

УДК 621.513.32
doi:10.18720/SPBPU/2/id18-99

Кузнецов Леонид Григорьевич

Генеральный конструктор, д.т.н
office@compressor.spb.ru

Кузнецов Юрий Леонидович

Первый заместитель генерального директора, к.т.н
office@compressor-gaz.ru

Бураков Александр Васильевич

Начальник ЦКБ47otdel@compressor.spb.ru

АО «Компрессор» Санкт – Петербург, Россия

ПЕРСПЕКТИВНОЕ КОМПРЕССОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА

Аннотация. В статье приведен опыт АО «Компрессор» по созданию перспективного компрессорного оборудования для нефтегазового сектора на базе поршневых и роторных компрессоров. Рассматриваются вопросы 3D моделирования, расчета, исследования и оптимизации клапанов поршневого компрессора с учетом реальных свойств газа и фактических условий эксплуатации на примере четырехступенчатого поршневого компрессора методами вычислительной газодинамики. Применение оптимизации клапанов на стадии проектирования позволяет повысить энергоэффективность работы компрессора и избежать появления на ступенях высокого давле-

ния такого негативного явления как флаттер. Рассмотрен вопрос эффективной очистки и осушки природного газа высокого давления после компрессора с применением модифицированной технологии КЦА с дозированным нагревом газа регенерации.

Ключевые слова: компрессор, клапаны, газодинамика, осушка, природный газ, АГНКС, энергоэффективность

Kuznetsov Leonid G.

General Designer, Doctor of Engineering Sciences
office@compressor.spb.ru

Kuznetsov Yuri L.

First Deputy General Director, Candidate of Engineering Sciences
office@compressor.spb.ru

Burakov Alexander

Head of Central Design Bureau
47otdel@compressor.spb.ru

АО «Compressor», Saint Petersburg, Russia

PROSPECTIVE COMPRESSOR EQUIPMENT FOR THE OIL AND GAS SECTOR

Annotation. The article presents the experience of AO "Compressor" to create a prospective compressor equipment for the oil and gas sector on the basis of piston and rotor compressors. The problems of 3D modeling, calculation, research and optimization of piston compressor valves taking into account the real properties of gas and the actual operating conditions on the example of a four-stage piston compressor by computational gas dynamics methods are considered. The use of valve optimization at the design stage allows to increase the energy efficiency of the compressor and to avoid the appearance of such a negative phenomenon as flutter at the high pressure stages. The question of effective cleaning and drying of high-pressure natural gas after the compressor with the use of modified technology with dosed heating of regeneration gas is considered.

KEYWORD: compressor, valves, gas dynamics, drying, natural gas, energy efficiency.

АО «Компрессор» – флагман отечественного компрессоростроения, предприятие, с более чем 140 летней историей, является предприятием с и высоким научно-техническим потенциалом, сохраняющий традиции отечественной инженерной школы, в составе предприятия ЦКБ и завод по серийному выпуску высокотехнологичного компрессорного оборудования. На заводе используется современное технологическое оборудование и создан комплекс уникальных испытательных и измерительных стендов, на которых отрабатываются новые конструкции компрессоров и отдельных узлов. Выполняются научно-исследова-

тельские опытно-конструкторские работы по совершенствованию компрессоров и их элементов. Создаются агрегаты для очистки воздуха и газов от влаги, масла и механических частиц. Оборудован участок по изготовлению систем автоматического управления для выпускаемого на заводе оборудования. АО «Компрессор» имеет широчайший ассортимент серийно выпускаемой продукции низкого, среднего и высокого давления, применяемое в машиностроение, в металлургии, на транспорте, в строительстве, в медицине, в пищевой и других отраслях:

– компрессоры с конечным давлением от 0,7 до 40,0 МПа (винтовые, поршневые, мембранные);

- мультифазные газовые винтовые компрессоры высокого давления;
- компрессорные станции с полной или частичной автоматизацией;
- установки подготовки импульсного и топливного газа;
- газораспределительные станции;
- блочные дожимные компрессорные станции;
- блочные воздушные компрессорные станции;
- блоки фильтров топливного газа;
- сепараторы, водомаслоотделители и фильтры;
- блоки (рефрижераторные, адсорбционные, мембранные) очистки и осушки воздуха и других газов с давлением до 40 МПа.

