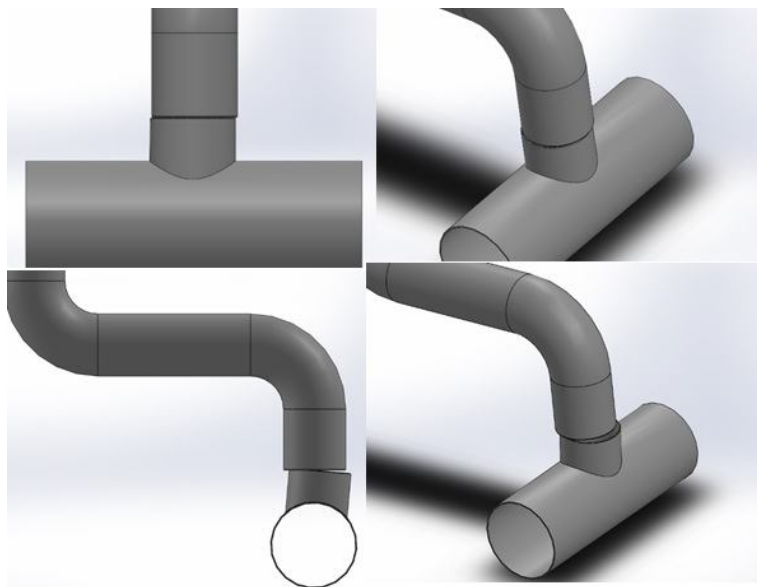


Рис.7. Модельное отклонение в плоскости XY (смещение осей стыкуемых элементов в плоскости стыка 25 мм, сборка без «натяга» невозможна) и модельное отклонение от параллельности стыкуемых плоскостей (угол отклонения составляет 5° , $\cos\varphi_1 = 0,996$, сборка без «натяга» невозможна)

Фасонные изделия и ЗРА имеют постоянную геометрию и угол поворота, которые задаются в зависимости от диаметра обвязки и требований стандарта на соответствующую продукцию.

Установлена минимальная длина прямолинейных участков трубы, минимальное количество запорной арматуры.

Заданы проектные значения уровня собираемости Y_p и предельные уровни отклонений при монтаже M_p обвязки, которые представляют собой исходные условия для моделирования проектного положения обвязки. Из-за воздействия случайных погрешностей в процессе строительно-монтажных работ фактические значения данных величин изменяются, для их оценки применяется трехмерное моделирование фактического пространственного положения.

Обсуждение. Процедура реализации данной математической модели представляет собой следующие последовательные процессы:

- 1) построение трехмерного пространства (x_0, y_0, z_0) с учетом реального пространственного положения базовых и стыкуемых плоскостей;
- 2) построение проектного пространственного положения базовых и стыкуемых плоскостей;
- 3) оценка изменения Y_p , M_p и проектной обвязки с учетом реального пространственного положения базовых и стыкуемых плоскостей; определение фактического значения Y_f , M_f ;
- 4) поиск оптимальной трассировки T по критерию S с учетом реального пространственного положения базовых и стыкуемых плоскостей, определение оптимальных значений Y и M ;
- 5) внесение в узел обвязки изменений с учетом оптимальной трассировки;
- 6) монтаж узла обвязки с учетом внесенных изменений.

