

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

**В. Л. Юша, С. С. Бусаров**

Методика расчета действительной производительности одноступенчатых длинноходовых поршневых компрессоров

В статье представлена обобщенная методика расчета действительной производительности тихоходных длинноходовых воздушных компрессорных ступеней сжатия, основанная на определении коэффициента подачи как совокупности коэффициентов, отражающих влияние различных факторов на потери производительности. Методика учитывает конструктивные и режимные особенности тихоходных длинноходовых воздушных компрессорных ступеней сжатия и существенно отличается от аналогичной методики, применяемой для расчета быстроходных ступеней поршневых компрессоров.

**Ключевые слова:** поршневой компрессор, тихоходная длинноходовая ступень, коэффициент подачи, коэффициент подогрева, коэффициент плотности, эксперимент, температурная диаграмма.

**А. И. Боровков, Ю. Б. Галеркин, О. А. Соловьёва, А. А. Дроздов, А. Ф. Рекстин, В. Б. Семеновский, П. Н. Броднев**

Разработки математической модели и компьютерной программы первичного проектирования трансзвуковых осевых компрессоров

В работе представлена математическая модель, лежащая в основе программы расчета и проектирования осевых компрессоров. Описан процесс расчета потерь напора в элементах проточной части осевой компрессорной ступени. Коэффициент потерь складывается из потерь на ограничивающих поверхностях, вторичных потерь и профильных потерь. Показан учет влияния шероховатости на потери напора путем введения соответствующего эмпирического коэффициента. Представлен алгоритм расчета углов лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата путем расчета угла атаки и угла отставания потока. Угол отставания потока складывается из угла отставания потока на профиле и угла отставания из-за вязкого течения на ограничивающих поверхностях.

**Ключевые слова:** осевой компрессор, рабочее колесо, направляющий аппарат, коэффициент расхода, радиальное равновесие, потери напора.

**А. А. Дроздов, Ю. Б. Галеркин, О. А. Соловьёва, К. В. Солдатова, А. А. Уцеховский**

Математическая модель Метода универсального моделирования 9-й версии: особенности и результаты идентификации

Метод универсального моделирования представляет собой комплекс компьютерных программ для расчета характеристик и оптимального проектирования центробежных компрессоров, основанный на математических моделях КПД и напора. Практический опыт позволяет совершенствовать математические модели, лежащие в основе Метода. Важной частью расчета газодинамических характеристик компрессора является определение безударного входа в лопаточную решетку. В 8-й версии Метода универсального моделирования для расчета направления критической струйки тока использовалась формула, содержащая эмпирический коэффициент  $X$ . Практика применения показала, что величина эмпирического коэффициента изменяет величину потерь в рабочем колесе на нерасчетных режимах. Предложена новая схема моделирования диаграмм скоростей. Она выполнена для режима работы ступени, соответствующего нулевому углу атаки. Успешное использование модели для рабочего колеса позволило расширить ее до лопаточного диффузора и обратно-направляющего аппарата. Выполнены и некоторые другие усовершенствования. Разработана новая математическая модель расчета параметров потока в выходных устройствах ступени центробежного компрессора. Модернизирована математическая модель расчета

параметров течения в безлопаточных диффузорах. Граница применимости новой модели была расширена до диапазона малорасходных диффузоров с относительной шириной до 0,006. Полученная математическая модель была идентифицирована по результатам испытаний модельных ступеней и заводских испытаний промышленных компрессоров.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, центробежный компрессор, безлопаточный диффузор, КПД, выходное устройство, рабочее колесо.

**В. В. Карабанова, А. Д. Ваняшов, В. Л. Юша**

Влияние формы профиля лопатки входного направляющего аппарата на газодинамические характеристики центробежной компрессорной ступени

Объектом исследования являлась центробежная компрессорная ступень с входным направляющим аппаратом. Исследовались газодинамические характеристики ступени на режимах комбинированного регулирования за счет изменения частоты вращения ротора и изменения закрутки потока перед рабочим колесом поворотом лопаток входного направляющего аппарата. Рассмотрены два варианта конструктивного исполнения профиля лопаток входного направляющего аппарата и выполнена оценка способа поворота лопаток на интегральные характеристики ступени. В результате исследования установлено, что профиль с фиксированной входной частью при больших углах закрутки потока имеет меньший коэффициент потерь, что способствует повышению КПД ступени. Эффект регулирования для обеспечения заданной рабочей точки по давлению и расходу для ступени с измененным профилем обеспечивается на более низких оборотах.

**Ключевые слова:** центробежная компрессорная ступень, входной направляющий аппарат, газодинамические характеристики, углы атаки, трансзвуковое течение, вычислительная гидродинамика.

**А. В. Цыганков, В. И. Лысёв, А. К. Рубцов, А. С. Шилин**

Оптимизация процессов тепломассообмена систем кондиционирования воздуха общественных зданий

Повышение энергетической эффективности систем кондиционирования воздуха общественных зданий и сооружений является актуальной задачей. Предложена математическая модель определения величин температур внутреннего воздуха и температур поверхностей ограждений с целью расчета прогнозируемых величин тепловых потоков в зданиях и сооружениях. Проведено экспериментальное исследование, показывающее актуальность предложенной методики.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, энергосбережение, тепломассообмен, параметры микроклимата.

