

Преимущества использования узлов внутрицеховых трубопроводов, агрегатированных с арматурой

С.Л. Горобченко, руководитель направления ЗАО «МЕТСО АВТОМАТИЗАЦИЯ», Санкт-Петербург,
М.А. Бондарчук, директор ООО «Энергоресурс», Санкт-Петербург

При строительстве предприятий химической и нефтехимической промышленности стоимость монтажа технологических трубопроводов в общем объеме монтажных работ достигает 40%. Вес внутрицеховых трубопроводов составляет до 45% общего веса трубопроводов, в свою очередь, общий вес арматуры и крепежа в технологических внутрицеховых трубопроводах может составлять до 28% от веса труб. Кроме того, на каждые 100 м таких трубопроводов приходится выполнять до 80-100 сварных стыков.

Монтаж внутрицеховых технологических трубопроводов – процесс весьма трудоемкий и, как правило, не слишком технологичный: затраты труда и времени высоки, но при этом гарантировать качество сложно. А некачественный монтаж чреват целым рядом проблем при дальнейшей эксплуатации арматуры.

Наиболее часто эти проблемы связаны с засорением труб монтажными материалами. По данным сервисной службы МА¹, до 80-90% аварийных остановов по причине сбоев в работе арматуры происходит по вине инородных предметов. При пуске таковыми могут оказаться сварочные электроды, болты, гайки, ветошь и даже рукавицы, попавшие в трубы из-за несоблюдения правил монтажа. А в период эксплуатации в трубах могут обнаружиться куски ржавчины, сварочного грата, образовавшегося при множестве сварочных работ, иные инородные твердые и абразивные частицы и предметы.

Другие проблемы связаны с тем, что при сборке «по месту» из-за натяга возникают повышенные напряжения в трубопроводе, приводящие к пульсациям и вибрациям. Отклонения между трубами при сборке под сварку означают рост местных гидравлических сопротивлений, значит, увеличение числа гидравлических ударов, усиление гидроабразивного и эрозионного износа.

Ручная сборка «по месту» всех элементов трубопроводов влечет снижение качества сварки. При наличии непроваров сварных швов резко проявляется концентрация напряжений, приводящая к разрыву, сколам грата даже при незначительных перепадах температур. Кроме того, сварочные напряжения имеют тенденцию передаваться на фланцы и корпус установленной арматуры, что ведет к преждевременному выходу ее из строя. Неприменима ручная сборка к элементам автоматической арматуры с большим количеством навесных элементов, специально проектируемых, качество сборки которых в значительной степени влияет на работоспособность арматуры (*рис. 1*).

¹ МА – «МЕТСО АВТОМАТИЗАЦИЯ».



Рис. 1

Чтобы отыскать пути повышения эффективности монтажа с точки зрения технико-экономических показателей дальнейшей эксплуатации внутрицеховых технологических трубопроводов, обратим внимание на то, что значительная часть арматуры комплектуется в определенных узловых пунктах системы. Такие узлы могут производиться на отдельных специально оборудованных производственных площадках, поставляться и монтироваться в трубопровод как цельные агрегаты, что позволит устранить многие проблемы.

Пример однотипного агрегатированного узла показан на *рис. 2*.



Рис. 2

Таблица 1. Расчет возможности агрегатирования арматуры в узлы

| № | Наименование | Количество | | | |
|---|------------------------------------|------------|-------|----------------------------|----|
| | | единиц | узлов | клапанов и арматуры в узле | % |
| 1 | Тепломеханическое оборудование | 29 | | | |
| 2 | Арматура | 160 | | | |
| 3 | Арматура, объединенная в узлы | 63 | | | 39 |
| 4 | Узлы | | | | |
| | – регулирующего клапана | | 5 | 4-6 шт. | 12 |
| | – клапан – манометр | | 24 | 1 | 57 |
| | – клапан – измерительная диафрагма | | 4 | 2 | 9 |
| | – клапан – обратный клапан | | 13 | 2 | 31 |

В таблице 1 приведена оценка возможности агрегатирования в узлы арматуры производственной котельной, вырабатывающей технологический пар до 16-25 атм.

Видно, что в узлы объединены до 40% единиц арматуры. Из них в легко объединяемые узлы может быть сформировано до 61 ед. Треть из них приходится на наиболее ответственный узел регулирующего клапана с количеством до 6 шт. на узел. Отдельно стоящая арматура, которую нецелесообразно объединять в узлы и которая должна монтироваться на месте, составляет не более 27%. Остальные примерно 30% приходятся на обвязочные трубопроводы технологических агрегатов, которые поставляются, как правило, вместе с ними.

