

А.В. Смирнов, В.Н. Фесенко, А.В. Шаповалов, С.И. Верныдуб, А.И. Онищенко, А.Н. Теслик
 ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», ул. Горького 58, г. Сумы, Украина, 40004

ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ ДЛЯ СЖАТИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Высокими темпами растут потребности в энергоносителях. Обращается внимание на недостаточно освоенные источники углеводородных газов. К ним можно отнести биогаз полигонов твёрдых бытовых отходов, попутный нефтяной газ, шахтный метан. Для добычи и переработки этих газов требуются различные поршневые компрессоры. Широкий ряд компрессоров выпускает НПО им. Фрунзе (г. Сумы, Украина). Рассматриваются особенности и характеристики некоторых компрессоров. Сообщается о создании компрессорного оборудования для добычи природного газа из скважин с его невысоким давлением. Приведены характеристики различных приводов поршневых компрессоров. Излагаются результаты работ по созданию новых быстроходных оппозитных баз поршневых компрессоров. Их использование в производстве позволит снизить массы и габариты компрессоров, повысит эксплуатационные характеристики и обеспечит конкурентоспособность.

Ключевые слова: Поршневой компрессор. Природный газ. Метан. Биогаз. Попутный нефтяной газ. Шахтный метан. Компримирование. Оппозитные базы поршневых компрессоров. Привод компрессора.

A.V. Smirnov, V.N. Fesenko, A.V. Shapovalov, S.I. Vernydub, A.I. Onishchenko, A.N. Teslik

PISTON COMPRESSOR UNITS WITH VARIOUS TYPES OF THE MAIN DRIVES FOR COMPRESSION HYDROCARBONIC GASES

At a high rate requirements are growing in energy carriers. Attention is paid on the weakly more assimilated sources of hydrocarbon gases. These may include biogas of solid waste landfills, associated oil gas, coal mine methane. For the extraction and processing of these gases requires different piston compressors. NPO Frunze (Sumy, Ukraine) produces a wide range of compressors. The features and the characteristics some of compressors are considered. About the establishment of compressor equipment for the natural gas production from boreholes with its low pressure is reported. There are characteristics of the various drives piston compressors. The results of works on creation of new high-speed piston compressors boxer bases are present. Using them in production will allow to lower masses and dimensions of compressors, enhance operational characteristics and provide a competitive edge.

Keywords: Piston compressor. Natural gas. Methane. Biogas. Passing oil gas. Coal mine methane. Compression. Opposed piston of compressors bases. Drive compressor.

1. ВВЕДЕНИЕ

Высокими темпами растут потребности в энергоносителях.

Глобальное изменение климата является одной из основных проблем современного развития цивилизации, во многом связанных с техногенной деятельностью. Оно может быть несколько приостановлено в результате использования энергосберегающего оборудования и новых технологий.

Известно, что основные парниковые газы в порядке их воздействия на тепловой баланс Земли — водяной пар, диоксид углерода, метан, озон, галоугле-

роды, оксид азота. Существенный вклад в парниковый эффект дают утечки метана при разработке месторождений каменного угля и природного газа, а также его эмиссия при выделениях биогаза, образующегося на полигонах захоронения отходов.

По оценкам специалистов, Украина может привлечь инвестиций на сумму 3,6 млрд. евро для совместного внедрения проектов в рамках Киотского протокола с целью снижения эмиссии метана [1]. Для реализации таких проектов необходимы компрессорные установки (КУ) и др. оборудование, разработкой и выпуском которого занимается наше предприятие. Рассмотрим его характеристики и особенности, отметим достигнутые успехи.

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА КОМПРЕССОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

2.1. Поршневые КУ для сжатия биогаза

Ежегодная эмиссия метана с мусорных свалок земного шара сопоставима с мощностью таких общеизвестных источников метана, как болота и угольные шахты. Поэтому утилизация биогаза полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО) приобретает важное значение для снижения антропогенной эмиссии метана.

