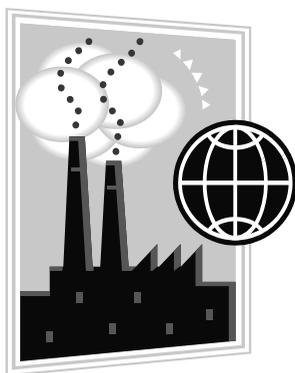


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»
Equation Chapter 4 Section 1 Кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики

42-2014

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий по дисциплине
«Проектирование и эксплуатация энергетических установок»
для студентов направления 140100.62 «Теплоэнергетика и
теплотехника», профиль «Промышленная теплоэнергетика»
всех форм обучения



Воронеж 2014

Составитель: канд. техн. наук Н.Н. Кожухов

УДК 621.1

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Проектирование и эксплуатация энергетических установок» для студентов направления 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Промышленная теплоэнергетика» всех форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Н.Н. Кожухов. Воронеж, 2014. 45 с.

Каждый раздел методических указаний включает теоретическую часть, разобранный пример решения задач и задачи для самостоятельного решения. Необходимые справочные данные приведены в приложениях.

Предназначены для бакалавров 4 курса очной формы обучения, 5 курса заочной формы обучения и 4 курса заочной сокращенной формы обучения.

Табл. 10. Библиогр.: 9 назв.

Рецензент канд. техн. наук, В.Ю. Дубанин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Бараков

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Наилучшим методом изучения теории является решение практических задач. В данных методических указаниях приведен ряд задач, способствующих закреплению теории по дисциплине «Проектирование и эксплуатация энергетических установок».

В условиях современной конкуренции предприятий в ходе проектирования возникает необходимость создания результатов интеллектуальной деятельности в виде патентов на изобретения или полезную модель. Первый раздел методических указаний способствует закреплению теоретического материала по выполнению патентных исследований.

Высокие затраты теплоты энергетических установок требуют нового подхода к аппаратурному оформлению технологических процессов и создания высокоэкономичных и прочных теплоиспользующих установок. В связи с этим во второй раздел вошли задачи по выбору и определению материалов для изготовления теплоэнергетических установок, а также по моделированию нагружения обечаек, днищ, фланцевых соединений, укрепления отверстий, опор и трубных решеток.

Высокая надежность установки в ходе эксплуатации является одним из приоритетных условий при ее выборе. Поэтому при проектировании, до выпуска продукта, необходимо предварительно оценить надежность. Это можно выполнить на основе испытаний уже готовых образцов или же на основе информации о подобных изделиях до выпуска изделия. Третий раздел методических указаний посвящен расчетам основных количественных показателей, по которым можно оценить надежность проектируемого изделия.

1. ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткие сведения

Патентными исследованиями называются исследования технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению) на основе патентной и другой информации.

По характеру и содержанию патентные исследования относятся к прикладным научно-исследовательским работам и являются неотъемлемой составной частью обоснования принимаемых хозяйствующими субъектами решений народнохозяйственных задач, связанных с созданием, производством, реализацией, совершенствованием, использованием, ремонтом и снятием с производства объектов хозяйственной деятельности. Патентные исследования могут проводиться в виде самостоятельной научно-исследовательской работы, так и в составе работ хозяйствующего субъекта (исполнителей различного характера).

Патентные исследования могут содержать следующую информацию:

- исследование технического уровня объектов хозяйственной деятельности, выявление тенденций, обоснование прогноза их развития;
- исследование направлений научно-исследовательской деятельности и производственной деятельности организаций и фирм, которые действуют или могут действовать на рынке исследуемой продукции;
- обоснование конкретных требований по совершенствованию существующей и созданию новой продукции и технологии, а также организации выполнения услуг;
- технико-экономический анализ и обоснование выбора технических, художественно-конструкторских решений, отве-

чающих требованиям создания новых и совершенствования существующих объектов техники и услуг;

- обоснование предложений о целесообразности разработки новых объектов промышленной собственности для использования в объектах техники, обеспечивающих достижение технических показателей, предусмотренных в техническом задании;

- выявление технических, художественно-конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения НИР и ОКР с целью отнесения их к охраноспособным объектам интеллектуальной собственности, в том числе промышленной.

Проведение патентных исследований заключается в следующем [1].

1. Определение задач патентных исследований, видов исследований и методов их проведения, а также разработка задания на проведение патентных исследований.

В задачи патентных исследований может входить вся информация, касающаяся объекта исследований. Например, если объектом исследований является котельная установка, то кроме информации о различных видах котельных установок, в патентные исследования можно включить информацию о конструкции горелок, способах сжигания топлива, схемы движения теплоносителя и т.д., т.е. все, что относится к объекту исследования. Это делается для того, чтобы выявить новизну и уникальность не только установки в целом, но и отдельных ее составляющих.

2. Определение требований к поиску патентной и другой документации, разработка регламента поиска.

В регламенте указываются цель поиска информации, даты начала и конца поиска, предметы поиска. Если поиск проводится на основе патентной информации, то в первую очередь необходимо определить классификационные рубрики по международной патентной классификации (международной классификации изобретений). Для этого необходимо в последней версии МПК выбрать классы для поиска. Желательно

эти классы выбирать более детально. Например, поиск по классу F23D 3/20 (горелки с использованием капиллярного эффекта – расширители пламени) даст меньшее количество документов для изучения и анализа по сравнению с F23D 3/00 (горелки с использованием капиллярного эффекта). Таким образом, время, затраченное на отбор необходимых материалов для анализа, сократится.

3. Поиск и отбор патентной и другой документации в соответствии с утвержденным регламентом и оформление отчета о поиске.

Для поиска и отбора документации необходимо определиться со страной поиска, а затем выявить источники информации (библиотеки, интернет). Для поиска по патентам и библиотекам доступны следующие ресурсы, которые можно рекомендовать к использованию при проведении патентных исследований:

www.fips.ru (база данных российских патентов). Для доступа к данной базе на странице необходимо пройти по ссылке «Информационные ресурсы» – «Информационно-поисковая система», затем ввести логин и пароль (имеется возможность гостевого доступа), выбрать базы данных для поиска и использовать средства для поиска материалов;

elibrary.ru (научная электронная библиотека). Здесь можно провести поиск по научно-технической информации, представленной в виде научных статей в различных периодических журналах, учебных пособий, сборников трудов конференций и т.д.;

ru.espacenet.com (база данных патентной информации 72 патентных ведомств мира);

www.uspto.gov (ведомство патентов и торговых марок США). На данном ресурсе доступны полнотекстовые документы патентов.

По результатам проведенного поиска отбирается информация для дальнейшего анализа и составляется отчет о поиске. Некоторые его формы представлены в приложении 1.

4. Систематизация и анализ отобранной документации;

5. Обоснование решений задач патентными исследованиями;

6. Оформление результатов исследований в виде отчета о патентных исследованиях.

Отчет должен содержать: титульный лист; список исполнителей; содержание; перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц, терминов; общие данные об объекте исследований; основную (аналитическую часть); заключение; приложения.

Общие данные включают в себя даты начала и окончания работы, а также краткое описание объекта, его назначение, область применения.