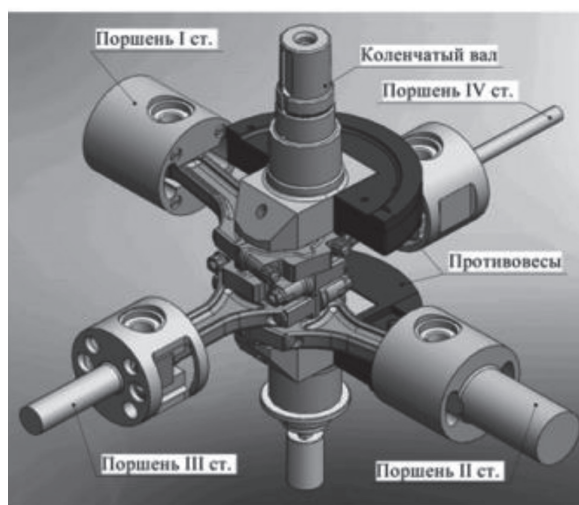
Сотрудничество с эксплуатирующими организациями, знание условий работы производимого оборудования, сочетание опыта и новых технологий позволяют разрабатывать более совершенные аналоги импортного оборудования, создавать инновационную продукцию.

В рамках программы импортозамещения разработана и запущена в серию автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС-БК150) с увеличенным до 150 количеством запра-

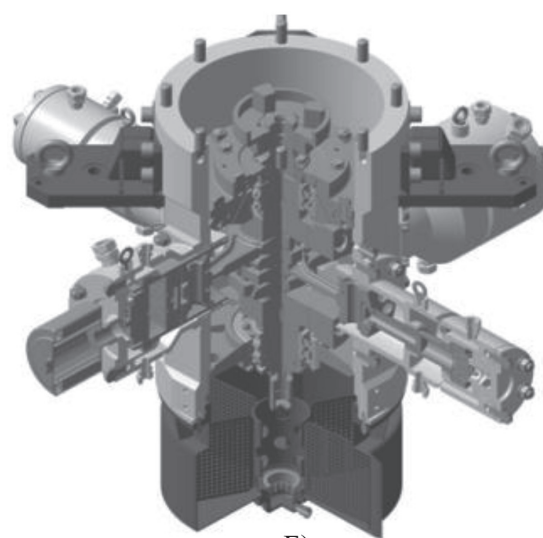
вок в сутки автотранспорта газом. Разработано отечественное оборудование для компактных АГНКС малой производительности (так называемых «мини-АГНКС»), работающих с любым диапазоном давления газа на входе. При этом давление, создаваемое на выходе, соответствует 24,5 МПа, а подготовка и осушка газа производится исходя из качества сжимаемого природного газа.

Так, для нужд газоперекачивающих и газонаполнительных станций АО «Компрессор» разработало поршневой компрессор с вертикальным расположением коленчатого вала (см. рисунках 1 и 2). Компрессор предназначен для сжатия метана или природного газа до конечного давления 24,5 МПа, осушенного и очищенного до требуемых параметров.

Уникальный вертикальный дизайн компрессора специально разработан для систем сжатия газа для установки на объектах, где есть ограничения по площади размещения оборудования, что позволяет размещать его в блок-боксах малого объёма и промышленных помещениях с ограниченной площадью, небольших автотранспортных предприятиях и на автотранспорте.