Таким образом, арматура может быть легко объединена в узлы, большую часть из которых можно произвести индустриальным способом. Индустриализация и механизация работ по изготовлению трубных узлов, агрегированных с арматурой, значительно повысит эффективность как монтажа, так и дальнейшей эксплуатации.

Применение при монтаже готовых узлов, централизованно изготовленных в трубозаготовительных цехах, с установленной и протестированной заранее арматурой, позволяет в значительной степени упростить технологию и организацию монтажа трубопроводов. Это до 5-6 раз снижает объем работ, выполняемых непосредственно на строительной площадке. При этом сроки монтажа трубопроводов сокращаются в 3-4 раза. За счет роста производительности труда общая трудоемкость монтажа трубопроводов снижается примерно на 40%. Уменьшаются организационные потери, ликвидируется зависимость производства работ от метеорологических условий, сокращаются отходы и потери материалов. Снижаются расходы на хранение материалов на месте монтажа, тем более возможна поставка готовых узлов по графику под нужды монтажа.

В институте ВНИИМСС² разработана классификация конструкций узлов, которая позволила свести все многообразие их конфигураций к 17 группам, имеющим общий характер формообразования. Они отличаются количеством и взаимным расположением входящих в них участков типа «Г», «Т», «П» и др. Оборудование трубозаготовительных цехов также стандартизировано под выполнение операций по сборке и сварке таких узлов. В частности,

² ОАО «ВНИИ Монтажспецстрой», Москва.

Таблица 2. Характеристики трубных узлов

| № | Характеристика | % |
|---|--|----|
| 1 | Плоские узлы | 87 |
| | Из них приходится на элементы | 27 |
| 2 | Пространственные узлы | 13 |
| | Из них 95% приходится на параллельно-пространственные узлы | |
| 3 | Габаритные размеры | |
| | Менее 3,5 м | 88 |
| | Более 6 м | 6 |

применяется преимущественно автоматическая сварка (в поворотном положении до 58% от общего количества стыков), что существенно улучшает качество.

Появляется возможность разработать пооперационный технологический процесс, специализировать оборудование, такой подход способствует упорядочению технической и нормативной документации. Каждый из собранных вместе с арматурой узлов после испытаний вносит свой вклад в повышение надежности монтажа и устранение неисправностей с первого предъявления. В таблице 3 приведены данные по процентному соотношению узлов трубопроводов в зависимости от условного прохода, характерного для химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Таблица 3. Процентное соотношение узлов трубопроводов в зависимости от условного прохода DN

| DN, мм | Процент узлов, % | |
|-----------|------------------|----------|
| | По весу | По длине |
| 50 | 4,9 | 23,5 |
| 70 и 80 | 8,37 | 20,12 |
| 100 | 10,47 | 18,15 |
| 125 и 150 | 17,16 | 17,2 |
| 200 | 17,25 | 9,2 |
| 250 | 13,91 | 5,24 |
| 300 | 7,47 | 2,12 |
| 350 | 6,65 | 1,62 |
| 400 | 7,8 | 1,68 |
| 500 | 6,02 | 1,17 |

Таблица 4. Показатели изготовления узлов трубопроводов

| № | Наименование операции | Монтаж на монтажной площадке | Монтаж узлов в трубозаготовительном цехе |
|----|--|---|--|
| | | Склад | |
| 1 | Детали трубопроводов (колена, тройники и т.п.) | Обычно не используются | Большая часть заводского изготовления |
| | Арматура | В неотпливаемом складе | В отапливаемом складе |
| 2 | Очистка и грунтовка | Шлифовальной машинкой | На специализированной очистительной установке, пневмоинструмент |
| 3 | Разметка | Вручную, на простейших сборочных приспособлениях | На разметочном стенде |
| 4 | Резка | Газорезкой | Лазер, плазма, спец. мех. инструмент по контуру |
| 5 | Правка концов | Вручную | Специнструмент |
| 6 | Обработка торцов, нарезка, вырезка отверстий | Вручную | Специнструмент |
| 7 | Изготовление сварных деталей | Ручная сварка | Полуавтоматическая сварка, как правило, под флюсом |
| 8 | Гибка труб | Обычно заменяется резкой на сегменты и сваркой вручную с формированием участка из прямолинейных участков труб | Гибка на станке в условиях кузнечного цеха или на специальном трубогибном станке |
| 9 | Комплектование | Разовые договоры | По рамочным договорам со скидками |
| 10 | Сборка элементов | На простейших стендах | На специализированных стендах |
| 11 | Сварка | Ручная | Полуавтоматическая на станках и стендах, выполнение технологии стандарта TIG |
| 12 | Сборка узлов с арматурой | Вручную с использованием простых центровочных и выверочных приспособлений | С машинной центровкой и обеспечением необходимых динамометрических моментов, проверкой на напряжение в арматуре и фланцах, их устранением |
| 13 | Контроль, гидроиспытание | Как правило, подключением воды/воздуха с подачей давления от сети технологического воздуха/воды. При этом показатели обычно занижены, поскольку в сети зачастую подается воздух давлением менее 4 атм | Проверка на стендах с соблюдением норм 1,2-1,3Р от рабочего. Наиболее эффективно при увеличении числа сварных стыков, узлов с арматурой, приборами контроля и автоматики |
| | Рентгеноскопия, гамма-дефектоскопия, ультразвуковой контроль | Производится с использованием ручных приборов | Проверка специализированными приборами в наиболее благоприятных стационарных условиях |