В настоящее время интенсивно развиваются два основных направления энергетической утилизации твердых бытовых отходов — сжигание и захоронение ТБО. Сжигание отходов требует дорогостоящих систем очистки, поэтому более широко распространено во всем мире полигонное захоронение твердых бытовых отходов.

При разложении бытовых отходов выделяется биогаз, содержащий до 60 % метана, что позволяет его использовать в качестве местного топлива. В среднем при разложении одной тонны ТБО может образовываться 100-200 м³ биогаза. Так как процесс разложения отходов продолжается многие десятки лет, полигон можно рассматривать как перспективный источник биогаза. Масштабы и стабильность его образования, расположение на урбанизированных территориях и низкая стоимость добычи делают биогаз полигонов ТБО источником энергии для местных нужд. Потенциал свалочного газа составляет около 400 млн м³/год [2]. На фото 1 показана блочная поршневая компрессорная установка для сжатия биогаза.

В связи с этим для подачи биогаза потребителю с необходимым давлением требуются мобильные поршневые КУ с приводом от газопоршневого двигателя. Для работы двигателя в качестве топлива может использоваться часть биогаза.



Фото 1. Компрессорная установка 2ГМ10-25/1,05-70 для сжатия биогаза

2.2. Поршневые КУ для сжатия попутного нефтяного газа

Одно из направлений энергосберегающих технологий — утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ), который является не только прекрасным топливом, но и весьма ценным, нередко незаменимым сырьём для нефтехимических и других производств. В отличие от природного газа (ПГ), добычу которого можно ре-

гулировать в зависимости от объёма его потребления, ПНГ извлекается из недр вместе с нефтью независимо от того, имеются или отсутствуют условия для его использования. При их отсутствии его сжигают в факелах или выпускают в атмосферу. Обеспечение наиболее полного и рационального использования ПНГ одновременно с вводом в разработку нефтяных месторождений — важная задача в деле повышения экономической эффективности нефтегазовой отрасли. Для её решения требуется своевременно осуществлять комплекс мероприятий по созданию необходимых производственных мощностей с применением соответствующих технических средств и технологических процессов, совокупность которых создают условия, позволяющие использовать ПНГ [3]. На рис. 2 изображена структурная схема установки утилизации попутного ПНГ.

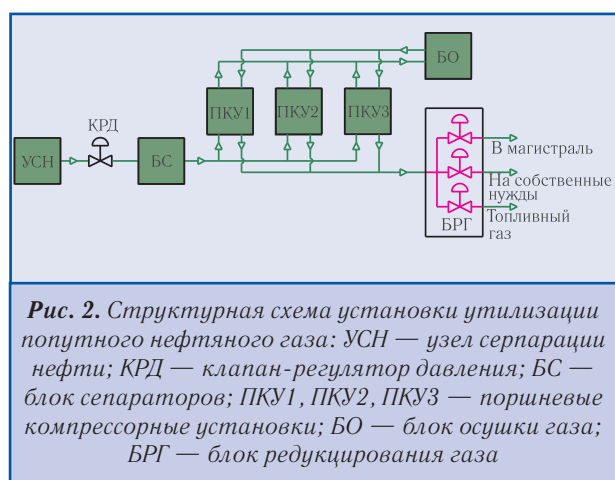


Рис. 2. Структурная схема установки утилизации попутного нефтяного газа: УСН — узел сепарации нефти; КРД — клапан-регулятор давления; БС — блок сепараторов; ПКУ1, ПКУ2, ПКУ3 — поршневые компрессорные установки; БО — блок осушки газа; БРГ — блок редуцирования газа

В 2011 г. ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе» (далее ПАО) разработана и изготовлена компрессорная станция в блочно-комплектном исполнении высокой заводской готовности с компрессорными установками 4ГМ10-48/2-57С. Оборудование станции размещено в легко сборных укрытиях. Компрессорные установки обеспечивают 4-ступенчатое компримирование смеси ПНГ и ПГ во всем диапазоне эксплуатационных характеристик станции (фото 3).