А)



Б)

Рис. 1. Схема вертикального компрессора:
А) механизм движения; Б) общий вид

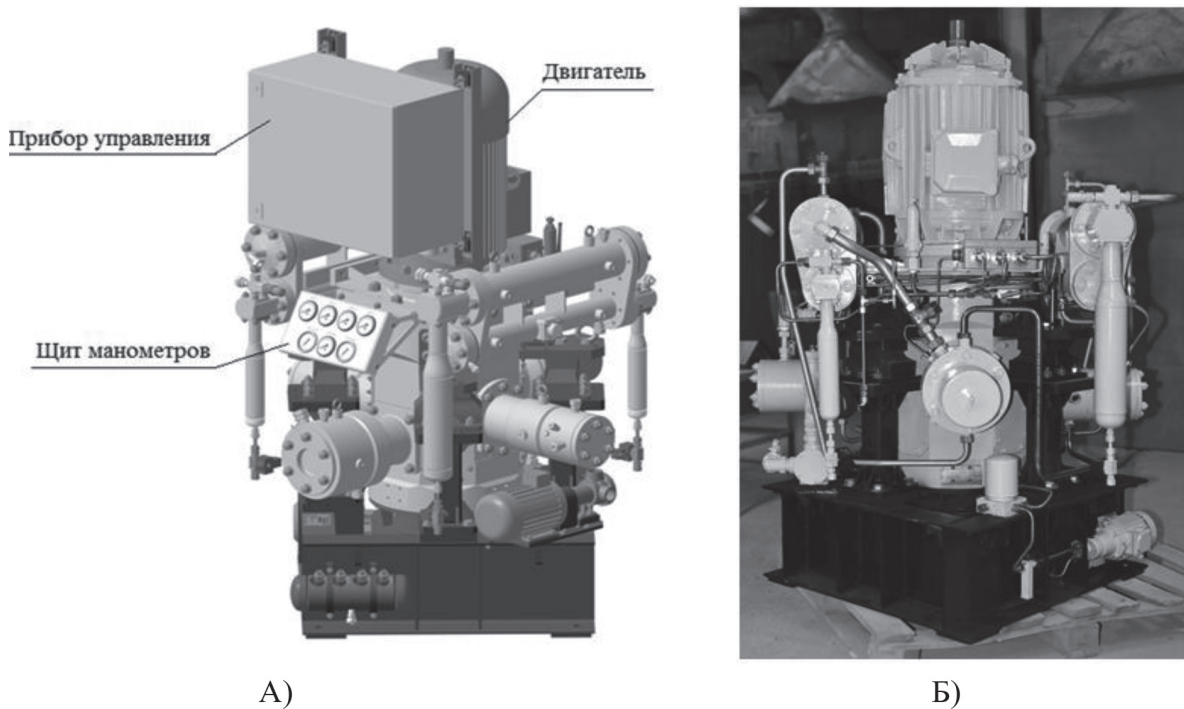


Рис. 2. Компрессорная установка: А) 3D-модель; Б) фотография готовой установки

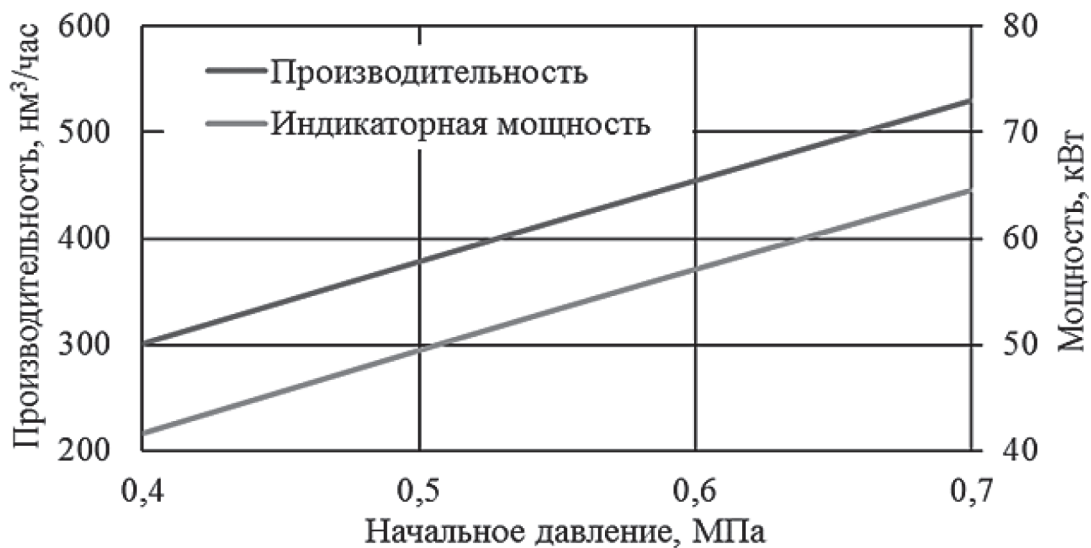


Рис. 3. Характеристика компрессора

Такая конструкция позволяет достичь высокой уравновешенности компрессора и существенно снизить динамические нагрузки на фундамент, что дает возможность размещения оборудования без дополнительных упрочнений основания. Как следствие, это обеспечивает низкий уровень вибраций и шума.

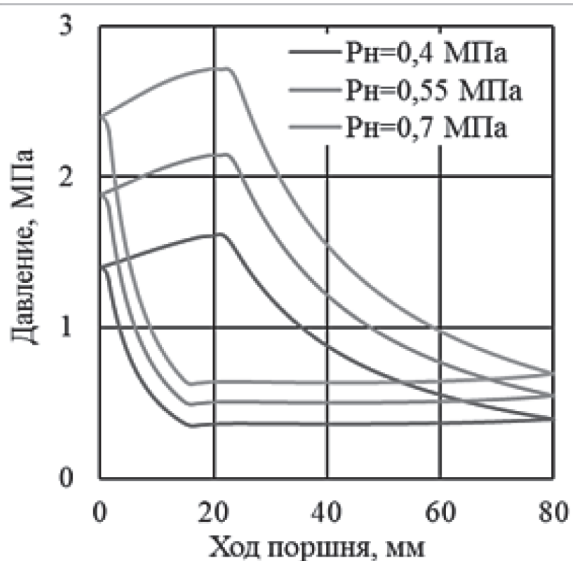