В основную (аналитическую) часть включают следующие разделы: технический уровень и тенденции развития объекта хозяйственной деятельности; использование объектов интеллектуальной собственности и их правовую охрану; исследование патентной чистоты объекта техники. Каждый из разделов основной части должен содержать анализ и обобщение информации; обоснование оптимальных путей достижения конечного результата данной работы; оценку соответствия завершенных патентных исследований заданию на их проведение, достоверности их результатов, степени решения поставленных задач, обоснование проведения дополнительных патентных исследований.

В заключении приводят обобщенные выводы по результатам патентных исследований; предложения по использованию результатов патентных исследований для совершенствования научно-технической или производственной продукции.

Задачи для самостоятельного исследования

1.1. Решение вопросов энергоресурсосбережения на предприятиях, использующих оборотные системы технического водоснабжения, во многом зависит от эффективности работы градирен. Различают испарительные, сухие и сочетание их – гибридные градирни.

Повышение эффективности действующих градирен, а также разработка новых современных градирен, которые были бы, с одной стороны, надежными и удобными в эксплуатации, максимально удовлетворяли производственным требованиям независимо от погодных условий, других факторов; с другой стороны, просты в изготовлении, малозатратны, экологически безопасны является актуальной задачей [2].

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития данной темы по основным ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.2. Теплообменные аппараты (ТОА) широко применяются в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в системах отопления и горячего водоснабжения, кондиционирования, в тепловых двигателях, авиационной и космической технике. При конструировании большинства ТОА стоит задача: добиться минимальных габаритов и массы аппарата при заданном суммарном тепловом потоке, гидравлических потерях и свести к минимуму процесс образования отложений на поверхностях нагрева.

Наличие отложений в энергетических установках существенно влияет на снижение термодинамической эффективности, надежности, ресурса и экономичности оборудования. Повышение гидравлического сопротивления приводит также к перерасходу электроэнергии на транспортировку рабочего тела [3].

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития способов организации уменьшения отложений в энергетических установках, в том числе в условиях принудительной турбулизации по основным

ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.3. Теплообменные аппараты применяются в авиационной и космической технике, энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в холодильной и криогенной технике, в системах отопления и горячего водоснабжения, кондиционирования, в различных тепловых двигателях. С ростом энергетических мощностей и объема производства все более увеличиваются масса и габариты применяемых теплообменных аппаратов. На их производство расходуется огромное количество легированных и цветных металлов. Уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов является актуальной проблемой. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы – интенсификация теплообмена [4].

Опыт создания и эксплуатации различных теплообменных устройств показал, что разработанные к настоящему времени методы интенсификации теплообмена обеспечивают снижение габаритов и металлоемкости (массы) этих устройств в диапазоне от 1,5 до 2 раз и более по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей.

Применительно к течению однофазных теплоносителей используются турбулизаторы потока на поверхности, шероховатые поверхности и поверхности, развитые за счет ребрения, закрутка потока спиральными ребрами, шнековыми устройствами, завихрителями, установленными на входе в канал.

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития элементов конструкций энергетических установок, позволяющих закручивать поток в спиралевидную форму по основным ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.4. Развитие электронной промышленности приводит к распределению задач между параллельно работающими микропроцессорами для снижения вычислительной нагрузки. Тем не менее, тепловая нагрузка с каждым выходом нового поколения микропроцессора, имеющего все меньшие и меньшие габариты, возрастает.

Возникают задачи создания компактных систем тепловой защиты, способных снять требуемое количество теплоты с малой площади. Одним из основных элементов таких систем является теплообменный аппарат с развитой поверхностью теплообмена, например, с пористыми или микроканальными элементами, которые позволяют интенсифицировать теплообмен, подобрать необходимые габариты и в результате - повысить надежность функционирования.

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития систем охлаждения микроэлектронных приборов, в которых жидкость используется в качестве охладителя. Поиск провести по основным ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.5. Одним из способов интенсификации процесса теплообмена является увеличение теплообменной поверхности. Пористый материал обладает большей площадью поверхности по сравнению с монолитным материалом того же объема. Он может применяться для получения фильтров, носителей катализаторов, шумопоглотителей, теплообменников в энергетике, машиностроении и химической промышленности.

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития способов изготовления пористых материалов и элементов конструкций на их основе. Поиск провести по основным ведущим странам (Россия) на

основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.6. Одним из наиболее эффективных методов осуществления процессов тепло- и массообмена с твердой фазой является псевдооживление. К достоинствам псевдооживленного («кипящего») слоя относятся высокие значения эффективной теплопроводности и межфазной теплоотдачи соизмеримые с соответствующими коэффициентами для капельных жидкостей, развитая удельная поверхность теплообмена, независимость гидравлического сопротивления слоя от скорости оживающего агента, постоянство температур и концентраций по объему, подвижность («текучесть») и другие. Естественно, что этот метод получил весьма широкое распространение в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности.

Одним из перспективных методов направленного перемещения псевдооживленного слоя твердых частиц является ориентация потока оживающего газа в сторону движения слоя. Принцип совмещения псевдооживления и транспорта дисперсного материала может получить широкое распространение в различных энергетических и теплотехнологических процессах, таких как термообработка, сушка, газификация и сжигание твердого топлива, в аппаратах для очистки газов и охлаждения воздуха. Перемещающийся псевдооживленный слой весьма эффективен и в качестве насадки (промежуточного теплоносителя) регенеративных теплообменных аппаратов.

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития аппаратов с использованием псевдооживленного слоя. Поиск провести по основным ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

1.7. Развитие теплогенерирующих устройств, в которых реализуется стационарный процесс горения, достигло своего

совершенства, поэтому улучшение их стоимостных и массогабаритных характеристик достигло стадии насыщения. Радикальное улучшение экологических показателей чрезвычайно затруднительно и ведет к значительному удорожанию таких устройств, либо достигается уменьшением нагрузки на горелочное устройство. Перспективным направлением является использование в теплогенерирующих установках процессов пульсирующего горения, реализуемых в аппаратах пульсирующего горения (АПГ) [5]. Например, возможно использование АПГ с применением водорода или метана в качестве топлива. Такой подход обеспечивает максимальную полноту сгорания топлива и снижает количество вредных выбросов.

Требуется провести патентные исследования и составить отчет о поиске согласно форме, приведенной в приложении 1. Задачей патентных исследований является исследование технического уровня, тенденции развития аппаратов пульсирующего горения. Поиск провести по основным ведущим странам (Россия) на основе патентной и научно-технической информации. Глубина поиска составляет 10 лет.

2. ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Краткие сведения

Материалы для изготовления теплоэнергетических установок нужно выбирать в соответствии со спецификой их эксплуатации, характеризующейся широким диапазоном давлений, температур, агрессивным воздействием среды и ее токсическими, пожаро- и взрывоопасными свойствами. При выборе материалов необходимо руководствоваться рекомендациями [6, 7]. Выбор материала необходимо начинать с уточнения рабочих условий: температуры, давления, концентрации среды. Эти условия и определяют требования, предъявляемые к конструкционным материалам.