2.3. Поршневые КУ для сжатия природного газа из малodeбитных скважин

Из-за низких рабочих давлений на устье эксплуатационного фонда скважин ряда малodeбитных газоконденсатных месторождений, возникают трудности с их разработкой в связи с невозможностью подачи ПГ в существующую газотранспортную систему [4].

В 2002 г. по заказу ГПУ «Львовгаздобыча» были изготовлены и введены в эксплуатацию блочно-комплектные газоперекачивающие агрегаты ГПА-П-0,5/4-46С на Летнянском месторождении, созданные на основе поршневых компрессоров, с приводом от газопоршневого двигателя. Агрегаты предназначены для сжатия природного газа и подачи его в магистральный газопровод.



Фото 3. Компрессорная станция на основе КУ 4ГМ10-48/2-57С

Особенностью ГПА является то, что в течение 20 лет, когда давление в скважине, а следовательно, и на всасывании в компрессор будет падать от 2,0 до 0,4 МПа, агрегат будет обеспечивать постоянное давление в нагнетательном коллекторе 4,6 МПа.

В качестве привода компрессора используется газопоршневой двигатель 6ГЧН 25/34-2 производства «Первомайскдизельмаш» (фото 4).

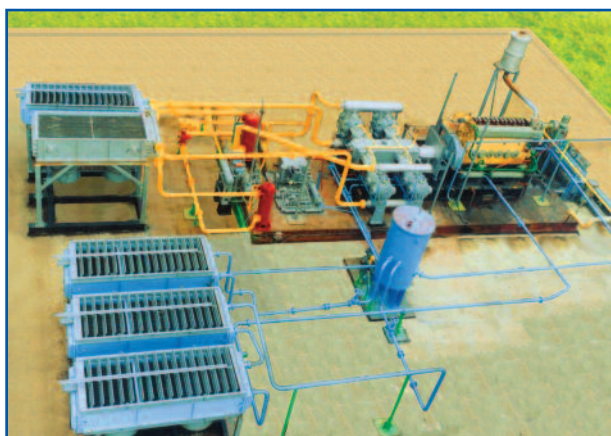


Фото 4. Блочно-комплектный газоперекачивающий агрегат ГПА-П-0,5/4-46С

2.4. Поршневые КУ топливного газа

При длительной эксплуатации газовых скважин со временем происходит падение пластового давления ПГ. Так как для подачи газа в магистральный трубопровод в основном применяются центробежные газоперекачивающие агрегаты с приводами от газотурбинных двигателей, для которых в качестве топлива используется специально подготовленный ПГ, то при падении пластового давления газа возникают трудности с их эксплуатацией.

Для поддержания необходимого давления топливного газа применяются дожимающие поршневые КУ, которые в свою очередь могут быть укомплектованы приводами в виде электродвигателей или газопоршневых двигателей. Это, в основном, КУ высокой заводской готовности, работающие без смазки цилиндров и уплотнений штоков. Процесс поддержания требуемо-

го давления во всем диапазоне эксплуатационных факторов происходит автоматически. Вид компрессора топливного газа приведен на фото 5.



Фото 5. Компрессор топливного газа 2ГМ10А-18/9-26

2.5. Обеспечение добычи шахтного газа

Шахтный газ содержит метан, который как парниковый газ в 21 раз опаснее для природы, чем углекислый газ. Несмотря на его взрывоопасность, он является ценным энергетическим сырьем. Поэтому проектами по снижению выбросов шахтного метана в атмосферу интересуются фирмы, занимающиеся торговлей эмиссиями, шахты с высокогазоносными пластами, а также региональные структуры угольных бассейнов, которые испытывают потребность в электроэнергии.

Данные о больших количествах шахтного газа нельзя переносить на эмиссионные проекты. Большая его часть находится в пластах, которые расположены на больших глубинах и поэтому не подлежат извлечению шахтным способом.

