

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЕГУЛИРУЮЩЕГО АНТИПОМПАЖНОГО КЛАПАНА

М.В. Погорелов, АО «Атоммашэкспорт» (Волгодонск, Россия), pogorelov@atomexp.ru

В.П. Нефедцев, АО «Атоммашэкспорт», nefedsev@atomexp.ru

Во всем многообразии типов и видов трубопроводной арматуры, применяемой на газовых объектах, особое место занимают регулирующие антипомпажные клапаны осевой конструкции. Это одно из наиболее сложных технических устройств с точки зрения конструкции и технологии изготовления, предназначенное для эксплуатации в жестких условиях динамического воздействия рабочей среды.

АО «Атоммашэкспорт» освоило серийное производство и поставку на объекты ПАО «Газпром» в качестве импортозамещающей продукции регулирующих антипомпажных клапанов для объектов магистрального транспорта газа. В компании успешно решаются вопросы, возникающие на этапе конструирования и изготовления новой техники. Данный процесс сопровождается формированием методологии выполнения многочисленных расчетов, направленных на максимально точное моделирование условий реальной эксплуатации, а также верификацией этих расчетов.

Внедрение новых методик расчета при разработке и изготовлении регулирующих антипомпажных клапанов позволяет обеспечить их надежную эксплуатацию. Результаты выполненных работ подтверждаются при эксплуатации оборудования на компрессорной станции «Сынинская» ООО «Газпром трансгаз Ухта».

Современные магистральные газопроводы (МГ) представляют собой комплекс сложных инженерных сооружений, насыщенный различным технологическим оборудованием и оснащенный автоматическими средствами управления, защиты и контроля.

Неотъемлемой частью МГ является трубопроводная арматура, безотказная работа которой во многом способствует повышению надежности его эксплуатации. Для обеспечения работы центробежных нагнетателей и защиты от явления помпажа используются автоматические регуляторы – антипомпажные клапаны (АПК), которые поддерживают необходимый расход транспортируемой среды (рис. 1). Системы автоматической защиты срабатывают при внезапных значительных изменениях характеристик нормального технологического режима. Они защищают оборудование и не допускают работу нагнетателя в зоне помпажа, обеспечивая высокую эффективность работы нагнетателя. Областью применения регулирующих АПК являются производственные объекты добычи, транспорта и подземного хранения газа.

РЕГУЛИРУЮЩИЕ КЛАПАНЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Более 30 лет в обвязке газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях (КС) ПАО «Газпром» применялись регулирующие

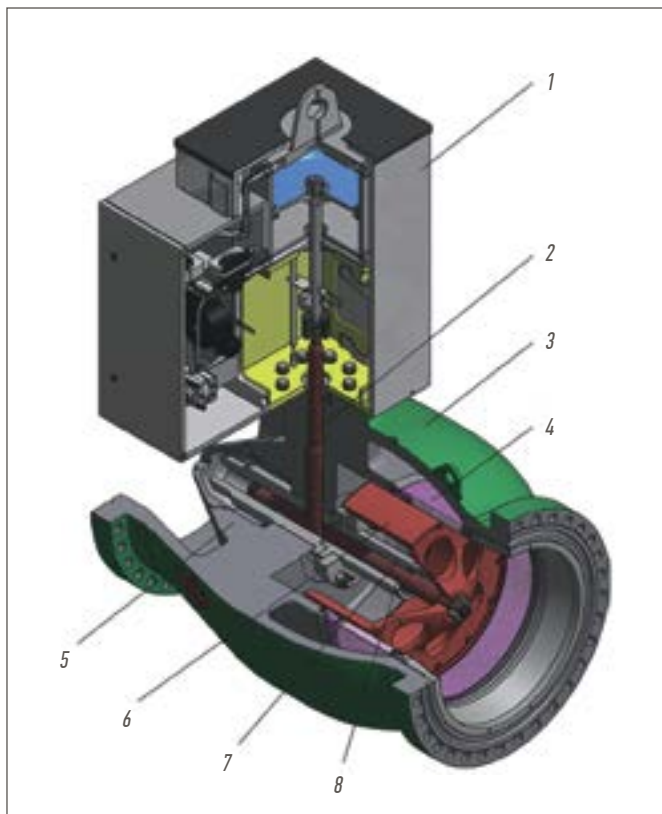


Рис. 1. Клапан регулирующий антипомпажный: 1 – пневмопривод; 2 – шпindelь; 3 – корпус; 4 – сепаратор; 5 – обтекатель; 6 – поршень; 7 – втулка; 8 – шток

