

На правах рукописи

Ноздрин Глеб Алексеевич

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА
ВО ВНУТРЕННЕМ КОНТУРЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

Специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» на кафедре «Двигатели, автомобили и гусеничные машины»

Научный руководитель: **Куколев Максим Игоревич**
доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», профессор

Официальные оппоненты: **Петриченко Михаил Романович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», профессор

Сударь Юрий Михайлович
кандидат технических наук, ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» МО РФ, начальник факультета

Ведущая организация: ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится 24 декабря 2013 года в 18.00 на заседании диссертационного совета Д 212.229.09 в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, в аудитории 118 Гл.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан «22» ноября 2013 г.

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, в двух экземплярах просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Факс: (812) 552 89 45

Ученый секретарь
диссертационного совета

Б. С. Хрусталёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время перед человеческим обществом стоит проблема нехватки энергоресурсов, которая, в силу ограниченности природных ископаемых и особенностей мировой экономики, с каждым годом становится все острее. В этих условиях основными задачами энергомашиностроения являются - повышение эффективности установок и освоение новых источников энергии. Комбинированные установки, в состав которых входит двигатель Стирлинга (ДС) являются одним из перспективных решений этих задач. Особенности конструкции и рабочего процесса ДС позволяют как осваивать новые источники энергии, так и повышать эффективность уже созданных установок за счет более полного превращения теплоты в работу. При этом в основе установки может находиться один и тот же двигатель, а адаптация под конкретный источник энергии требует незначительных изменений в конструкции установки и настройке систем управления. Простота конструкции и отсутствие ряда систем, по сравнению с классическими ДВС, обеспечивают низкую стоимость и большой ресурс двигателя. В силу этих особенностей ДС в ближайшие 5 - 10 лет займет, вероятно, свою нишу в мировой энергетике.

На сегодняшний день в мире лишь немногие фирмы освоили серийный выпуск двигателей и энергетических установок, работающих по циклу Стирлинга. В большинстве своем их работы основаны на исследованиях проводившихся в течении 20-го века в Европе и США.

В СССР (ЦНИДИ, МГТУ им. Баумана, СПбГМТУ, МАИ и др.) также проводились успешные исследования ДС. Ими, в различное время, занимались Ефимов С. И, Красивский Ю. В, Лушпа А. Т., Столяров С. П., Бурцев Ю. И., Иванченко Н. Н., Сегаль М. С., Добросоцкий А. В., Яманин А. И. и другие исследователи. Однако, в России, сейчас нет серийных или готовых к запуску в серию ДС. Кроме того, многие полученные отечественными исследователями результаты утеряны или стали практически недоступными. Поэтому одной из важных задач можно считать воссоздание, сохранение и дальнейшее развитие отечественной научной базы необходимой для расчетов и конструирования ДС, в передаче ее в инженерные и конструкторские центры с целью освоения выпуска серийных изделий.

В данной работе предложена расчетная модель ДС, основанная на общих законах термодинамики и теплообмена, адаптированных под условия характерные для внутреннего контура (ВК) двигателя. Модель предназначена для предварительных расчётов и позволяет определить основные характеристики и размеры узлов и деталей в

широком диапазоне входных параметров с малыми затратами вычислительных ресурсов. В отличие от других подобных моделей ВК ДС, в представленной модели учтено взаимное влияние соседних объемов двигателя на протекающие процессы. Это дополнение увеличивает точность полученных результатов при меньшем количестве итераций, снижая количество затраченных ресурсов и увеличивая быстродействие расчетной модели. Так же повышается устойчивость модели, что позволяет использовать исходные данные, напрямую взятые из более простых расчетных моделей, без необходимости их сложной адаптации.

Предложенная модель достаточно полно описывает процессы протекающие во ВК ДС, позволяя моделировать различные режимы работы ДС. А именно - постоянные нагрузочные режимы, холостой ход, работу в режиме холодильника и переходные режимы при изменении таких параметров как давление во ВК, температура нагревателя и холодильника, размер буферной полости. Эти возможности позволяют получить при проектировании двигателя не только параметры номинальных режимов, но и изучить переходные процессы в интересующих диапазонах, а так же сформулировать требования к системам регулирования и управления ДС.

Целью работы является повышение точности моделей и методик для расчета значений основных параметров ДВПТ на ранних стадиях проектирования.

Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в создании новой расчетной модели для определения параметров РТ во ВК ДС. Созданная модель учитывает изменение температуры РТ во ВК за время цикла, учитывает влияние соседних объемов ВК на процессы, протекающие в них. Она позволяет получить как интегральные параметры ДС, так и зависимости основных параметров от угла ПКВ на постоянных и переходных режимах работы ДС.