По мнению специалистов, добыча шахтного метана — всемирно признанное стратегическое направление, которое не только способствует предупреждению несчастных случаев во время добычи угля, но также является прибыльным производством. Известно, что Украина занимает восьмое место в мире по уровню запасов метана в угольных шахтах [1].

Для добычи шахтного метана также необходимо использовать поршневое компрессорное оборудование.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИВОДОВ КОМПРЕССОРОВ

3.1. Асинхронные электродвигатели

Широкое распространение трехфазных асинхронных электродвигателей объясняется простотой их конструкции, надежностью в работе, хорошими эксплуатационными свойствами, невысокой стоимостью и простотой в обслуживании.

Однако при использовании асинхронных двигателей необходимо учитывать следующее:

1. Стандартный ряд двигателей выпускается с частотой вращения 750 мин⁻¹ и выше, что вынуждает из-

готовавливать специальные двигатели для поршневых компрессоров или проектировать новые компрессорные базы с повышенной частотой вращения.

2. Они имеют большие массы и габариты в сравнении с синхронными электродвигателями.

3. При соединении их с компрессором требуется высокая точность центровки.

4. Для включения их в состав КУ нужно применять соединительные муфты и маховики (фото 6). В настоящее время при поставках агрегатов устанавливают упругие муфты, компенсирующие их относительные смещения из-за упругих деформаций тонких металлических пластин [6]. Всё вместе взятое требует при проектировании производить расчёты массы маховика, крутильных колебаний, а также предотвращать резонансные явления.

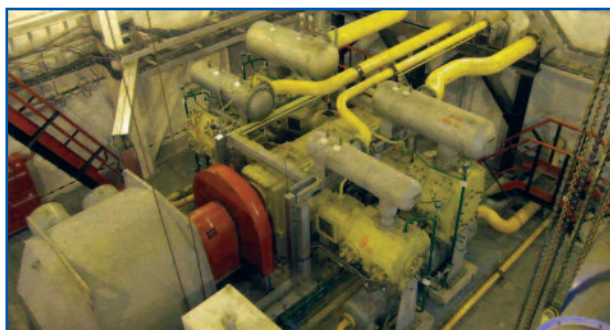


Фото 6. Компрессорная установка 4ГМ10-48/2-57С с приводом от асинхронного двигателя

3.2. Синхронные электродвигатели

Основным достоинством синхронного электродвигателя является то, что при одинаковой номинальной мощности его габариты меньше, а КПД выше, чем у асинхронного [5]. Синхронные двигатели менее чувствительны к колебаниям напряжения сети, имеют высокую перегрузочную способность. Кроме того, перегрузочная способность двигателя может быть автоматически увеличена за счет повышения тока возбуждения, например, при резком кратковременном росте нагрузки на вал двигателя.

При использовании в качестве главного привода синхронного двигателя его ротор насаживается прямо на вал компрессора (фото 7). Ротор электродвигателя выполняет роль маховика, что позволяет существенно снизить габариты компрессора, а также отказаться от использования соединительной муфты.

3.3. Газопоршневые двигатели

В некоторых специфических условиях используется достаточно редкая разновидность поршневых ГПА-агрегатов, созданных на основе поршневых компрессоров с газопоршневым приводом (ГПП). Основное преимущество поршневых КУ с ГПП — их автономность. Топливом для двигателя служит перекачиваемый ПГ, что не требует высоковольтных источников электроэнергии.

В случае применения ГПП требуется иной подход к подбору соединения компрессора и привода. Следует использовать гидравлическую разобщающую и упру-

го-пластинчатую муфты. Зачастую необходима герметичная перегородка для привода, так как электрооборудование двигателя не взрывозащищенное.



Фото 7. Компрессорная установка 2ГМ10-12/7-26С с приводом от синхронного двигателя

Поршневая КУ с приводом от газопоршневого двигателя показана на фото 8.