Компрессор спроектирован для различных давлений на входе. Обладает высокой энергоэффективностью. Для его проектирования применялись специально разработанные математические модели, позволяющие учитывать реальность сжимаемого газа и проводить оптимизацию элементов компрессора.

Диапазон изменения по абсолютному начальному давлению изменяется от 0,4 до 0,7 МПа. Компрессор выполнен в герметичном исполнении. Газонаполненный картер компрессора способен выдерживать высокое давление и позволяет возвращать утечки газа обратно в газовую систему.

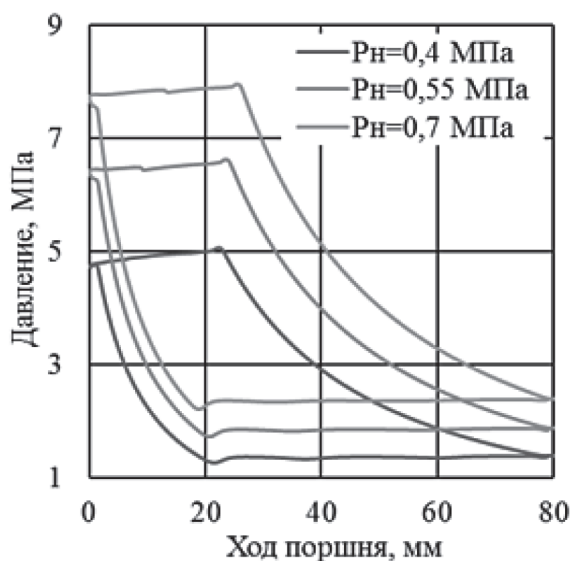
На рисунке 3 приведены характеристики компрессора (зависимость производительности и индикаторной мощности компрессора от начального давления).