АПК преимущественно зарубежного производства: компаний Mokveld Valves BV (Нидерланды), Neles (Финляндия), Fisher (США). По мере усиления взятого курса на импортозамещение встал вопрос о необходимости создания и применения регулирующей арматуры отечественного производства. АО «Атоммашэкспорт» (г. Волгодонск) стало первым отечественным производителем АПК, который прошел испытания и был рекомендован к применению на объектах магистрального транспорта газа ПАО «Газпром». В декабре 2016 г. состоялась отгрузка первого регулирующего клапана для применения на объектах ПАО «Газпром».

Путь создания, отработки и совершенствования конструкции и технологии изготовления, который зарубежные изготовители проходили десятилетиями, в условиях российского производства сократился до нескольких лет. Ситуация усугубляется тем, что до недавнего времени отечественным машиностроением не выпускались ни АПК, ни пневматические приводы к ним, ни комплектующие, недостаточно сформирована необходимая нормативная база, отсутствуют специальные испытательные стенды, имеется ряд технологических ограничений (сортамент отечественных конструкционных материалов, литейные технологии, технологии поверхностного упрочнения и др.). Тем не менее, несмотря на все трудности, фиксируется положительный опыт создания и эксплуатации АПК отечественного производства на объектах ПАО «Газпром».

КОНСТРУИРОВАНИЕ АПК

Важнейший этап жизненного цикла продукции, обеспечивающий надежную и эффективную эксплуатацию АПК, – этап конструирования и опытно-конструкторской отработки изделия, в ходе которого должно предотвращаться подавляющее большинство потенциальных отказов. Данный этап может и должен проходить при тесном

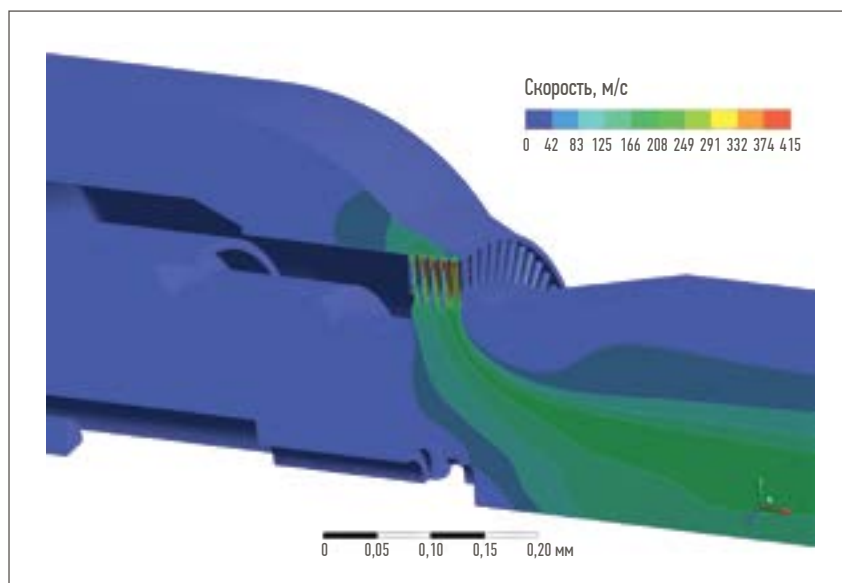


Рис. 2. Газодинамический расчет

сотрудничестве конструкторов и специалистов, имеющих опыт эксплуатации соответствующего оборудования.