Для изготовления теплоэнергетических установок согласно [8] должны использоваться материалы, скорость коррозии которых не превышает диапазона от 0,01 до 0,5 мм/год. При производстве такого оборудования применяют следующие конструкционные материалы: углеродистая сталь, низколегированная сталь, высоколегированные стали и сплавы, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные, двухслойные стали, серый чугун, жаростойкий и коррозионностойкий чугун, ковкий чугун, алюминий и его сплавы, медь, латуни, бронзы, свинец, сплавы типа «хастеллой» на никелевой основе, титан и его сплавы. В последние годы начинают применять тантал, ниобий, цирконий, молибден.

Выбор конструкционных материалов осуществляется согласно следующих рекомендаций:

- металлические площадки под оборудование, эстакады под трубопроводы на открытом воздухе и в зданиях (за исключением районов Крайнего Севера) изготавливать из углеродистых сталей обыкновенного качества – Ст 3, Ст 5;

- металлические площадки под оборудование, эстакады под трубопроводы, работающие при низких температурах;

сборники, корпуса сварных аппаратов, работающих под давлением; оси, валы, арматуру, трубопроводы, трубные пучки, штуцера изготавливать из качественных углеродистых сталей 0,8 – 60, 15Г, 25Г и из низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей типа 20ХН, 20ХГР;

- детали, работающие в условиях износа при трении (поршни, кольца, валы, плунжеры), изготавливать из низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей типа 15Х, 15ХГН2МФБ;

- тяжело нагруженные детали, работающие на трение и при ударных нагрузках (зубчатые колеса, червяки, кулачки, карданы, поршневые пальцы, кольца и пружины), изготавливать из низкоуглеродистых низколегированных сталей типа 15ХГТ, 20 ХГНР, 40 ХФА;

- детали, работающие в условиях повышенного износа (механического) при знакопеременных нагрузках (детали дробилок, мельниц, тормозные ленты, толкатели, рычаги, крепеж), изготавливать из низколегированных сталей с повышенным содержанием кремния, молибдена, ванадия типа 20ХГСА, 40ХНМА.

- детали турбин, компрессоров, сепараторов, центрифуг, аппараты высокого давления, изготавливаемые из высокопрочных низколегированных сталей типа 38ХНЗМФА;

- детали, подвергающиеся ударным нагрузкам (рессоры, пружины, шайбы Гровера, инструмент, пресс-формы), изготавливать из сталей типа 50Г, У7А, УГ2А, 3Х2В8Ф;

- подшипники изготавливать из сталей типа ШХ15, ШХ15Ф-Ш;

- корпуса аппаратов, крышки, днища, валы, штуцера, эксплуатируемые в слабоагрессивных средах, изготавливать из коррозионно-стойких сталей общего и химического машиностроения типа 20Х13, 12Х17Г9АМ4, 06Х17Н34ВТ3ЮР;

- корпуса, днища, крышки, штуцера, насосы, эксплуатируемые в средах средней агрессивности, изготавливать из высоколегированных сталей типа 08Х18Н10Т, 06Х22Н6Т;

- корпуса, крышки, днища, штуцера аппаратов, насосы, эксплуатируемые в средах повышенной и высокой агрессивности, изготавливать из высоколегированных сталей и сплавов на основе Ni и Cr типа 06X18H12T, 06XH28МДТ;

- корпуса, крышки, днища, штуцера аппаратов, эксплуатируемых в весьма агрессивных средах, изготавливать из сплавов типа ХН65МВ;

- котлы, газовые турбины изготавливать из сталей и сплавов в зависимости от рабочей температуры стенки 12Х1МФ ($t = 580$ °С), 10Х23Н18 ($t = 650 - 680$ °С), ХН75ТЮР ($t = 750$ °С), ХН55ВМТФКЮ ($t = 1000$ °С);

- печное оборудование, котлы, моторы изготавливать из сталей и сплавов в зависимости от температуры стенки 12Х13 ($t = 850$ °С), 08Х20Н14С2 ($t = 1000$ °С), 6Х18Н25С2 ($t = 1150$ °С), ХН78Т и ХН28ВМАБ ($t = 1050 - 1300$ °С).

Подробные характеристики материалов приведены в различных справочниках, ГОСТах [9] и электронных библиотеках в составе специализированных прикладных пакетах программ, например, таких как КОМПАС, ПАССАТ.

Задачи для самостоятельного решения

2.1. Дайте определение физического σ_t и условного $\sigma_{0,2}$ предела текучести. В каких случаях определяется та или иная прочностная характеристика?

2.2. Два материала имеют равную прочность, но различную пластичность. Какому из них следует отдать предпочтение с точки зрения надёжности при работе в условиях растяжения? Обоснуйте свою точку зрения.

2.3. Для изготовления шатуна компрессора требуется сталь, имеющая такие следующие механические свойства $\sigma_B = 500$ МПа, $\delta = 35$ %. К какой группе сталей по назначению должна принадлежать эта сталь, сколько в ней углерода, как она маркируется?

2.4. Для изготовления молотка необходима сталь, имеющая в отожженном состоянии твёрдость по Бринеллю 2000 МПа. К какой группе сталей по назначению должна принадлежать эта сталь, сколько в ней углерода, как она маркируется?

2.5. Из прочностных расчетов получено, что для изготовления вала необходима сталь с пределом прочности $\sigma_B = 450$ МПа и относительным удлинением $\delta = 35$ %. На складе завода имеется сталь марок 10, 20, 30, 45. Какие из перечисленных сталей отвечают требованиям, предъявляемым к механическим свойствам материала вала?

2.6. При гибке стальной трубы на оправке материал трубы испытывает максимальное удлинение до 0,4. Из какой углеродистой стали должна быть изготовлена труба, чтобы при гибке не было надрывов металла? Предел прочности стали при этом не должен быть ниже 400 МПа.

2.7. Тяга подвески груза испытывает рабочее напряжение $\sigma = 150$ МПа. Какую подходящую по прочности сталь следует выбрать из ГОСТ 1050-88 для изготовления тяги, если запас прочности по нормальным напряжениям для сталей такого типа составляет $n_\sigma = 3$?

2.8. Детали, изготавливаемые из прутков меди диаметром 20 мм, должны иметь предел прочности 300 МПа. Между тем на заводе имеется медь в прутках большего диаметра с пределом прочности от 220 до 250 МПа. Можно ли использовать имеющийся металл, повысив прочность медных прутков? Если можно, то укажите, каким способом это можно сделать и какое для этого потребуется оборудование?

2.9. В котельных установках часто наблюдается значительное усиление коррозии в участках металла, прилегающих к заклёпкам и в местах изгиба греющих труб. Объясните возможную причину этого явления, связанную с изменением свойств металла при переработке в изделие.

3. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Краткие теоретические сведения

Механический расчет при проектировании теплоэнергетических установок выполняется для наиболее ответственных узлов и деталей, работающих в наиболее тяжелых условиях. Как правило, это обечайки, днища, крышки, трубные решетки и различные виды укреплений отверстий в этих элементах.