Как видно, большая часть по весу и по длине падает на размеры 50-250 мм, где наиболее часто используется поворотная регулирующая арматура. Сравним основные показатели изготовления узлов трубопроводов в трубозаготовительном цехе и на монтажной площадке, **таблица 4**.

Из приведенных данных видно, что изготовление арматурных узлов в условиях трубозаготовительного цеха дает значительно более высокие гарантии качества монтажа.

Отдельное внимание следует уделить фланцевым соединениям с арматурой. Сборка трубного узла с арматурой с фланцами является одной из наиболее распространенных и ответственных операций, т.к. разуплотнение фланцевого соединения в процессе эксплуатации вызывает необходимость отключения трубопровода. Наиболее часто пропуски среды через неплотности фланцевых соединений происходят вследствие слабой затяжки фланцев, перекосов между плоскостями фланцев, некачественной очистки уплотнительных поверхностей фланцев перед установкой прокладки, неправильной установки прокладки между фланцами, применения некачественного прокладочного материала. Отклонение от перпендикулярности фланца к оси трубы (перекос), измеренное по наружному диаметру фланца, не должно превышать 0,2 мм на каждые 100 мм диаметра трубопровода, предназначенного для характерного для химической промышленности и ЦБП давления до 16 атм. Выполнение операций сборки на стендах позволяет свести трудоемкость этих ответственных операций к

минимуму. С учетом возможных ошибок необходимость в использовании специального стенда для сборки с клапанами повышается еще больше.

Некачественный монтаж оказывает значительное влияние и на рост гидравлических сопротивлений, которые можно оценить через эквивалентную шероховатость труб (**таблица 5**).

Из **таблицы 5** видно, что замена обычных коммерческих труб традиционного качества на цельнотянутые или шлифованные дает снижение гидравлического сопротивления до 2 раз и более, особенно с ростом срока эксплуатации.



Рис. 3.

Фото с сайта: <http://www.uralmm.ru>

Таблица 5. Характеристика шероховатости труб

| № | Тип трубы | Эквивалентная шероховатость труб |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Бесшовные стальные | | |
| 1 | Новые | 0,02 |
| | После нескольких лет эксплуатации | 0,04 |
| Стальные сварные | | |
| 2 | Новые | 0,04 |
| | Бывшие в эксплуатации | 0,15 |
| Трубопроводы пароконденсатной системы | | |
| 3 | Паропроводы | 0,2 |
| | Конденсатопроводы | 0,1 |
| | Вода, включая теплую, осветленную | 0,5-1,0 |
| 4 | Сварные шлифованные | 0,0015-0,01 |
| 5 | Цельнотянутые трубы | 0,0015-0,01 |

При движении сложных высоковязких сред, например, бумажной массы, местные гидравлические сопротивления могут достигать больших значений по сравнению с общим перепадом давлений. Это наиболее характерно для внутрицеховых и обвязочных трубопроводов, где количество сложных переходов велико. Наличие сложных перпендикулярных соединений в обвязочных узлах приводит к необходимости большего расхода мощности насоса. Устранить это удастся при использовании гнутых переходов вместо более простых перпендикулярных стыков. Однако, при сборке по месту в большинстве случаев стыки делают прямыми, дабы облегчить монтаж. В случае же заводского изготовления эти участки могут быть выполнены гнутыми. За счет увеличения симметричности входа в сложные соединения, например, тройники, потери напора могут быть сокращены еще больше, см. таблицу 6.

Расчет показывает, что при среднем нормативном количестве до 80 сварных стыков на развертке обвязочного трубопровода диаметром 200 мм и длиной 100 м, рост дополнительных гидравлических сопротивлений составит от 30% и до 3,5 раз. Поэтому применение узлов заводского изготовления является важным резервом снижения потребляемой мощности насосов.