На стадии конструирования АПК осесимметричной конструкции выполняется значительное количество расчетов: прочности, надежности, сейсмостойкости, силовой и газодинамической. Расчеты прочности, надежности и сейсмостойкости осуществляются в соответствии с действующими нормами и методами расчетов, приведенными в государственных стандартах, что позволяет обеспечивать высокую достоверность их результатов. Для выполнения силовых и газодинамических расчетов не существует нормативной базы, встречаются лишь отдельные рекомендации, не имеющие прямого отношения к АПК. Методики выполнения силовых и газодинамических расчетов создаются разработчиками АПК и являются их ноу-хау.

Целью газодинамического расчета является определение пропускной способности с учетом

газодинамических характеристик компрессора, пропускной способности, особенностей воздействия потока рабочей среды на поверхности элементов проточной части клапана. После выполнения многочисленных итераций при выполнении расчетов осуществляется профилирование оптимальной геометрии элементов проточной части. Применяемые расчетные методы и программные средства позволяют анализировать характер потока рабочей среды в АПК, определять оптимальную, обладающую минимальным сопротивлением геометрию корпуса и элементов затвора – поршня и сепаратора (рис. 2). Полученные в результате газодинамического расчета данные, наряду с данными о статических нагрузках, используются также и в силовом расчете АПК.

Условным допущением в применяемых расчетных моделях является равномерность поля скоростей потока рабочей среды, задаваемая на входе в АПК. В условиях реальной эксплуатации на характер потока, входящего

АО «АТОММАШЭКСПОРТ» (Г. ВОЛГОДОНСК) СТАЛО ПЕРВЫМ ОТЕЧЕСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ АПК, КОТОРЫЙ ПРОШЕЛ ИСПЫТАНИЯ И БЫЛ РЕКОМЕНДОВАН К ПРИМЕНЕНИЮ НА ОБЪЕКТАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА ПАО «ГАЗПРОМ».



Рис. 3. Антипомпажный клапан DN 500 на КС «Сынинская»

Комиссией, созданной Департаментом 308 (В.А. Михаленко) ПАО «Газпром» в 2019 г., объединившей представителей ПАО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Ухта» и АО «Атоммашэкспорт», проделана масштабная работа по анализу причин некорректной работы (затрудненное перемещение и приостановка) регулирующих АПК DN 500 производства АО «Атоммашэкспорт» в обвязке ГПА-32 «Ладога» на КС-7 «Сынинская» компрессорного цеха КЦ-2 МГ Бованенково – Ухта.

расчетного воздействия потока газа, на клапан оказывает влияние нерасчетное воздействие, имеющее вибрационный характер, вызванный особенностями потока рабочей среды на входе в АПК. Явления подобного типа, вызванные вибрационным воздействием рабочей среды, в регулирующей арматуре различных технологических установок не редкость.

Для оценки такого влияния на подвижные элементы АПК – поршень со штоком – создана расчетная конечно-элементная модель клапана и выполнен модальный анализ в программном комплексе ANSYS. Расчет выполнен для нескольких взаимных положений поршня относительно сепаратора. При создании модели учитывалась осевая нагрузка на поршень, определенная по результатам газодинамического анализа.

Результаты модального анализа показали наличие низших собственных частот подвижных элементов конструкции клапана в диапазоне ниже 100 Гц. В ряде нормативных документов гарантией работоспособности арматуры при вибрационном воздействии считается отсутствие в конструкции собственных частот ниже 100 Гц. Кроме того, проанализированы

в АПК, влияет множество факторов: режим работы ГПА, конструкция проточной части ГПА, трассировка трубопроводов обвязки ГПА, расположение опор трубопроводов и др. Следовательно, реальный поток газа на входе в клапан имеет турбулентность, завихрения, пульсации системного и случайного характера. Отсутствуют технические средства, позволяющие выполнять измерения и достоверное моделирование реального потока газа в присоединенном к входному патрубку АПК трубопроводе. Выполненный с учетом такого допущения газодинамический расчет не позволяет в достаточной мере смоделировать реальные условия эксплуатации и гарантировать надежную, предсказуемую работу АПК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Комиссией, созданной Департаментом 308 (В.А. Михаленко) ПАО «Газпром» в 2019 г., объединившей представителей ПАО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Ухта» и АО «Атоммашэкспорт», проделана масштабная работа по анализу причин некоррект-