Фото 8. Поршневая компрессорная установка 2ГМ10А-П-18/9-26 с газопоршневым приводом ГПК-10

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Внедрение современных конструкторских решений и новых технологий проектирования, применяемых в СКБ ПАО, обеспечивает повышение уровня конструкторских разработок, сокращение сроков проектирования и снижение трудоёмкости изготовления узлов и систем поршневых компрессоров. Ниже представлены некоторые из направлений работ, на основе которых в последнее время созданы новые изделия в области поршневого компрессоростроения.

Повышение конкурентоспособности компрессорного оборудования — одна из основных задач, стоящих на современном этапе перед его изготовителями.

В последние годы ПАО уделяет этому направлению совершенствования поршневых компрессоров особое внимание. С использованием стендового оборудования, оснащенного современными измерительными средствами, были выполнены работы, обеспечивающие повышение частоты вращения коленвала поршневого компрессора до 1000 мин⁻¹ с обеспечением наработки наиболее важных узлов компрессора на оппозитной базе М10А не менее 8000 ч.

При разработке новых оппозитных баз М10А и М25А стремились к сохранению максимальной газовой силы баз 10 и 25 т и, соответственно, оптимальной средней скорости поршня. При этом значения максимальной газовой силы выполнялись прочностные расчёты картера и направляющих. В результате модернизации оппозитных баз 2М10А и 6М25А удалось существенно уменьшить габариты и массу компрессоров при удовлетворительных прочностных и динамических характеристиках, обеспечивающих их надёжную работу (фото 9). Массогабаритные характеристики разработанных баз приведены в таблице.

Сравнительные данные о массогабаритных характеристиках тихоходных и быстроходных оппозитных баз

Тип базы	Габариты в плане (ширина×длина), мм	Масса, т
2ГМ10	2760×1700	3,2
2ГМ10А	1950×1500	2,1
6М25	8440×4565	19,6
6М25А	4440×2860	13,6



Фото 9. Установка на базе компрессора 2ГМ10А-П-18/9-26 с газопоршневым двигателем на испытательном стенде

В процессе создания новых баз предприятие использовало результаты научных исследований, выполняемых другими коллективами специалистов. Так, кафедрой сопротивления материалов и машиноведения СумГУ проводились экспериментальные исследования крейцкопфных узлов быстроходных баз М25А и М10А поршневых компрессоров на статическую и циклическую прочность. При испытаниях в качестве нагружающего оборудования применялась универсаль-

ная гидравлическая испытательная машина МУП-50 (рис. 10). Крейцкопфный узел быстроходной базы М25А для поршневого компрессора был испытан на статическую прочность при растягивающем усилии вплоть до 47 тс. Крейцкопфный узел новой базы М10А испытывали также на многоцикловую прочность в четырёх режимах нагружения со скоростью 610 мин⁻¹ при более 10⁷ циклов.

По крейцкопфному узлу базы М10А с привлечением экспериментов был сделан вывод о его долговечности на основе 10⁷ циклов испытаний при режиме нагрузки в 14 тс с запасом не менее чем в 3,7 раза по количеству рабочих циклов.



Рис. 10. Размещение тензометрических датчиков на крейцкопфном узле быстроходной базы М10А при испытаниях в СумГУ

При системном подходе к проектированию поршневых компрессоров и его подсистем нами используется объектный подход с целью формирования единой многоуровневой модели. Использование методов системного и структурно-функционального анализа позволяет организовать высокоэффективное конструирование подсистем поршневого компрессора «сверху вниз» (рис. 11).

Для расчётов в ПАО используются различные методы моделирования при решении разных типов задач. Возможно выполнение модального, гармонического, спектрального анализа. В случае необходимости прибегают к решению задач динамики вращающихся конструкций и задач механики деформируемых тел, циклической симметрии, расслоения, разрушения композиционного материала; выполняется моде-

лирование различных физических явлений, осуществляются прочностной (см. рис. 12), электромеханический и конструкционно-акустический анализ. Сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки производства обеспечивается использованием CAD-систем параметрического твердотельного моделирования и созданием библиотек и моделей конструкторских и технологических элементов.

