«ХИММАШ–АППАРАТ»: опыт в разработке пароэжекторных систем глубокого вакуумирования на «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ»

ООО «ХИММАШ–АППАРАТ» является ведущей промышленно–инжиниринговой компанией России, осуществляющей проектирование, производство и поставку высокоэффективного оборудования для нефтегазовой, нефтехимической, энергетической и атомной отраслей промышленности. Приоритетным направлением деятельности компании является проектирование, изготовление, поставка и монтаж емкостного, колонного, фильтрационного, станочного, массо– и теплообменного, перемешивающего оборудования; обрудования по чертежам и в блочно–модульном исполнении.

С.Ю. Агауров,
И.Н. Ласкин, Д.В. Ушаков

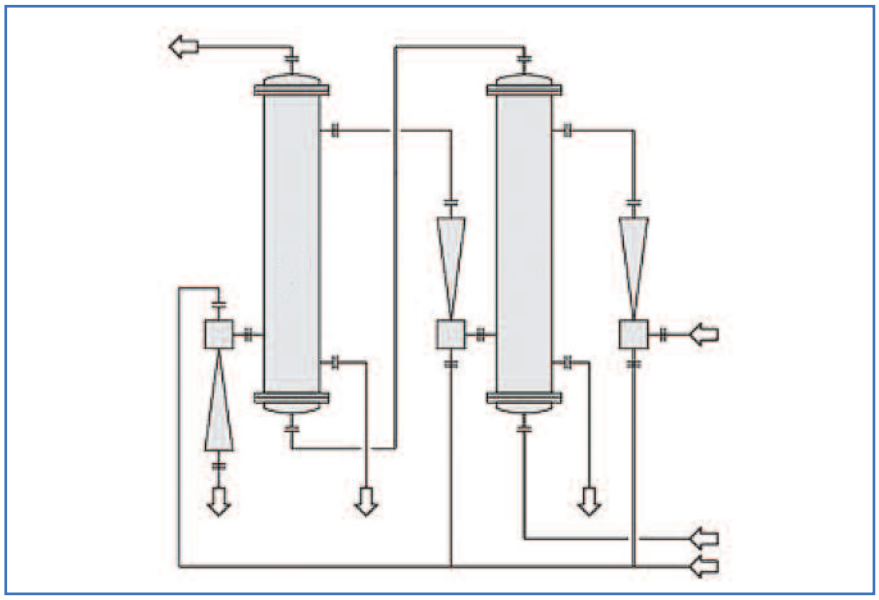
Отдельным направлением деятельности компании является разработка и поставка пароэжекторных вакуумных насосов, струйных вакуумных насосов, вакуум создающих систем, эжекторов, гидроэлеваторов и т.д. В частности, значительный опыт в проектировании, изготовлении, монтаже и запуске установок вакуумирования позволил компании «ХИММАШ–АППАРАТ» в 2018 году внедрить пароэжекторную вакуум–создающую систему (ВСС) ПЭУ–48 глубокого вакуумирования ректификационной колонны на заводе «ИМ» компании ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ».

Многоступенчатые пароэжекторные вакуумные насосы, состоящие из последовательно включенных по эжектируемой среде пароструйных эжекторов и теплообменников–конденсаторов, нашли широкое применение в нефтехимической промышленности (см. рис.1).

Эжекторно–конденсационные ступени поэтапно обеспечивают увеличение полного давления вакуумируемой среды от давления вакуума в колонне до атмосферного. В конденсаторах происходит отвод большей части водяного пара из тракта системы. Т.е. эжекторы, установленные за конденсаторами, сжимают не всю эжектируемую смесь, выходящую из эжекторов предыдущих ступеней, а только ее небольшую часть, состоящую из неконденсирующихся газов и небольшого расхода несконденсировавшегося пара. Несмотря на кажущуюся простоту, система вакуумирования является сложным взаимосвязанным «организмом», требующим мастерской настройки при запуске. Наиболее сложными в проектировании для газовых сред являются эжекторы со сверхзвуковым соплом Лаваля (сужение–расширение). Именно сверхзвуковое сопло позволяет достичь нужного уровня вакуума. Подачу высоконапорного газа можно осуществлять и через сужающееся сопло, однако в большинстве случаев использование сверхзвукового сопла эффективнее, поскольку не приводит к недорасширению («разбуханию») эжектирующего потока в начальной части камеры смешения.

Основной и практически непреодолимой сложностью в разработке системы ВСС в проекте для компании–заказчика явилось то, что параметры активной среды были неудовлетворительными для глубокого вакуумирования. Термодинамические параметры пара соответствовали окрестнос-

Рисунок 1. Типовая схема пароэжекторной ВСС с вертикальной подачей активной среды



ти насыщения пара. Теория течения в сопле Лаваля с метастабильным состоянием активной среды до конца не разработана. Процессы в сопле являются существенно неравновесными, с возникновением скачков конденсации, когда плотность среды на масштабе сопла может меняется на три порядка. Многие организации, специализирующиеся в разработке таких систем, отказались от предложения по разработке данного оборудования для заказчика.