Для трубопроводов из высоколегированных сталей, как правило, применяемых в химической промышленности и ЦБП, эффект от агрегатирования арматуры в трубные узлы будет еще выше. Монтаж, выполненный

Таблица 6. Местные гидравлические сопротивления различных участков трубопроводов

| № | Местное гидравлическое сопротивление | Ориентировочное значение коэффициента |
|---|---|---------------------------------------|
| 1 | Отводы крутоизогнутые и плавные при угле поворота и радиусом поворота в т.ч. | |
| | Отводы плавные при угле поворота 90° | 0,1-0,42* |
| | Отводы плавные стандартные при R/d 1,5 и угле поворота 90° | 0,34 |
| 2 | Отводы стальные секционные, сварные | 0,4 |
| 3 | Тройник | |
| | Проход | 0,35 |
| | Боковое ответвление | 1,5 |
| | При симметричном слиянии потока | 0,1-0,2 |
| | При симметричном разделении потока | 2,5 |

индустриальным методом, снимет традиционные проблемы некачественного монтажа регулирующих узлов, а именно: вопросы использования стяжек, выполнение требований к нагреву и охлаждению при сварке, разметке, требований минимума подгоночных операций и только механической зачистки, требований к сертификации персонала и знания им особенностей сварки конкретных марок сталей, и др.

Высокая эффективность агрегатирования арматуры достигается и при реконструкции предприятий с заменой устаревшей арматуры, старой изоляции и труб.

Так, по примеру расчета для Череповецкой ГРЭС, комплексная реконструкция арматурного блока высокого давления паропровода с использованием поворотных затворов MAPAG вместо клапанов и клиновой арматуры, заменой изоляции на керамические покрытия, примене-



Рис. 4.

нием современных электроприводов, перепланировкой с компактным размещением арматурного блока позволит в 1,5 раза уменьшить площади, занимаемые трубным узлом, сформировать площадки обслуживания, в целом уменьшить протяженность участка за счет общего уменьшения строительной длины арматуры.

Еще более интересны коммерческие преимущества от агрегатирования, которые в настоящее время еще упускаются из виду, а именно:

- возможность разделения и фиксации цены на изготовление и монтаж узлов и монтажные работы по месту, что позволит в целом снизить затраты на стандартные узлы;
- снижение затрат на комплектование, проверку, неиспользуемые материалы и неликвиды, остающиеся в процессе монтажа;
- при включении в комплексный проект — это возможность выделить из монтажных работ стоимость материалов, заменить

ее в учете стоимостью готового комплектного узла, учитываемого уже как оборудование, что снизит балансовую стоимость услуг и повысит показатели основных фондов;

- ускорение сроков ввода трубопроводных обвязок в эксплуатацию;
- закладывание современных проектных решений по индустриализации монтажа и повышения качества уже на первом этапе разработки сметной стоимости строительства позволяет заметно снизить ее;
- работа с уполномоченными партнерами позволяет гарантировать качество и отсутствие претензий, повышение уровня гарантий и снижение рисков при передаче выполнения в сертифицированную организацию. Так, использование более современных технологий, включая сварку по TIG технологии, использование более качественных и более тонкостенных труб, использование обученного персонала позволяет снизить затраты, по отношению к традиционно принятым способам монтажных работ;
- компании производители оборудования, получая качественный монтаж трубопроводов и трубопроводной арматуры в условиях сертифицированного трубозаготовительного цеха уполномоченного партнера, получают возможность расширить гарантии для заказчиков.

Выбор уполномоченного партнера, способного качественно произвести и поставить трубные узлы с агрегированной в них арматурой, лучше всего производит-

ся по территориальному признаку. Учитывая важность показателя транспортировки готовых укрупненных узлов с клапанами, территория СНГ может быть разбита на несколько зон, где в поставке готовых комплектов принимают участие территориальные монтажные организации, имеющие производственную базу и квалифицированный персонал. Ниже приводится перечень партнеров, участие которых возможно в программе создания агрегированных узлов с арматурой Metco:

- Северо-Запад и Центральные район – «Энергоресурс», «Петрозаводскмаш», «Союзпромбуммонтаж»;
- Урал и Сибирь – «Пермское монтажное управление», филиалы монтажных организаций при крупных химкомбинатах и ЦБК;
- Украина – «Техномонтаж» и «Днепротяжбуммаш»;
- Белоруссия – «Могилевтехмонтаж».

Заключение

В случае обоснованного агрегирования арматуры в арматурные узлы можно получить значительную экономическую эффективность. Ее можно достигнуть на этапе проектирования, монтажа и эксплуатации внутривидовых и обвязочных трубопроводов, а также при реконструкции трубных блоков предприятий. При этом значительное внимание следует уделить работе с авторизованными партнерами по проектированию и монтажу.