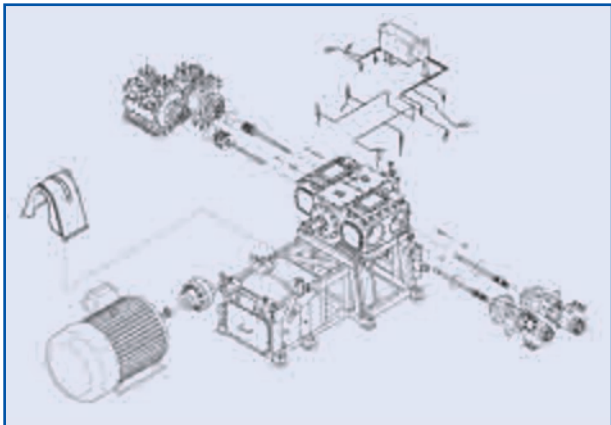


Рис. 11. Подборки в модели поршневого компрессора

Повышение конкурентоспособности производимой продукции достигается за счет использования интегрированной системы автоматизированного проектирования поршневых компрессоров (рис. 13).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компрессорные установки, выпускаемые в ПАО, имеют блочно-комплектную конструкцию, высокий

уровень надёжности и отличаются компактностью конструкции. Установки обладают улучшенными массогабаритными характеристиками, позволяют легко осуществлять монтаж и демонтаж.

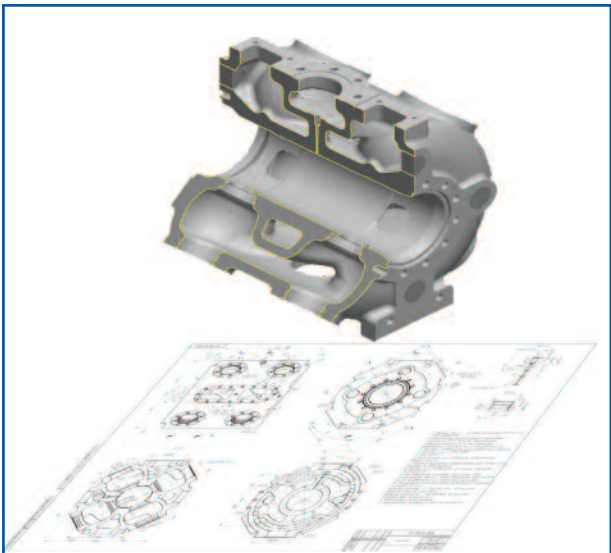


Рис. 13. Твердотельная модель и чертеж цилиндра

Постоянная работа над усовершенствованием конструкций поршневых компрессоров позволяет: улучшить массогабаритные характеристики выпускаемого оборудования; снизить себестоимость продукции; уменьшить энергозатраты в процессе производства и применения компрессоров; повысить эксплуатационные характеристики компрессорного оборудования и, в целом, обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции.