В расчетах и проектировании эжекторов и конденсаторов ПЭУ–48 компанией «ХИММАШ–АППАРАТ» были использованы наработки ведущих научных школ отечественных аэрокосмических институтов. Также был применен инструмент математического моделирования для поверочных расчетов эжекторов (CFD анализ, см рис.2).

Для предотвращения появления конденсации до критического сечения (горла сопла), было принято решение сделать вход в горло сопел максимально коротким и плавным (профиль Витошинского), в противовес классическим представлениям. Критическое сечение было увеличено по сравнению с теорией идеального сопла, а диаметр расширения уменьшен. Кроме того, согласно традиционным представлениям, большую часть активного пара необходимо направлять на первую и вторую ступень, т.е. в самые крупные по габаритам эжекторы. Однако, приняв во внимание опыт создания подобных систем в аэрокосмическом НИИ ЦИАМ, большая часть (80 %) активного пара была направлена в последние, самые маленькие по габаритам эжекторы 3 и 4 ступеней.

Ещё одной сложностью, с которой столкнулись специалисты «ХИММАШ–АППАРАТ», оказались требования заказчика по обеспечению автоматического регулирования необходимой глубины вакуума с учетом особенностей используемого пара и ограничений по габаритно–монтажным параметрам. В результате тщательных расчетов, после подтверждения работоспособности и удовлетворения заданных исходных требований, было принято решение о вертикальном расположении эжекторов первой ступени, с подачей активного пара «снизу–вверх». Такое расположение не имеет значения для сухого пара, но создаёт проблему на линии его насыщения — конденсат в сопле приводит к эффекту захлебывания и срыву вакуума. Для решения данной проблемы и уменьшения конденсата на входе в эжекторы первой ступени был дополнительно установлен сепаратор.

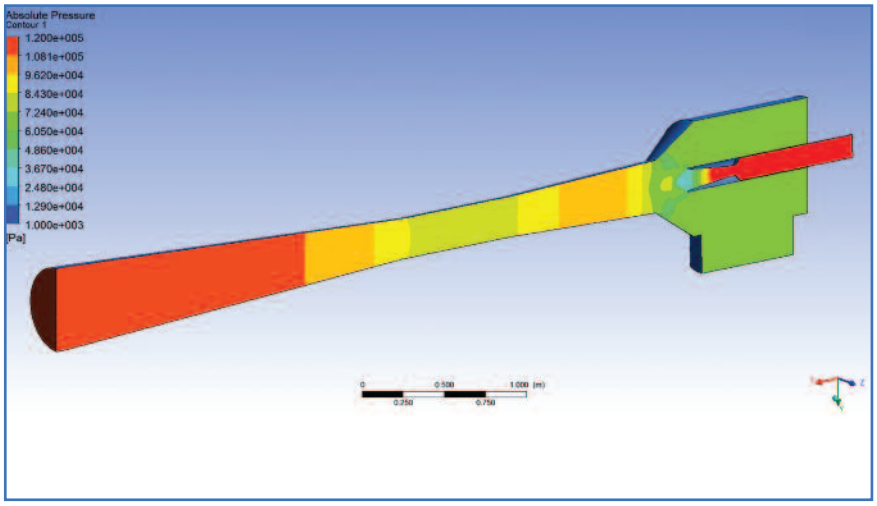


Рисунок 2. CFD анализ. Поле давления в эжекторе. Степень сжатия 5.4

Несмотря на все указанные трудности, в конце 2018 года установка ВСС ПЭУ–48 была успешно запущена специалистами по ПНР и вышла на проектные значения вакуумирования. Следует отметить, что в ходе реализации данного проекта компания «ХИММАШ–АППАРАТ» приобрела уникальный опыт работы над нестандартным оборудованием, который будет использован в будущем. В свою очередь, компания–заказчик получила современную пароэжекторную систему с высокой надежностью и возможностью обеспечивать автоматическую регулировку необходимой глубины вакуума, и улучшенными эксплуатационными показателями всей установки в целом. Успех реализации проекта для завода обеспечил высокий конструкторский и научно–технический потенциал «ХИММАШ–АППАРАТ», а также богатый опыт проектирования сложных промышленных объектов.

Необходимо подчеркнуть, что всё оборудование производства компании «ХИММАШ–АППАРАТ» прорабатывается детально на самом высоком научном уровне. Собственная материально–техническая база в сотрудничестве с ведущими проектными институтами и крупнейшими машиностроительными заводами позволяет спроектировать, изготовить и поставить пароэжекторные системы любой сложности.

ХИММАШ АППАРАТ

Промышленный Инжиниринг

Заказать пароэжекторные установки можно отправив письмо–запрос с техническими характеристиками на электронную почту info@him–apparat.ru. или по телефонам компании ООО «ХИММАШ–АППАРАТ» (495) 2 680 680, (495) 669 93 35