Практическая значимость работы заключается в реализации созданной расчетной модели в виде инженерной методики расчета и создании программного продукта для ЭВМ. Материалы работы внедрены на предприятиях RSEZ SIA "REDIUS" г. Резекне, Латвия в 2012 г. и ОАО «ВЗМИ» Ленинградская область, пгт. Вырица в 2012 г. Материалы работы внедрены в учебный процесс на кафедрах ДАиГМ СПбГПУ в курсе «ДВС в энергетике» и ДВС УГАТУ в курсе «Энергетические машины и установки».

На защиту выносятся:

1. Расчетная модель ВК ДС;
2. Инженерная методика расчёта;
3. Результаты экспериментов.

Апробация работы. Некоторые результаты проведенной работы докладывались и обсуждались на:

- Всероссийских конференциях «Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах» (СПбГПУ, г. Санкт-Петербург – 2010, 2011 гг.);
- XXX, XXXI, XXXII отраслевых научно-технических конференциях молодых специалистов «Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. МПО-МС», (ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», г. Санкт-Петербург – 2011, 2012, 2013 гг.). Доклады отмечены дипломами;
- IX молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее – 2011» (ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург – 2011 г.);
- международных научно-практических конференциях «Неделя науки СПбГПУ» (СПбГПУ, г. Санкт-Петербург – 2010, 2011, 2012 г.г.). Доклад на конференции за 2012 г. отмечен дипломом.
- Всероссийской межотраслевой научно-технической конференции «Актуальные проблемы морской энергетики» (СПбГМТУ, г. Санкт-Петербург – 2012 г.).

По материалам исследования опубликовано 13 печатных работ (из них 3 в журналах из списка ВАК РФ), размещенных в сборниках трудов международных и отечественных конференций и в периодических изданиях «Научно-технические ведомости СПбГПУ», «Двигателестроение».

Результаты исследования были доложены и обсуждены на семинарах проведенных кафедрами «Двигатели внутреннего сгорания» УГАТУ (2012 г.) и «Двигатели, автомобили и гусеничные машины» СПбГПУ (2013 г.).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении в виде краткой аннотации изложено обоснование актуальности выбранной темы. Сформулирована цель и задачи исследования. Определены научная новизна и практическая значимость работы. Сформулированы положения выносимые на защиту. Представлена информация об апробации работы.

В первой главе – «История развития и современное состояние двигателей Стирлинга и расчетных моделей» проведен обзор и анализ работ посвященных двигателям Стирлинга и расчетным моделям ДС. Представлена история развития ДС с начала XIX века до наших дней, проведен обзор и анализ конструкций двигателей и их рабочих параметров. Рассмотрены возможные области применения ДС. Представлена

классификация, краткий исторический обзор и анализ преимуществ и недостатков расчетных моделей ДС. Представлено современное состояние развития установок с ДС.

Во второй главе – «Расчетная модель внутреннего контура двигателя Стирлинга» подробно изложена предлагаемая расчетная модель и методика расчета.

Предложенная модель основывается на общих законах термодинамики и теплообмена адаптированных под условия характерные для внутреннего контура (ВК) ДС.

Расчетная модель позволяет получить зависимости от угла ПКВ:

- распределения масс РТ в объемах ВК ДС;
- индикаторное давление РТ в объемах ВК ДС;
- изменения температур РТ в объемах ВК ДС;
- количество подведенной и отведенной от РТ в объемах ВК ДС теплоты;
- работу совершенную или затраченную РТ в объемах ВК ДС;

а также прочие параметры рабочего процесса (РП) ДС позволяющие проводить дальнейшие прочностные и конструкторские расчеты. Алгоритм расчетной модели представлен на рис. 1. В основе расчетной модели лежит первый закон термодинамики в общем виде, закон сохранения массы и уравнения состояния идеального газа, которые дополняются уравнениями тепло-массообмена, и замыкаются характерными для ВК ДС условиями пространственной и временной однозначности, в основе которых лежат принципы разбиения ВК ДС на объемы и РП ДС на этапы.

Производится разбиение ВК ДС на объемы, в каждом из которых происходит подвод или отвод теплоты при одинаковых (на текущем расчетном шаге) коэффициентах теплоотдачи, через определенную площадь, за время одного расчетного шага. То есть – при одинаковых скоростях течения жидкости, определяющих размерах, и прочих параметрах характеризующих теплообмен. Производится также разбиение РП ДС на этапы, на каждом из которых происходит перетекание РТ из одного объема в другой в определенном направлении. В качестве исходных данных используются результаты расчета по дополненному циклу Шмидта, а именно - распределение масс в объемах двигателя и законы их изменений, распределение давления во ВК ДС.

ВК ДС разбивается на 5 основных объемов:

- 1 – Цилиндр расширения;
- 2 – Цилиндр сжатия;
- 3 – Нагреватель постоянного объема;
- 4 – Холодильник постоянного объема;
- 5 – Регенератор.