Общий порядок выполнения расчетов на прочность элементов заключается в следующем:

- выбор основного конструкционного материала с учетом его прочности, коррозионной стойкости и технологичности;
- определение допустимого напряжения. Для этого необходимо оценить температуру стенки аппарата или сосуда и дать характеристику рабочей среды;

- определение расчетной толщины стенки элемента s_p ;

- определение исполнительной толщины стенки элемента $s \geq s_p + c$;

- определение допустимого давления $[p]$ и сравнение его с рабочим давлением p ;

- если $[p] > p$, то считается, что условие прочности выполнено и расчет окончен.

Определение s_p и $[p]$ зависят от конкретного типа элемента и подробно приведено в [9].

Для повышения производительности подобных расчетов компанией НТП «Трубопровод» выпущено специализированное программное обеспечение «ПАССАТ» – прочностный анализ состояния сосудов аппаратов теплообменников. Поэтому при механическом расчете элементов аппаратов на прочность, устойчивость и т.д., ПАССАТ рекомендуется к использованию. Обширная база данных позволяет сократить время при выборе материала.

Задачи для самостоятельного решения

3.1. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки горизонтального теплообменного аппарата с диаметром $d = 1$ м и длиной $l = 13$ м, работающего под внутренним избыточным давлением рабочей среды $p = 1$ МПа с температурой $t = 50$ °С. Материал обечайки 03ХН28МДТ, коэффициент сварного шва $\varphi = 1,0$. Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки $c = 0,3$ мм.

3.2. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки горизонтального теплообменного аппарата с диаметром $d = 1,6$ м и длиной $l = 12$ м, работающего под внутренним избыточным давлением рабочей среды $p = 0,9$ МПа с температурой $t = 100$ °С. Материал обечайки Ст3, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,9$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.3. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки вертикального теплообменного аппарата с диаметром $d = 2$ м и высотой $H = 12$ м, работающего под внутренним избыточным давлением рабочей среды $p = 0,9$ МПа с плотностью среды $\rho = 800$ кг/м³ с температурой $t = 150$ °С. Материал обечайки 08Х22Н6Т, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,85$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.4. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки вертикального теплообменного аппарата с диаметром $d = 2,5$ м и высотой $H = 10$ м, работающего под внутренним избыточным давлением рабочей среды $p = 0,7$ МПа с плотностью среды $\rho = 800$ кг/м³ с температурой $t = 130$ °С. Материал обечайки 12ХМ, коэффициент сварного шва $\varphi = 1$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.5. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки горизонтального теплообменного аппарата с внутрен-

ним диаметром $d = 3$ м и длиной $l = 8$ м, работающего под вакуумом $p_e = 0,6$ кПа с температурой $t = 150$ °С. Материал обечайки 20К, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,9$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.6. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки горизонтального теплообменного аппарата с внутренним диаметром $d = 3,5$ м и длиной $l = 6$ м, работающего под вакуумом $p_e = 5$ кПа с плотностью рабочей среды с температурой $t = 160$ °С. Материал обечайки 09Г2С, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,8$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.7. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки вертикального теплообменного аппарата с внутренним диаметром $d = 4$ м и высотой $H = 7$ м, работающего под вакуумом $p_e = 0,1$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 560$ кг/м³ и температурой $t = 75$ °С. Материал обечайки 08Х17Н13М2Т, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,95$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.8. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки вертикального теплообменного аппарата с внутренним диаметром $d = 0,6$ м и высотой $H = 2,5$ м, работающего под вакуумом $p_e = 2$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 370$ кг/м³ и температурой $t = 120$ °С. Материал обечайки 10Х17Н13М3Т, коэффициент сварного шва $\varphi = 0,85$. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.9. Определить толщину стенки эллиптического днища горизонтального теплообменника с внутренним диаметром $d = 0,6$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,3$ МПа и температурой $t = 125$ °С. Высота выпуклой части днища составляет $H = 250$ мм. Материал днища Ст3. Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки $s = 1,5$ мм.

3.10. Определить толщину стенки эллиптического днища горизонтального аппарата высотой 1 м с внутренним диаметром $d = 0,3$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 3,8$ МПа и температурой $t = 155$ °С. Материал днища 12X18Н10Т. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.11. Определить толщину стенки эллиптического днища вертикального аппарата высотой 3 м с внутренним диаметром $d = 0,8$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 1,8$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 850$ кг/м³ и температурой $t = 170$ °С. Материал днища 03X21Н21М4ГБ. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.12. Определить толщину стенки полусферической крышки вертикального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,5$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 2,7$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 900$ кг/м³ и температурой $t = 240$ °С. Материал днища Ст3. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.13. Определить толщину стенки эллиптической крышки горизонтального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,75$ м, работающего под вакуумом $p_e = 3,5$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 1000$ кг/м³ и температурой $t = 120$ °С. Материал днища Ст3. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.14. Определить толщину стенки полусферического днища вертикального аппарата высотой 3 м с внутренним диаметром $d = 0,75$ м, работающего под вакуумом $p_e = 0,7$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 800$ кг/м³ и температурой $t = 220$ °С. Материал днища 07X13АГ20. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.15. Определить толщину стенки торосферического днища горизонтального теплообменника с внутренним диа-

метром $d = 0,6$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,3$ МПа и температурой $t = 125$ °С. Тип днища А. Материал днища Ст20. Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки $s = 1,2$ мм.

3.16. Определить толщину стенки торосферического днища горизонтального теплообменника с внутренним диаметром $d = 0,6$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,3$ МПа и температурой $t = 125$ °С. Тип днища А. Материал днища Ст20. Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки $s = 1,2$ мм.

3.17. Определить толщину стенки торосферического днища вертикального аппарата высотой 2 м с внутренним диаметром $d = 0,6$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 3,8$ МПа и температурой $t = 155$ °С. Тип днища В. Материал днища 12Х18Н10Т. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.18. Определить толщину стенки торосферической крышки типа С вертикального аппарата высотой 4 м с внутренним диаметром $d = 1$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 4,3$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 1100$ кг/м³ и температурой $t = 540$ °С. Материал днища 06ХН28МДТ. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.19. Определить толщину стенки торосферической крышки типа В горизонтального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,65$ м, работающего под вакуумом $p_e = 1,5$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 500$ кг/м³ и температурой $t = 120$ °С. Материал днища 08Х17Н13М2Т. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.20. Определить толщину стенки плоской крышки типа 1 горизонтального теплообменника с внутренним диаметром $d = 0,6$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,3$ МПа и температурой $t = 125$ °С. Материал

днища Ст3. Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки $c = 1,5$ мм.

3.21. Определить толщину стенки плоского днища типа 5 вертикального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,5$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 2,7$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 900$ кг/м³ и температурой $t = 240$ °С. Материал днища 15ХМ. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.22. Определить толщину стенки плоского днища типа 8 горизонтального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,8$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 3,4$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 950$ кг/м³ и температурой $t = 640$ °С. В днище имеется одно отверстие диаметром $d_1 = 0,2$ м. Материал днища 15Х5М. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.23. Определить толщину стенки плоского днища типа 11 вертикального аппарата с внутренним диаметром $d = 0,5$ м, работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,7$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 750$ кг/м³ и температурой $t = 240$ °С. В днище имеется два отверстия диаметром $d_1 = 0,2$ м и $d_2 = 0,05$ м. Материал днища 12ХМ. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.24. Определить толщину стенки конической обечайки с диаметром $D_k = 0,8$ м, и углом $\alpha = 60$ ° работающего под внутренним избыточным давлением $p = 0,9$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 850$ кг/м³ и температурой $t = 250$ °С. Материал днища Ст3. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.25. Определить толщину стенки конической обечайки с диаметром $D_k = 0,5$ м, и углом $\alpha = 40$ ° работающего под внутренним избыточным давлением $p = 1,45$ МПа с плотностью рабочей среды $\rho = 650$ кг/м³ и температурой $t = 450$ °С.