ной работы (затрудненное перемещение и приостановка) регулирующих АПК DN 500 производства АО «Атоммашэкспорт» в обвязке ГПА-32 «Ладога» на КС-7 «Сынинская» компрессорного цеха КЦ-2 МГ Бованенково – Ухта (рис. 3). Выдвинут ряд предположений: в частности, что, помимо основного

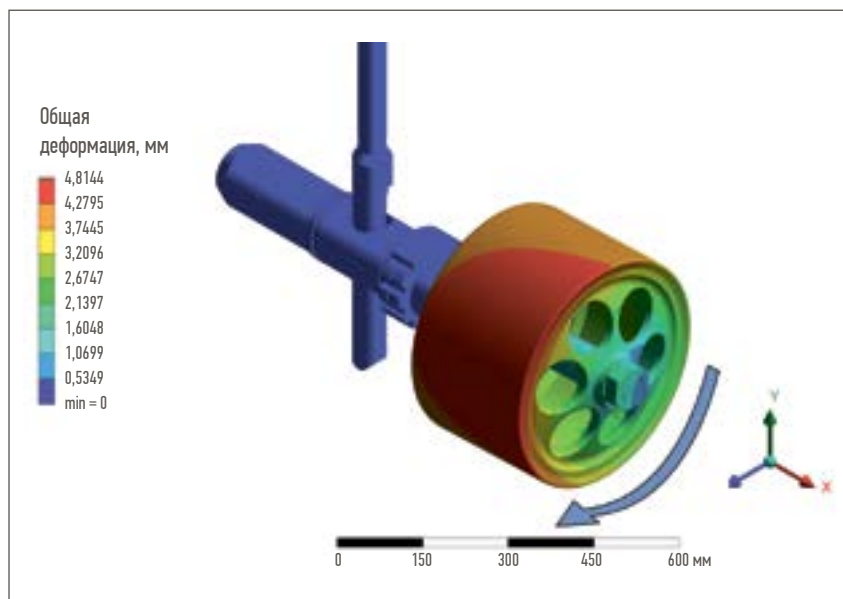


Рис. 4. Антипомпажный клапан открыт на 20 %. Собственная форма № 2. Частота 38,1 Гц