Количество ступеней может меняться от двух до четырех. Оптимальные значения степеней повышения давления в цилиндрах обеспечивают низкое тепловыделение и повышенный ресурс цилиндро-поршневых групп и клапанов.

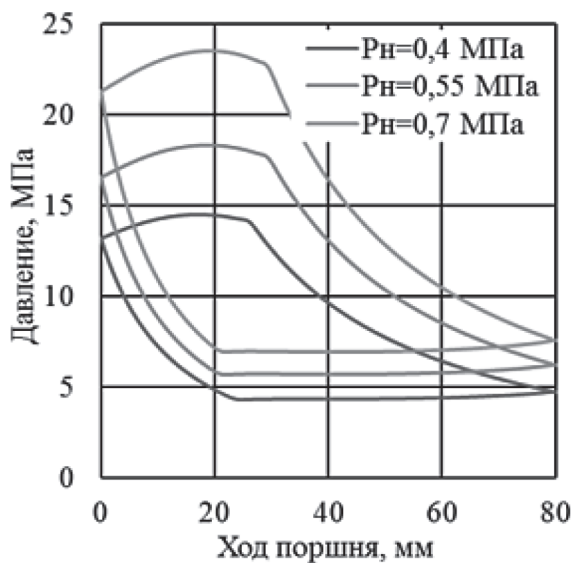
На рисунках 4 и 5 приведены индикаторные диаграммы и диаграммы движения клапанов, которые показывают влияние давления на входе в компрессор на рабо-