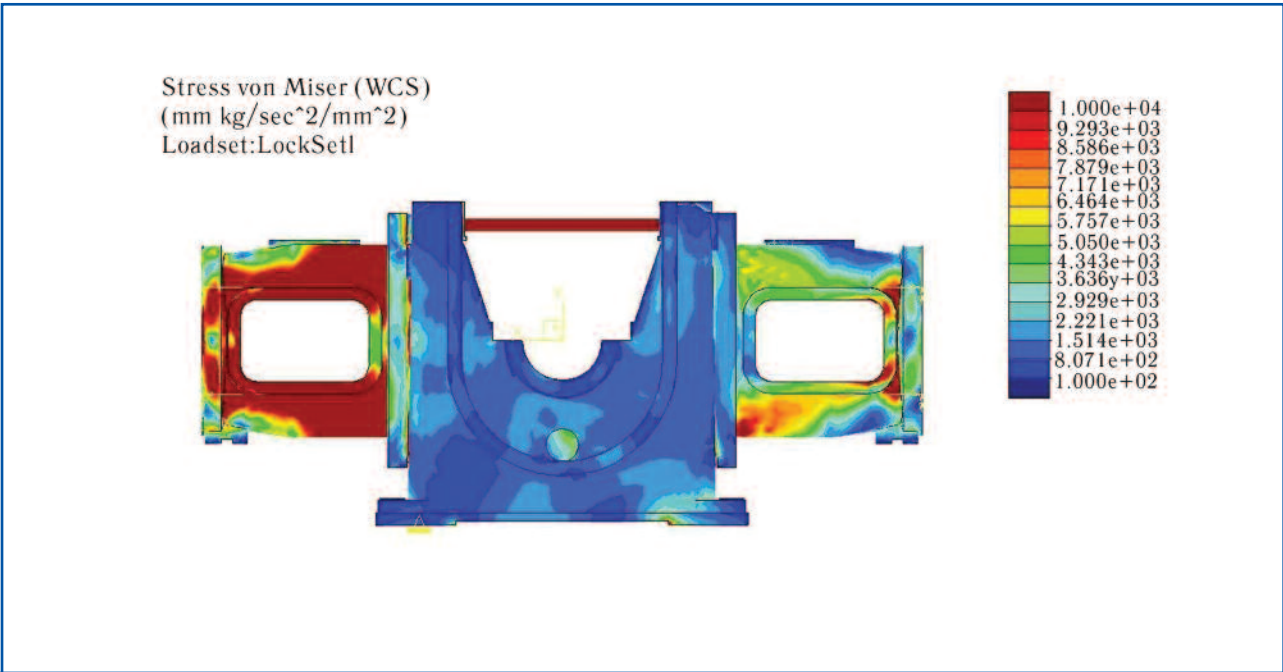


Рис. 12. Прочностной анализ спроектированного картера компрессора

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирик Г.В., Жарков П.Е., Стадник А.Д. Киотский протокол и оборудование для реализации его положений// Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2008. — № 2. — С. 2-8.
2. Масликов В.И. Энергетическое использование биогаза полигонов твердых бытовых отходов// Возобновляемая энергетика для северо-запада России. Ресурсы и перспективы. — Санкт-Петербург, 2005/ (<http://www.baltfriends.ru/node/66>).
3. Бараз В. И. Добыча нефтяного газа. — М.: Недра, 1983. — 252 с.
4. Оптимізація розробки газоконденсатних родовищ в умовах низьких робочих тисків/ Є. С. Бікман, І.А. Медведєв, С.І. Сегеда, К.С. Курочкін// Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2011. — №3. — С. 34-37.

5. Москаленко В.В. Электрический привод. — М.: Высшая школа, 1991. — 429 с.

6. Овсейко И. В., Кухарев И. Е., Лоза А. В. Муфты соединительные с кольцевыми металлическими упругими элементами — вопросы монтажа и эксплуатации/ (http://www.triz.sumy.ua/file/pub_03.pdf).

7. Выбор параметров быстроходных оппозитных баз поршневых компрессоров М10А и М25А/ А.В. Смирнов, В.Н. Фесенко, М.А. Туренко, А.И. Онищенко// Компрессорная техника и пневматика. — 2011. — № 8. — С. 2-5.

8. О возможности применения соединительных муфт по ГОСТ 26455-97 во взрывоопасных зонах/ (<http://www.kharkovmash.com/ru/reference/publications/on-the-possibility-of-the-use-of-couplings.html>).

Никаких компромиссов при работе с криогенными газами



от ДУ 6 до ДУ 25
с -270 до +400 °C
от 0,2 до 250 бар



Где безопасность, срок службы и простота обслуживания имеют самый высокий приоритет, там при хранении и транспортировании криогенных газов отлично работают клапаны от HEROSE.

Тщательный выбор материалов, постоянный контроль качества, выходной контроль с проверкой плотности и работоспособности клапанов гарантируют стопроцентно высшее качество «Сделано в Германии».

Обращайтесь к нам за подробностями!

HEROSE GMBH
Germany
Phone: +49 4531 509-0
Fax: +49 4531 509 120
info@herose.com

www.herose.com