Материал днища 16ГС. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.26. Определить толщину стенки конической обечайки с диаметром $D_k = 1,2$ м, и углом $\alpha = 70^\circ$ работающего под вакуумом $p_e = 1,45$ кПа с плотностью рабочей среды $\rho = 950$ кг/м³ и температурой $t = 250$ °С. Материал днища сталь 20. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.27. Цилиндрическая обечайка с толщиной стенки 3 мм имеет два отверстия $d_1 = 80$ мм и $d_2 = 100$ мм, расстояние между которыми составляет 1,5 м. Определить требуют ли укрепления данные отверстия.

3.28. При помощи специализированного программного обеспечения «ПАССАТ» рассчитать на прочность вертикальный аппарат, имеющий цилиндрическую обечайку и 2 крышки. Внутренний диаметр аппарата D_e , высота H . Аппарат работает под внутренним избыточным давлением рабочей среды $P_{ж}$ с плотностью $\rho_{ж}$ и температурой $T_{ж}$. В верхнем днище имеется центрально расположенное неукрепленное отверстие диаметром D_1 , а в нижнем – надежно укрепленное отверстие диаметром D_2 . Отдельные конструктивные элементы аппарата выбрать самостоятельно. Значения исходных данных принять из таблицы 3.1.

3.29. Используя программу «ПАССАТ» определить толщины стенок днищ и цилиндрической обечайки горизонтального теплообменного аппарата с внутренним диаметром D_e и длиной H , работающего под вакуумом p_e с температурой $T_{ж}$. В днищах имеется по одному смещенному укрепленному отверстию диаметром D_1 и D_2 . Укрепление отверстий подобрать и рассчитать. Отдельные конструктивные элементы аппарата выбрать самостоятельно. Значения исходных данных принять из таблицы 3.1.

Таблица

Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D _B , м	1	1,6	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
H, м	13	12	11	10	8	7	6	5	4	3
D ₁ , м	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22
Тип днища	Эллиптическое				Коническое				Плоское	
D ₂ , м	0,22	0,2	0,18	0,16	0,14	0,12	0,1	0,08	0,06	0,02
Тип днища	Коническое		Плоское				Эллиптическое			
Угол, град.	80	60	-	-	50	65	70	80	-	-
Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Материал	Ст3	10	20К	16ГС	12ХМ	15Х5М	12Х18Н10Т	08Х18Н10Т	15ХМ	20
Р _ж , МПа	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
ρ _ж , кг/м ³	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
T _ж , °С	50	100	150	130	150	160	110	125	75	175
р _в , кПа	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

3.30. В программе «ПАССАТ» рассчитать толщину трубной решетки U-образного теплообменника по следующим данным: диаметр кожуха 800 мм, трубы 20×2 мм, шаг труб 28 мм, давление 1,5 МПа, температура 200 °С, материал сталь 20К.

3.31. Используя программу «ПАССАТ», рассчитать толщину кожуха и трубных решеток одноходового кожухотрубного теплообменника с неподвижными решетками. Исходные данные. Трубы: 25х2 мм, шаг 34 мм, давление

2,2 МПа, температура 210 °С. Кожух: диаметр 450 мм, давление 1,0 МПа, температура 140 °С. Материал сталь Ст3.

3.32. Используя программу «ПАССАТ», рассчитать толщину кожуха и трубных решеток четырехходового кожухотрубного теплообменника с неподвижными решетками. Исходные данные. Трубы: 25x2 мм, шаг 30 мм, давление 1,2 МПа, температура 80 °С. Кожух: диаметр 500 мм, давление 0,4 МПа, температура 160 °С. Материал сталь 20.

3.33. Определить толщину стенки горизонтального конического перехода с внутренним диаметром в начале перехода 400 мм, в конце 900 мм. Длина перехода составляет 1000 мм. Переход подвержен внутреннему избыточному давлению 1,5 МПа. Рабочая температура составляет 140 °С. Материал перехода 12ХМ. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.34. Определить толщину стенки горизонтального конического перехода с внутренним диаметром в начале перехода 300 мм, в конце 1000 мм. Длина перехода составляет 1500 мм. Переход работает под вакуумом 5 кПа. Рабочая температура составляет 140 °С. Материал перехода 12Х18Н10Т. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.

3.35. Используя программу ПАССАТ рассчитать укрепление отверстия проходящим штуцером без укрепления в горизонтальной цилиндрической обечайке диаметром 500 мм, подверженной действию внутреннего избыточного давления 0,9 МПа и температуры 120 °С. Внутренний диаметр штуцера составляет 120 мм, длина наружной части 100 мм, внутренней 30 мм. Расположение штуцера радиальное. Величина смещения от торца обечайки составляет 500 мм. Материал штуцера 17ГС.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ

Краткие теоретические сведения

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида изделия. Основные критерии надежности можно разбить на две группы: критерии, характеризующие надежность невосстанавливаемых изделий; критерии, характеризующие надежность восстанавливаемых изделий.

Невосстанавливаемыми называются такие изделия, которые в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта. Восстанавливаемыми называются такие изделия, которые в процессе выполнения своих функций допускают ремонт.

Рассмотрим критерии надежности *невосстанавливаемых* изделий. Критериями надежности данных изделий являются: вероятность безотказной работы $P(t)$; частота отказов $a(t)$; интенсивность отказов $\lambda(t)$; средняя наработка до первого отказа T_{cp} .

Вероятность безотказной работы при большом числе изделий совпадает со статистической оценкой вероятности безотказной работы и оценивается выражением

$$P(t) = \frac{(N_0 - n(t))}{N_0}, \quad \text{Equation Section 4(4.1)}$$

где N_0 – число изделий в начале испытания; $n(t)$ – число отказавших изделий за время t ; $P(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы.

На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа $Q(t)$, т.е. вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникнет хотя бы один отказ. Отказ и безотказная

работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому

$$Q(t) = P(T \leq t), \bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, Q(t) = 1 - P(t). \quad (4.2)$$

Частотой отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются. Согласно определению

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (4.3)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших образцов в интервале времени от $\frac{t - \Delta t}{2}$ до $\frac{t + \Delta t}{2}$.

Интенсивностью отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данных отрезок времени. Согласно определению

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad (4.4)$$

где $N_{cp} = \frac{(N_i + N_{i+1})}{2}$ – среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt ; N_i – число изделий, исправно работающих в начале интервала Δt ; N_{i+1} – число изделий исправно работающих в конце интервала Δt .

Выражение (4.4) есть статистическое определение интенсивности отказов. Вероятностная оценка этой характеристики находится из выражения

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (4.5)$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы изделия до отказа.