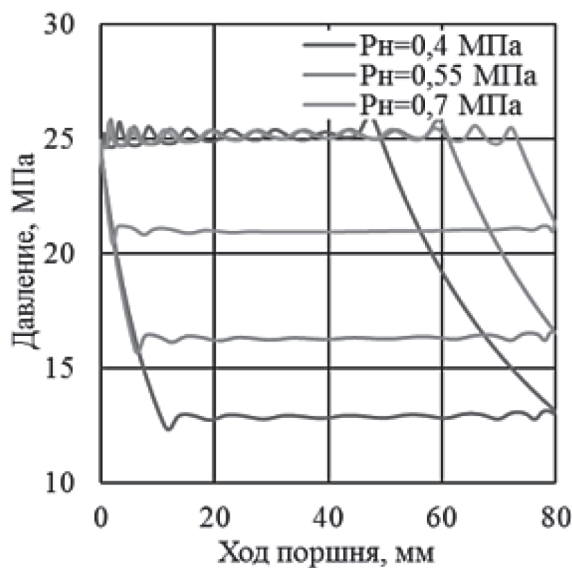
Ступень 1



Ступень 2



Ступень 3



Ступень 4

Рис. 4. Индикаторные диаграммы по ступеням

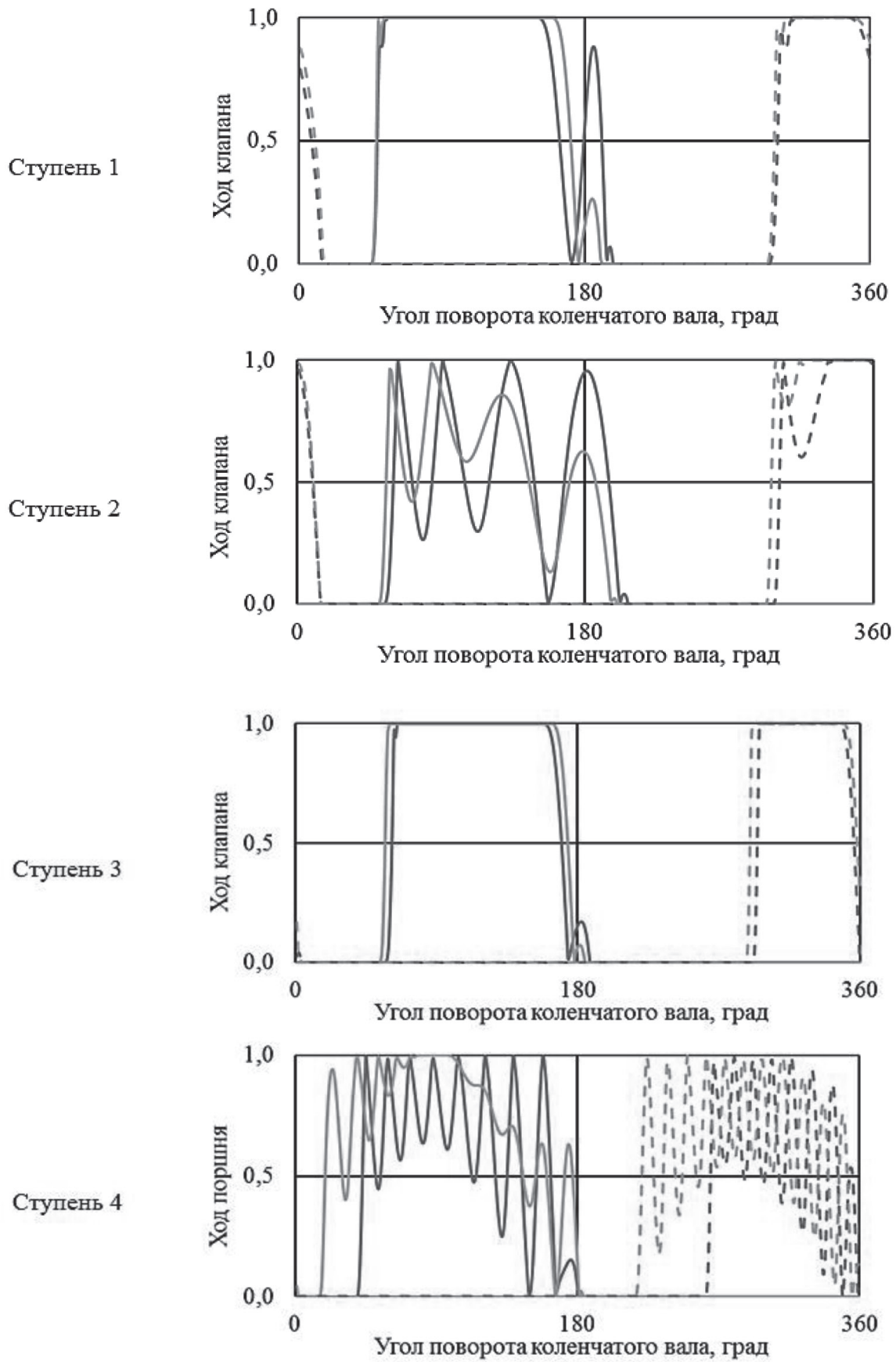


Рис. 5. Диаграммы движения клапанов

чие процессы, происходящие в цилиндрах, а также его влияние на работу клапанов.

Математическое моделирование компрессора позволяет еще на стадии проектирования учесть и скорректировать возможные негативные последствия работы компрессора на переменных режимах. Из приведенных графиков видно, как меняются параметры компрессора при изменении режима работы. Изменяются промежуточные давления. Работа клапанов на различных режимах отличается как качественно, так и количественно. При этом на рисунке 4 для первой и третьей ступеней приведены диаграммы с оптимизацией параметров клапанов, а для второй и четвертой – без оптимизации. Из графиков видно, что параметры клапанов необходимо тщательно выбирать и оптимизировать их конструкцию. На отдельных режимах может возникать такое явление, как флаттер. Особенно это видно на диаграмме четвертой ступени.