Заключение. В нормативных документах недостаточно четко сформулирована необходимая точность определения вертикальных и горизонтальных деформаций зданий и сооружений и их периодичность для условий распространения многолетнемерзлых пород. Кроме того, в северной строительно-климатической зоне имеет место существенное влияние природно-климатических факторов на точность геодезических работ и устойчивость глубинных реперов, которые должны сохранять стабильность высотного положения в течение всего времени эксплуатации контролируемого объекта и гарантировать определение осадки сооружений с необходимой точностью. Применение лазерного сканирования позволит повысить точность сопряжения монтажных элементов промышленного технологического оборудования и строительных конструкций в условиях деформаций их пространственного положения в сложных климатических и геокриологических условиях полуострова Ямал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ опыта применения трехмерного лазерного сканирования на объектах ОАО «АК «Транснефть» / Г.Г.Васильев, М.А.Лежнев, А.П.Сальников, И.А.Леонович, А.А.Катанов, М.В.Лиховцев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 2 (18). С. 48-55.
2. Бадертдинов Р.Ш. Проектирование газовых месторождений в программных пакетах Aveva и Autodesk / Р.Ш.Бадертдинов, Л.А.Китаева // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 10. С. 251-253.
3. Вальков В.А. Применение наземного лазерного сканирования для создания трехмерных цифровых моделей Шуховской башни / В.А.Вальков, М.Г.Мустафин, Г.В.Макаров // Записки Горного института. 2013. № 204. С. 58-61.



4. Васильев Г.Г. Применение наземного лазерного сканирования для оценки напряженно-деформированного состояния алюминиевых крыш резервуаров / Г.Г.Васильев, И.А.Леонович, А.П.Сальников // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 10. С. 11-17.
5. Демченко В.Г. Технические требования к укрупненным трубным узлам технологической обвязки объектов ОАО «Газпром» / В.Г.Демченко, С.И.Гараев, М.А.Могушков // Газовая промышленность. 2014. № 3 (703). С. 40-45.
6. Кулеш В.В. Применение высокоточных методов лазерного сканирования при создании детализированных цифровых копий объектов / В.В.Кулеш, Г.И.Худяков // Записки Горного института. 2013. № 204. С. 37-39.
7. О проведении работ по трехмерному лазерному сканированию РВСН 20000 / Г.Г.Васильев, М.А.Лежнев, А.П.Сальников, И.А.Леонович, А.А.Катанов, М.В.Лиховцев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 1 (17). С. 54-59.
8. Проблемы и перспективы использования наземного лазерного сканирования при обследовании резервуаров / Г.Г.Васильев, М.А.Лежнев, И.А.Леонович, А.П.Сальников // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 1. С. 21-24.
9. Солодовников А.В. Проектирование элементов оборудования опасных производственных объектов (предприятий нефтегазового комплекса) с использованием Solidworks / А.В.Солодовников, Р.Р.Тляшева // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. № 2. С. 54.
10. Egorova O. Creating technical heritage object replicas in a virtual environment / O.Egorova, D.Shcherbinin // Frontiers of mechanical engineering. 2016. Vol. 11. P. 108-115.
11. Moskovchenko D.V. Characteristics of long-term dynamics of the Bovanenkovo gas field vegetation (The Yamal Peninsula) // Tyumen State University Herald. 2013. Vol. 12. P. 47-54.
12. Pogodaeva T.V. The structural features of the economy of the Yamalo-Nenets autonomous district / T.V.Pogodaeva, D.A.Artyukhov // Tyumen State University Herald. 2012. Vol. 11. P. 43-47.
13. Xue B. Architectural stability analysis of the rotary-laser scanning technique / B.Xue, X.Yang, J.Zhu // Optics and lasers in engineering. 2016. Vol.78. P. 26-34.

Авторы: С.Н.Меньшиков, канд. экон. наук, генеральный директор, manager@nadym-dobycha.gazprom.ru (ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Россия), А.А.Джалябов, начальник управления, manager@nadym-dobycha.gazprom.ru (ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым, Россия), Г.Г.Васильев, д-р техн. наук, заведующий кафедрой, srgnp@gubkin.ru (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия), И.А.Леонович, канд. техн. наук, старший преподаватель, srgnp@gubkin.ru (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия), О.М.Ермилов, д-р техн. наук, академик, директор, ipgg@ipgg.sbras.ru (Ямало-Ненецкий филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука, Новосибирск, Россия)

Статья поступила в редакцию 14.02.2019.

Статья принята к публикации 05.04.2019.