Имея данные о количестве вышедших из строя элементов n_i в каждом i -м интервале времени, средняя наработка до первого отказа определяется из уравнения

$$\bar{T}_{cp} \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{cpi}}{N_0}. \quad (4.6)$$

В выражении (4.6) t_{cpi} и m находятся по следующим формулам

$$t_{cpi} = \frac{(t_{i-1} + t_i)}{2}, \quad m = \frac{t_k}{\Delta t}, \quad (4.7)$$

где t_{i-1} – время начала i -го интервала; t_i – время конца i -го интервала; t_k – время, в течение которого вышли из строя все элементы; $\Delta t = t_{i-1} - t_i$ – интервал времени.

При изучении надежности технических устройств наиболее часто применяются следующие законы распределения времени безотказной работы: экспоненциальный, усеченный нормальный, Релея, Гамма, Вейбулла, логарифмически-нормальный. В приложении Б приведены выражения для оценки количественных характеристик надежности изделий при указанных законах распределения времени их безотказной работы.

Рассмотренные критерии надежности позволяют достаточно полно оценить надежность невосстанавливаемых изделий.

Рассмотрим критерии надежности *восстанавливаемых* изделий. Параметром потока отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными. Согласно определению

$$\bar{\omega}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (4.8)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших образцов в интервале времени от

$t - \frac{\Delta t}{2}$ до $\Delta t + \frac{\Delta t}{2}$; N_0 – число испытываемых образцов;
 Δt – интервал времени.

Параметр потока отказов и частота отказов для ординарных потоков с ограниченным последствием связаны интегральным уравнением. Запишем его в операторной форме

$$\omega(S) = \frac{a(s)}{1 - a(s)}, \quad a(S) = \frac{\omega(s)}{1 + \omega(s)}. \quad (4.9)$$

Для получения интенсивности отказов элементов из статистических данных об отказах ремонтируемых систем целесообразно определять $\lambda(t)$ по параметру потока отказов $\omega(t)$. Методика расчета сводится к следующему:

- по статистическим данным об отказах элементов ремонтируемых изделий и по формуле (4.8) вычисляется параметр потока отказов и строится гистограмма $\omega_i(t)$;

- гистограмма заменяется кривой, которая аппроксимируется уравнением;

- находится преобразование Лапласа $\omega_i(s)$ функции $\omega_i(t)$;

- по известной $\omega_i(s)$ на основании (4.9) записывается преобразование Лапласа $a_i(s)$ частоты отказов;

- по известной $a_i(s)$ находится обратное преобразование частоты отказов $a_i(t)$;

- находится аналитическое выражение для интенсивности отказов по формуле

$$\lambda_i(t) = \frac{a_i(t)}{\left(1 - \int_0^t a_i(t) dt\right)}; \quad (4.10)$$

- строится график $\lambda_i(t)$.

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами. Если на испытании находится N образцов в течение времени t , то наработка на отказ вычисляется по формуле

$$\bar{t}_{cp} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} / \sum_{j=1}^N n_j, \quad (4.11)$$

где t_{ij} – время исправной работы j -го образца изделия между $(i-1)$ -м и i -м отказом; n_j – число отказов за время t j -го образца.

Задачи для самостоятельного решения

4.1. На испытание поставлено N_0 изделий. За время t вышло из строя $n(t)$ изделий, а за интервал времени $t + \Delta t$ вышло из строя еще $n(\Delta t)$ изделий. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы $P(t)$ и $P(t + \Delta t)$, частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов λ в промежутке времени от t до $t + \Delta t$. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

№	Исходные данные				
	N_0	t , час	Δt , час	$n(t)$, шт.	$n(\Delta t)$, шт.
1	2	3	4	5	6
1	45	30	10	40	3
2	1000	500	100	167	17
3	1000	1100	100	260	14
4	1000	600	100	184	16
5	45	50	10	43	1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
6	45	10	5	6	8
7	45	35	5	31	3
8	1000	8000	1000	290	50
9	1000	14000	1000	540	50
10	100	5000	100	10	10
11	100	4000	200	20	20
12	100	3000	1000	20	20
13	1000	800	100	216	15
14	1000	2300	100	417	13
15	1000	1200	100	274	14
16	1000	900	100	231	14
17	1000	10000	1000	370	40
18	1000	15000	1000	590	40
19	1000	21000	1000	840	50
20	1000	11000	1000	410	40
21	1000	1300	100	288	13
22	1000	1900	100	368	12
23	1000	2700	100	480	25
24	45	15	5	14	2
25	45	45	5	34	1
26	45	60	5	35	3
27	100	6000	500	50	20
28	100	4000	1000	10	6
29	100	10000	1000	25	5
30	1000	1400	100	301	14

4.2. На испытании находилось $N_0 = 1000$ однотипных задвижек. Число отказавших задвижек учитывалось через каждые 1000 ч работы ($\Delta t = 1000$ ч). Данные об отказах задвижек приведены в таблице 4.2. Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$, частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов $\lambda(t)$, построить графики этих функций. Необходимо также найти среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

Таблица 4.2

Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0-1000	20	9000-10000	30	18000-19000	50
1000-2000	25	10000-11000	40	19000-20000	35
2000-3000	35	11000-12000	40	20000-21000	35
3000-4000	50	12000-13000	50	21000-22000	50
4000-5000	30	13000-14000	40	22000-23000	35
5000-6000	50	14000-15000	50	23000-24000	25
6000-7000	40	15000-16000	40	24000-25000	30
7000-8000	40	16000-17000	50	25000-26000	20
8000-9000	50	17000-18000	40	-	-

4.3. В результате наблюдения за 45 образцами насосов получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенных в таблице 4.3. Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$, частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов $\lambda(t)$, построить графики этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

Таблица 4.3

Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$
0-5	1	30-35	4	60-65	3
5-10	5	35-40	3	65-70	3
10-15	8	40-45	0	70-75	3
15-20	2	45-50	1	75-80	1
20-25	5	50-55	0	-	-
25-30	6	55-60	0	-	-

4.4. В результате наблюдения за 45 образцами сальниковых компенсаторов, которые прошли предварительную 800-часовую приработку, получены данные до первого отказа всех 45 образцов, которые сведены в таблице 4.4. Необходимо найти вероятность безотказной работы $P(t)$, частоту отказов $a(t)$ и интенсивность отказов $\lambda(t)$, построить график этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

Таблица 4.4

Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , час	$n(\Delta t_i)$
0-10	19	30-40	3	60-70	1
10-20	13	40-50	0	-	-
20-30	8	50-60	1	-	-

4.5. Имеются статистические данные об отказах трех групп одинаковых изделий, приведенные в таблице 4.5. В каждой группе было по 100 изделий и их испытания проводились по 1 группе 550 ч, по 2 группе 400 ч и по 3 группе 200 ч. Необходимо вычислить количественные характеристики $P(t)$, $a(t)$, $\lambda(t)$ и построить графики этих функций.