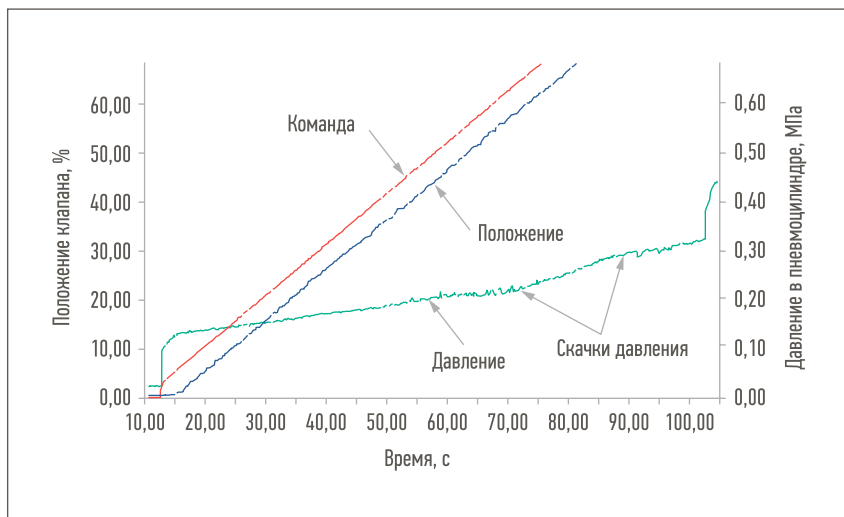


Рис. 5. Изменение усилия на резонансной частоте

ПО РЕШЕНИЮ ПАО «ГАЗПРОМ» НА КС «СЫНИНСКАЯ» ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ УХТА» В ИЮЛЕ 2019 Г. ПРОВЕДЕНЫ УСПЕШНЫЕ ПРИЕМОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕГУЛИРУЮЩЕГО АПК DN 500 PN 12,5 МПа В КОМПЛЕКТЕ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ППРО-212-140000-500 ПРОИЗВОДСТВА АО «АТОММАШЭКСПОРТ». КЛАПАН РЕКОМЕНДОВАН К ПРИМЕНЕНИЮ НА ОБЪЕКТАХ ПАО «ГАЗПРОМ».

формы собственных частот. Из всех форм частот, способных оказать существенное влияние на характер работы реечного механизма клапана, можно выделить форму № 2 (рис. 4), на которой колебания имеют характер кручения. Вибрационное воздействие на этих частотах приводит к появлению крутящего момента на штоке клапана и значительному изменению пятна контакта в сочленении зубьев реечного механизма. Экспериментально определено, что даже незначительный крутящий момент на штоке клапана приводит к резкому увеличению усилия на шпинделе клапана, существенно ухудшается плавность перемещения.

Для проверки результатов модельного анализа в специализированной лаборатории проведены испытания на вибростойкость АПК DN 400 и DN 500, оснащенных пневматическими приводами. В диапазоне от 0,5 до 100 Гц с шагом в 1 Гц на вибростенде создавалось ускорение 1,0 g одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях (наиболее жесткое

по результатам расчетов сочетание нагрузок). На каждой из частот осуществлялось открытие-закрытие клапанов пневмоприводами со скоростью 1 %/с. Развиваемые пневмоприводами усилия анализировались по датчикам давления позиционеров пневмоприводов. Характерные локальные повышения усилий пневмоприводов зафиксированы на определенных расчетах резонансных частотах, имеющих форму крутильных колебаний (рис. 5). Вне резонансных частот во всем диапазоне вибрационного воздействия открытие-закрытие клапанов осуществлялось плавно, без характерных изменений развиваемых пневмоприводами усилий.

Для исключения негативного влияния вибрационного воздействия на работоспособность клапана приняты меры по отстройке собственных частот подвижных элементов конструкции клапанов за пределы диапазона 100 Гц путем повышения жесткости и снижения массы данных элементов. По результатам опытно-конструкторских работ в конструкцию АПК внесены

следующие изменения: уменьшена масса поршня, увеличено сечение штока, применена втулка реечного механизма цельной конструкции. Анализ информации о конструкции и эксплуатации АПК поздних годов выпуска зарубежного производства показал, что, по-видимому, аналогичным путем шли и иностранные разработчики.

По решению ПАО «Газпром» на КС «Сынинская» ООО «Газпром трансгаз Ухта» в июле 2019 г. проведены успешные приемочные испытания регулирующего АПК DN 500 PN 12,5 МПа в комплекте с пневматическим приводом ППРО-212-140000-500 производства АО «Атоммашэкспорт». Клапан рекомендован к применению на объектах ПАО «Газпром».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоение и эксплуатация новой продукции – это сложный организационный и технический процесс, требующий создания новых расчетных методик и подходов к конструированию, предельного внимания и ответственного отношения. Только в тесном сотрудничестве между заводом-изготовителем и эксплуатирующей организацией можно достигнуть необходимых результатов. АО «Атоммашэкспорт» в короткие сроки освоило и продолжает развивать производство такого важного для газовой промышленности оборудования, как АПК. В рамках корпоративной программы импортозамещения АПК сегодня используются при реализации ключевых инвестиционных проектов ПАО «Газпром». ■



АТОММАШЭКСПОРТ

АО «Атоммашэкспорт»
347387, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Карла Маркса, д. 44
Тел.: +7 (8639) 23-21-40
E-mail: atomexp@atomexp.ru
www.atomexp.ru