Конструкция компрессора удобна в обслуживании. Удобство технического обслуживания, легкость демонтажа и замены узлов позволяет снизить затраты на сервис. Возможность применения в помещениях различной категории по взрыво-пожаробезопасности. Охлаждение может применяться как воздушного, так

и водяного типа. Обеспечивается полная автоматизация. Локальный блок управления размещается на компрессоре и предназначен для управления основным и вспомогательным оборудованием.

Расчет выполнялся с учетом реальности газа. При высоких давлениях параметры реального метана существенно отличаются от параметров идеального. Это хорошо можно проследить на рисунке 6, на котором приведены графики изменения показателя политропы сжатия. Как видно из рисунка, показатели политропы для ступеней с высоким давлением существенно отличаются от показателя адиабаты метана, равного 1,32.

Для совместной работы с компрессором разработан компактный блок очистки и осушки природного газа. Внешний вид блока осушки приведен на рисунке 7.

Блок осушки содержит два взаиморезервирующих адсорбера, заполненных адсорбентом. Адсорбент располагается слоями и состоит из специально рассчитанных слоев модифицированного силикагеля, активного оксида алюминия, молекулярного сита. На входе и выходе в адсорберах установлены дополнительные фильтры.

Блок осушки работает с применением технологии модифицированной короткоцикловой адсорбции (КЦА).