Таблица 4.5

$n(\Delta t_i)$, ч	1 группа $n(\Delta t_i)$	2 группа $n(\Delta t_i)$	3 группа $n(\Delta t_i)$	$\sum n(\Delta t_i)$
0-25	4	6	5	15
25-50	8	9	8	25
50-75	6	5	7	18
75-100	3	4	5	12
100-150	5	5	6	16
150-200	4	3	3	10
200-250	1	3	-	4
250-300	2	2	-	4
300-400	3	4	-	7
400-550	5	-	-	5

4.6. В течение времени Δt производилось наблюдение за восстанавливаемым изделием и было зафиксировано $n(\Delta t)$ отказов. До начала наблюдения изделие проработало t_1 , ч, общее время наработки к концу наблюдения составило t_2 , ч. Требуется найти наработку на отказ t_{cp} . Исходные данные приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Номер варианта	Исходные данные		
	t_1 , ч	t_2 , ч	$n(\Delta t)$
1	2	3	4
1	350	1280	15
2	400	1600	3
3	1000	6400	9
4	770	4800	7
5	1200	5558	2
6	300	540	12

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4
7	540	1200	5
8	300	3200	8
9	12	184	16
10	570	2000	27

4.7. В течение некоторого времени проводилось наблюдение за работой N_0 экземпляров восстанавливаемых изделий. Каждый из образцов проработал t_i , ч и имел n_i отказов. Требуется определить наработку на отказ t_{cp} по данным наблюдения за работой всех изделий. Исходные данные приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

№	Исходные данные													
	n_1	$t_1, \text{ч}$	n_2	$t_2, \text{ч}$	n_3	$t_3, \text{ч}$	n_4	$t_4, \text{ч}$	n_5	$t_5, \text{ч}$	n_6	$t_6, \text{ч}$	n_7	$t_7, \text{ч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	300	3	600	2	400	-	-	-	-	-	-	-	-
2	3	90	6	270	4	140	5	230	3	180	-	-	-	-
3	12	960	15	111	8	808	7	990	-	-	-	-	-	-
4	6	144	5	125	3	80	8	176	5	150	4	112	8	216
5	8	176	5	150	4	112	8	216	-	-	-	-	-	-
6	6	144	5	125	3	80	-	-	-	-	-	-	-	-
7	10	1020	18	2700	26	3120	32	4000	24	3480	16	2080	-	-
8	32	4000	24	3480	16	2080	-	-	-	-	-	-	-	-
9	10	1020	26	3120	24	3480	18	2700	-	-	-	-	-	-
10	18	2700	32	4000	24	3480	16	2080	-	-	-	-	-	-
11	3	720	4	1040	2	500	6	1800	-	-	-	-	-	-
12	1	300	3	600	6	2300	7	2450	5	1200	2	540	4	770

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
13	5	1500	8	1920	3	180	4	680	3	1290	2	2200	10	1500
14	3	1650	2	1200	4	2300	-	-	-	-	-	-	-	-
15	5	72	4	60	7	92	8	96	4	50	3	42	6	

4.8. Система состоит из N_0 приборов, имеющих разную надежность. Известно, что каждый из приборов, проработал вне системы t_i , ч и имел n_i отказов. Для каждого из приборов справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо найти наработку на отказ всей системы t_{cp} . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

№	Исходные данные										
	N_0	t_1 , ч	n_1	t_2 , ч	n_2	t_3 , ч	n_3	t_4 , ч	n_4	t_5 , ч	n_5
1	5	256	6	540	8	780	10	250	4	900	12
2	3	2000	6	1860	4	2160	3	-	-	-	-
3	4	960	12	1112	15	808	8	1490	1	-	-
4	5	90	3	270	6	140	4	230	5	180	3
5	5	600	45	600	2	200	4	200	6	200	2
6	3	144	6	125	5	80	3	-	-	-	-
7	4	720	3	1040	4	500	2	1800	6	-	-
8	3	1650	3	150	5	176	10	-	-	-	-
9	4	120	1	120	2	90	8	700	1	-	-
10	3	4800	9	5500	3	1200	3	-	-	-	-

4.9. Компрессор состоит из k групп элементов. В процессе эксплуатации зафиксировано n отказов. Количество отказов в j -й группе равно n_j ; среднее время восстановле-

ния элементов j -й группы равно t_j . Требуется вычислить среднее время восстановления компрессора. Исходные данные приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9

№	Исходные данные											
	k	n	n_1	$t_1,$ мин	n_2	$t_2,$ мин	n_3	$t_3,$ мин	n_4	$t_4,$ мин	n_5	$t_5,$ мин
1	5	12	1	20	4	30	3	16	2	36	2	40
2	5	40	5	15	8	25	12	60	6	40	9	20
3	4	9	2	37	1	480	2	60	4	25	-	-
4	5	18	3	72	5	40	4	36	2	120	4	60
5	5	68	14	18	8	40	27	20	6	30	13	15
6	4	15	1	26	2	300	5	21	3	100	8	25
7	4	22	4	58	3	80	12	28	5	35	-	-
8	5	57	10	60	7	70	18	37	3	60	5	15
9	4	33	8	21	5	55	24	56	6	25	12	35
10	4	14	3	34	4	60	8	18	2	90	10	50

4.10. Интенсивность отказов изделия $\lambda(t) = 0,82 \cdot 10^{-3} 1/\text{ч} = \text{const}$. Необходимо найти вероятность безотказной работы $P(t)$ в течении 6 ч, частоту отказов $a(t)$ при $t = 100$ ч и среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.11. Вероятность безотказной работы автоматической линии изготовления цилиндров поршневых компрессоров в течение 120 ч $P(120) = 0,9$. Предполагается, что справедлив экспоненциальной закон надежности. Требуется рассчитать интенсивность отказов $\lambda(t)$ и частоту отказов линии $a(t)$ для момента времени 120 ч.

4.12. Средняя наработка до первого отказа автоматической системы управления $T_{cp} = 6400$ ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо определить вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение 1200 ч, частоту отказов $a(t)$ для момента времени 1200 ч и интенсивность отказов $\lambda(t)$.

4.13. Время работы изделия подчинено усеченному нормальному закону с параметрами $T_1 = 800$ ч, $\sigma_1 = 1000$ ч. Требуется найти вероятность безотказной работы изделия $P(t)$ в течении 8000 ч.

4.14. Используя данные задачи 4.13, вычислить частоту отказов $a(t)$ для $t = 6000$ ч.

4.15. Используя данные задачи 4.13, определить интенсивность отказов $\lambda(t)$ для $t = 10000$ ч.

4.16. Используя данные примера 4.13, вычислить среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.17. Время безотказной работы сетевого насоса подчинено закону Релея с параметром $\sigma = 1860$ ч. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение времени $t = 1000$ ч, частоту отказа $a(1000)$, интенсивность отказов $\lambda(1000)$ и среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.18. Вероятность безотказной работы изделия в течении $t = 1000$ ч $P(1000) = 0,95$. Время исправной работы подчинено закону Релея. Требуется определить количественные характеристики надежности $a(t)$, $\lambda(t)$, T_{cp} .

4.19. Средняя наработка изделия до первого отказа равна $T_{cp} = 1260$ ч. Время исправной работы подчинено закону Релея. Необходимо найти его количественные характеристики надежности для $t = 1000$ ч.