**Л. В. Галимова, Д. З. Байрамов**

Термодинамический анализ работы парогазовой установки в составе энергосберегающей системы на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины

Основными направлениями исследования действующей энергопреобразующей системы с учетом ее технических ограничений являются оптимизация и прогнозирование на основе анализа режимов ее работы. Термодинамический анализ предполагает определение эффективности работы системы путем определения потерь эксергии и эксергетического КПД. В данной работе предложена методика и результаты проведения эксергетического анализа ПГУ, как объекта энергопроизводства, эффективность работы которого обеспечивается охлаждением наружного воздуха с использованием абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ). Проведение эксергетического анализа с определением деструкции эксергии позволяет определять потенциал повышения эффективности системы. Представлены потоковый граф и матрица инцидентий. Эксергетический КПД ПГУ при заданных условиях составляет 46,5 %. На основе

эксергетического анализа представлена итоговая диаграмма распределения потоков и потерь эксергии ПГУ.

**Ключевые слова:** ПГУ, АБХМ, эксергия, деструкция эксергии, эксергетический анализ, эксергетический КПД.

**К. Р. Бэггли, М. Г. Рид**

Исследование эффективности применения термогазлифта в треугольном цикле и в органическом цикле Ренкина = Baggley C. R., Read M. G. Investigation of a thermo-fluidic exchange pump in trilateral flash and organic Rankine cycles / пер. с англ. М. А. Федоровой

Хорошо известно, что во многих производственных процессах значительные потери энергии происходят при низких температурных уровнях. Восстановление и повторное использование этой энергии является важнейшей частью повышения общей эффективности промышленных систем. Целью данной работы является изучение эффективности использования термогазлифта (TFE) при низких температурных уровнях как в органическом цикле Ренкина с насыщенным паром (SORC), так и в треугольном цикле с адиабатным расширением в области влажного пара (TFC). Для некоторых режимов с низкими температурными уровнями было показано, что TFC достигает более высокой полезной выходной мощности, чем обычно применяемый SORC благодаря возможности извлекать больше тепла из исходной жидкости. Это является предметом настоящего исследования как результат исследований в области проектирования объёмных вытеснительных машин для работы в качестве расширителей двухфазного рабочего тела. Обычно применяемые турбины не могут использоваться для TFC, поскольку они должны работать в паровой фазе. Одним из недостатков TFC является более высокий требуемый массовый расход рабочей среды. В зависимости от масштабов системы это, теоретически, может вызвать трудности с выбором насоса. Термогазлифт, в отличие от стандартного механического насоса, использует подводимую к системе теплоту для повышения давления и температуры рабочей жидкости, а не подводимую работу. В данной статье сравнивается полезная выходная мощность, достигаемая использованием как механических, так и TFE с системами SORC и TFC. Результат свидетельствует о том, что TFE может быть целесообразным решением для систем TFC.

**Ключевые слова:** термогазлифт, органический цикл Ренкина, треугольный цикл, адиабатное расширение, влажный пар, рециркуляция.

**Д. А. Ожерельев, В. В. Шалай**

Выбор оптимальной конструкции сепаратора методом анализа иерархий

В статье описана возможность применения «Метода анализа иерархий» при выборе типа сепаратора. Данные методы расчета используются для определения вектора приоритетов и альтернатив по заданным критериям, а также для оценки согласованности мнений эксперта. Поставлена задача, представлены альтернативные варианты и критерии отбора конструкции сепаратора. Построена иерархическая структура для различных конструкций сепараторов. Приведена методика расчета по множеству показателей, которые характеризуют типы сепарационного оборудования. По представленным результатам в соответствии с технико-экономическими показателями определена оптимальная конструкция сепаратора.

**Ключевые слова:** сепаратор газа, метод анализа иерархий, матрица сравнения, газожидкостный поток, производительность аппарата, давление газа, эффективность процесса сепарации.

**С. Ю. Кайгородов, А. А. Шапошков, И. В. Цветков**

Методика расчета применения сопловых гидродиодов в конструкции двухтрубного гидравлического амортизатора

Разработка методики расчета применения сопловых гидродиодов в конструкции двухтрубного гидравлического амортизатора ведется через рассмотрение таких проблем, как недолговечность и износ подвижных элементов (клапанов) в конструкции гидроамортизатора. В работе рассматривается метод расчета амортизатора с гидродиодами (неподвижными элементами).

Научная новизна и задача состоит в замене подвижных гидравлических клапанов в конструкции амортизатора на сопловые гидравлические диоды, что, теоретически, продлит срок службы данного агрегата в связи с отсутствием динамики движения и износа подвижных частей.

**Ключевые слова:** гидравлический амортизатор, клапан, гидродиод, местные сопротивления, диодность.

## **АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА**

### **Е. В. Кривонос**

Исследование деформации обечайки с вафельным подкреплением при вальцевании и разработка метода компенсации отклонений формы

При вальцевании вафельной панели из сплава АМгб в цилиндрическую обечайку возникает дефект формы. Ручное устранение этого дефекта порождает локальные неровности на стыковых свариваемых кромках вафельной обечайки. Это приводит к сложностям в процессе сваривания сваркой трением с перемешиванием обечаек в секции топливных баков. Необходимо на основе компьютерного анализа и существующих теорий определить напряжения в вафельной обечайки, вызывающие внутренние деформации, выливающиеся в общую погрешность формы, и вывести закономерности, при которых возможно внешнее воздействие на геометрию формы в момент гибки. Предложенный подход позволит определить вспомогательные технологические элементы для настройки стандартного вальцовочного оборудования для бездефектного вальцевания вафельных обечаек топливных баков ракет с различным геометрическим исполнением подкрепления. Что, в свою очередь, повысит эффективность формообразования обечаек и качество сварных швов при их сваривании.

**Ключевые слова:** вафельная панель, вафельная обечайка, вальцевание, топливный бак ракеты, сплав АМгб, сварка трением с перемешиванием.