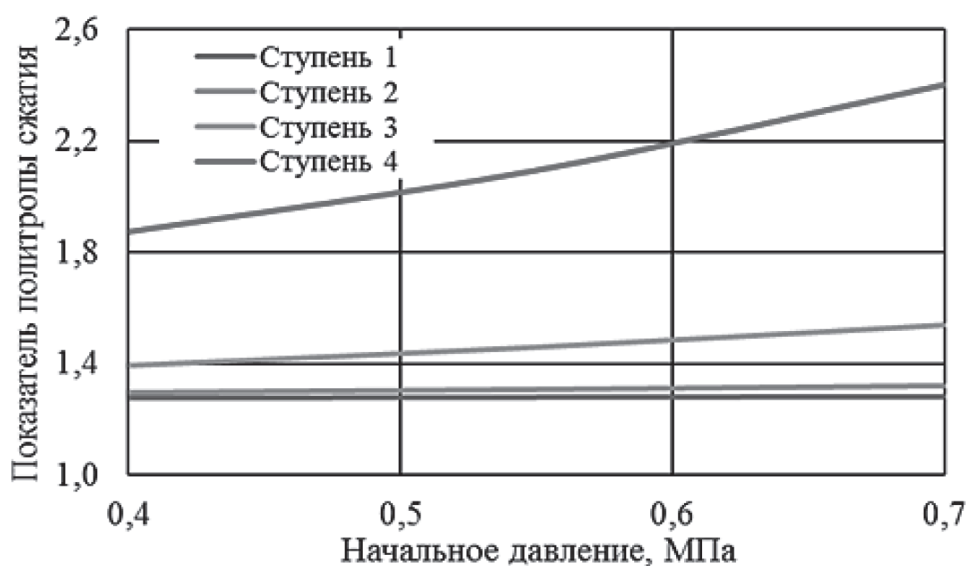


Рис. 6. Показатели политроп сжатия

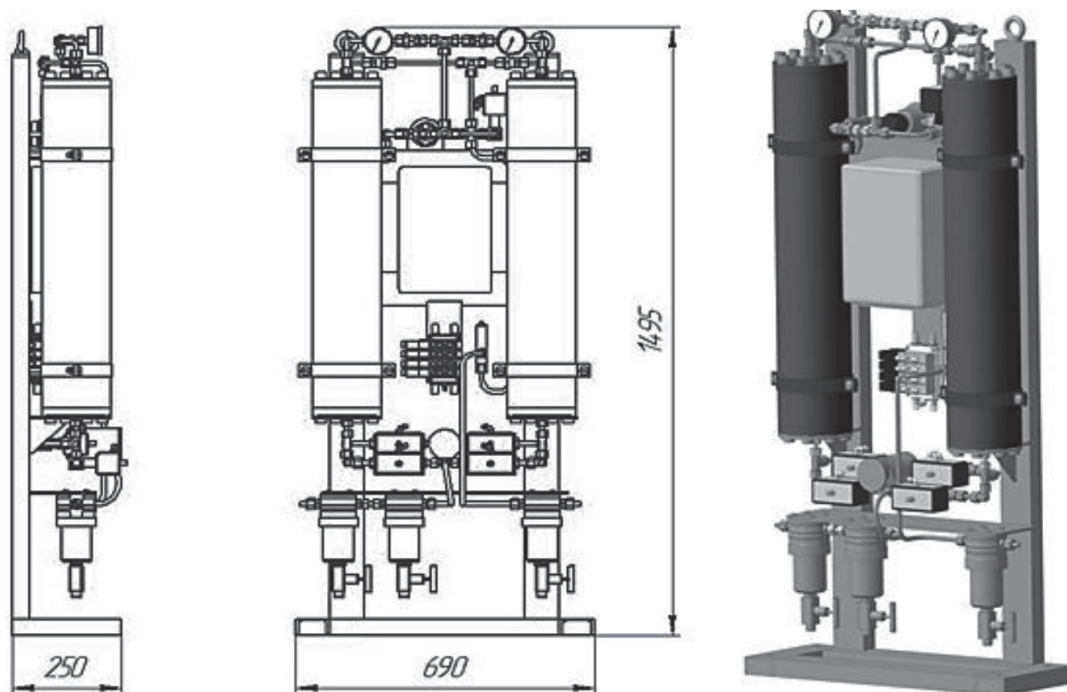


Рис. 7. Блок осушки и очистки природного газа

Поступающий в осушитель сжатый газ проходит через циклонный фильтр и далее подается в один из двух адсорберов. В адсорбере газ, протекая через слой адсорбента, осушается до заданных параметров. После адсорбера газ проходит очистку в концевом фильтре и поступает к потребителю. Рабочий цикл является периодическим и управляется прибором управления. В процессе осушки газа в первом адсорбере – во втором адсорбере проходит регенерация.

Часть газа, поступающего на регенерацию, используется для управления пневмоприводными клапанами блока осушки. Регенерация осуществляется продувкой адсорбента частью осушенного природного газа, который дозированно подогревается в микро-нагревателе, для компенсации эффекта Джоуля-Томпсона. Данное техническое решение, учитывая высокую равновесную влагоемкость природного газа, при незначительной мощности нагрева (не более 1 кВт) позволяет сократить расход газа на регенерацию с 20-25% до 5-10%. Влагосодержание осушенного природного

газа при этом соответствует нормированной температуре точки росы минус 60 °С.

Для снижения потерь газа после регенерации продувочный газ направляется на первую ступень на всасывание компрессора

АО «Компрессор» предлагает поставлять эффективные автомобильные газонаполнительные компрессорные станции на базе разработанного компактного компрессора и блока осушки, на требуемые параметры, с минимальной стоимостью и в максимально короткие сроки.

АО «Компрессор» осуществляет разработку новых видов компрессоров и компрессорного оборудования, осуществляет дальнейшее совершенствование и оптимизацию поршневых компрессоров, элементов и систем компрессорного оборудования для автомобильных газонаполнительных станций, разрабатывает и выполняет проекты любого уровня сложности и готово в дальнейшем решать прикладные задачи для различных отраслей промышленности Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Хрусталеv, Б.С.** Математическое моделирование рабочих процессов в объемных компрессорах для решения задач автоматизированного проектирования: дис. ... д-ра техн. наук/ Хрусталеv Борис Сергеевич. Спб., 1999. 377 с.

2. **Котлов, А.А.** Математическая модель воздушного поршневого компрессора среднего давления для решения задач энергоаудита: дис. ... к-та техн. Наук/ котлов Андрей Аркадьевич. Спб., 2011. 138 с.
3. Патент РФ №179036 публ. 25.04.2018г.;