4.20. Время исправной работы изделия подчинено гамма-распределению с параметрами $k = 3$ и $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Необходимо определить вероятность безотказной работы изделия $P(t)$ в течение 10000 ч,

4.21. Используя данные задачи 4.20, вычислить частоту отказа $a(t)$ для $t = 5000$ ч.

4.22. Используя данные задачи 4.20, найти интенсивность отказа $\lambda(t)$ для $t = 5000$ ч.

4.23. Используя данные задачи 4.20, определить среднюю наработку до первого отказа изделия T_{cp} .

4.24. Время исправной работы скоростных шарикоподшипников подчинено закону Вейбулла с параметрами $k = 2,6$, $\lambda_0 = 1,65 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Необходимо найти вероятность безотказной работы шарикоподшипников $P(t)$ в течение 150 ч.

4.25. Используя данные задачи 4.24, вычислить частоту отказа $a(t)$ для $t = 150$ ч.

4.26. Используя данные задачи 4.24, найти интенсивность отказа $\lambda(t)$ для $t = 150$ ч.

4.27. Используя данные задачи 4.24, определить среднюю наработку до первого отказа шарикоподшипника T_{cp} .

4.28. Вероятность безотказной работы изделия $P(t)$ в течение $t = 150$ ч равна 0,9. Время исправной работы подчинено закону Вейбулла с параметром $k = 2,6$. Необходимо определить интенсивность отказов изделия $\lambda(t)$ для $t = 150$ ч и среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.29. Известно, что параметр потока отказов оборудования выражается формулой $\omega(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - e^{-0,6 \cdot 10^{-3} t})$. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа оборудования T_{cp} .

4.30. Преобразование Лапласа параметра потока отказов аппаратуры при раздельном резервировании с кратностью $m=1$ выражается зависимостью $\omega(s) = 2\lambda^2/s(s+3\lambda)$. Требуется вычислить среднюю наработку до первого отказа, если интенсивность отказов $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-3}$ 1/ч.

4.31. В результате анализа данных об отказе изделия установлено, что частота отказов имеет вид $a(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$. Необходимо определить количественные характеристики надежности $P(t), \lambda(t), T_{cp}, \omega(t)$.

4.32. В результате анализа данных об отказе изделия установлено, что вероятность безотказной работы выражается формулой $P(t) = 3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + 3e^{-3\lambda t}$. Требуется определить количественные характеристики надежности $a(t), \lambda(t), \omega(t), T_{cp}$.

4.33. Известно, что частота отказов изделия аппроксимируется формулой $a(t) = 6\lambda e^{-2\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})$. Необходимо определить среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.34. Интенсивность отказов изделия зависит от времени и выражается функцией $\lambda(t) = k(1 - e^{-kt}) / \left(1 - \frac{1}{2} e^{-kt}\right)$. Требуется определить количественные характеристики надежности $a(t), P(t), \omega(t), T_{cp}$.

4.35. Интенсивность отказов изделия зависит от времени и выражается функцией $\lambda(t) = k^2 t / (1 + kt)$. Необходимо найти $P(t)$.

4.36. Используя данные задачи 4.35, определить частоту отказов изделия $a(t)$.

4.37. Используя данные задач 4.35 и 4.36, найти среднюю наработку до первого отказа T_{cp} .

4.38. Частота отказов изделия $a(t) = k^2 t e^{-kt}$. Требуется определить параметр потока отказов $\omega(t)$.

4.39. Интенсивность отказов λ_c сложной восстанавливаемой системы есть величина постоянная и равная 0,015 1/ч. Среднее время восстановления $t_g = 100$ ч. Необходимо вычислить вероятность застать систему в исправном состоянии в момент времени $t = 10$ ч.

4.40. Коэффициент готовности сложного восстанавливаемого изделия $K_g = 0,9$. Среднее время его восстановления $t_g = 100$ ч. Требуется найти вероятность застать изделие в исправном состоянии в момент времени $t = 12$ ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

Патентная документация

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата приоритета, конвенционный период, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)	Сведения о действии охранного документа или причина его аннулирования (только для анализа патентной чистоты)

Таблица П1.2

Научно-техническая, конъюнктурная, нормативная документация и материалы государственной регистрации (отчеты о НИР)

Предмет поиска	Наименование источника информации с указанием страницы источника	Автор, фирма (держатель) технической документации	Год, место и орган издания (утверждения, депонирования источника)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Основные соотношения для количественных характеристик надежности при различных законах распределения времени до отказа

Наименование закона распределения	Частота отказов (плотность распределения)	Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов	Средняя наработка до первого отказа
1	2	3	4	5
Экспоненциальный	$\lambda e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$\lambda = const$	$\frac{1}{\lambda}$
Релея	$\frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$		$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma$
Гамма (при k целом)	$\lambda_0 \frac{(\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda_0 t}$	$e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}$	$\frac{\lambda_0 (\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)! \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}}$	$\frac{k}{\lambda_0}$
Вейбулла	$\lambda_0 k t^{k-1} e^{-\lambda_0 t^k}$	$e^{-\lambda_0 t^k}$	$\lambda_0 k t^{k-1}$	$\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) / \lambda_0 \frac{1}{k}$

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5
Усеченный нормальный	$\frac{e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)\sigma\sqrt{2\pi}}$	$\frac{F\left(\frac{T_1-t}{\sigma}\right)}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$	$\frac{e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma F\left(\frac{T_1-t}{\sigma}\right)}$	$T_1 + \frac{\sigma \cdot e^{-\frac{T_1^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$
Логарифмически-нормальный	$\frac{e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma t \sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \frac{e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}}{0.5 + \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)}$	$\frac{\int_0^{\infty} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt}{\sigma 2\pi}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 15.011-96 Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1996. – 15 с.

2. Власов Е.М. Анализ теплотехнических характеристик и повышение эффективности работы испарительных градирен: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Евгений Михайлович Власов. - Казань, 2013. – 20 с.

3. Муравьев А.В. Моделирование процесса образования отложений в каналах энергетических установок с кольцевыми турбулизаторами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Анатолий Викторович Муравьев. - Воронеж, 2009. – 17 с.

4. Дрейцер Г.А. О некоторых проблемах создания высокоэффективных трубчатых теплообменных аппаратов / Г.А. Дрейцер. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=290.

5. Терещенко М.А. Моделирование нестационарных процессов в аппаратах пульсирующего горения и исследование их влияния на экологические характеристики: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Михаил Александрович Терещенко. - Воронеж, 2009. – 17 с.

6. ГОСТ Р 52630-2006 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2006. – 68 с.

7. ГОСТом 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. - М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. – 53 с.

8. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.

9. Дроздов И.Г. Проектирование энергоустановок: учеб. Пособие / И.Г. Дроздов, Н.Н. Кожухов, С.Ф. Финько // Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2008. – 161 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1. ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	2
2. ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	11
3. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	15
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	44

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий по дисциплине
«Проектирование и эксплуатация энергетических установок»,
для студентов направления 140100.62 «Теплоэнергетика и
теплотехника», профиль «Промышленная теплоэнергетика»
всех форм обучения

Составитель:
Кожухов Николай Николаевич

В авторской редакции

Компьютерный набор Н.Н. Кожухова

Подписано в печать 15.04.2014.
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,8. Тираж 50 экз. «С»
Заказ №

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14