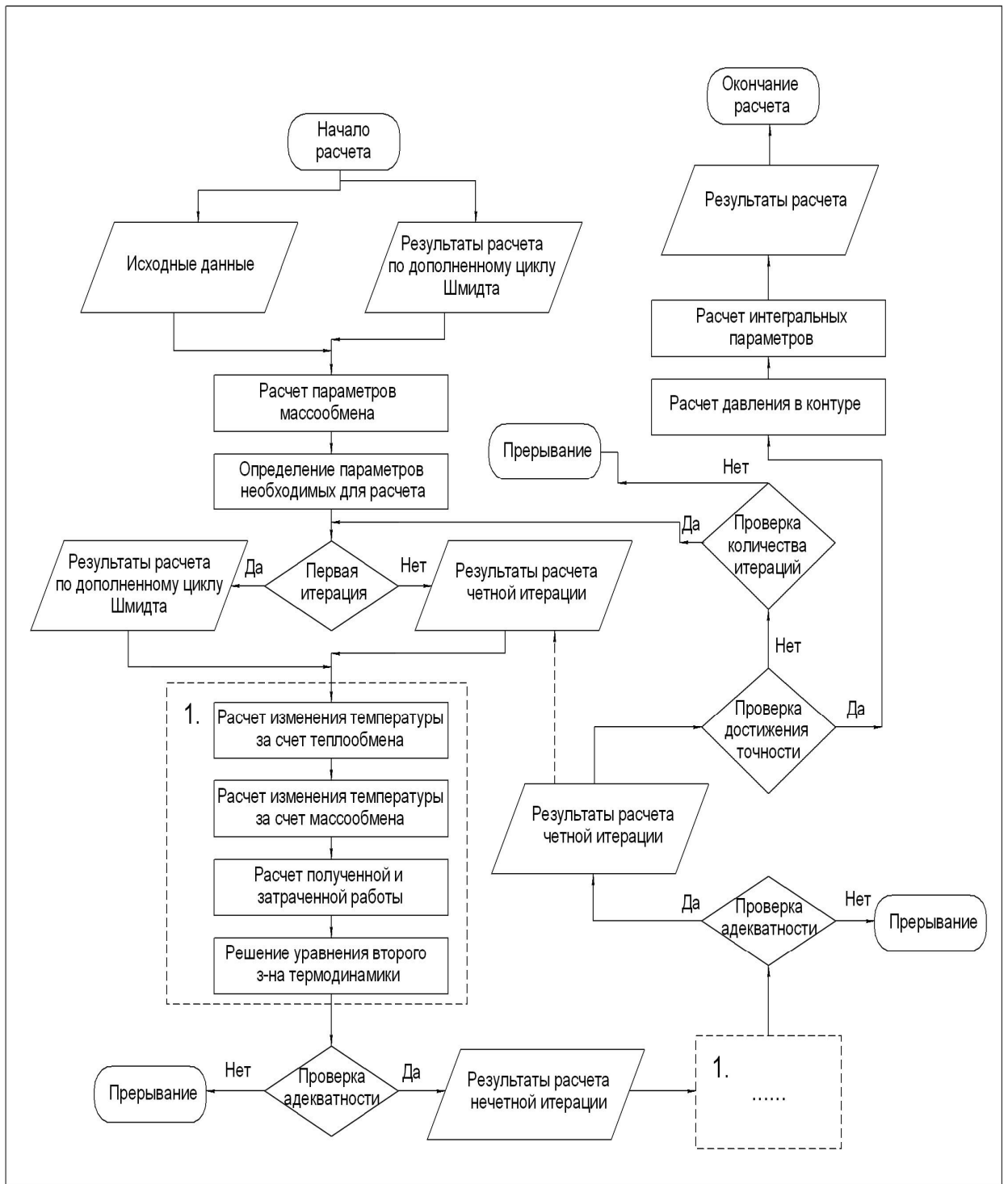


Рис. 1 – Алгоритм расчетной модели

При использовании представленного разбиения в цилиндрах сжатия и расширения происходит теплообмен со стенками и они являются так же нагревателем и холодильником переменного объема, а в их объем так же включено надпоршневое пространство которое остается в цилиндре при положении поршня в ВМТ. Нагреватель постоянного объема, холодильник постоянного объема и регенератор являются теплообменными аппаратами постоянного объема. В зависимости от конструкции ДС

некоторые из этих объемов, чаще всего регенератор, могут отсутствовать. В случае необходимости расчета двигателей нестандартной конструкции разбиение может быть изменено без внесения значительных поправок в расчетную модель. Условная схема ВК ДС с учетом разбиения его на объемы. представлена на рис.2.

РП ДС разбивается на четыре этапа:

- 1 – Перетекание рабочего тела в расширитель - «холодное дутье»;
- 2 - Перетекание рабочего тела в расширитель и компрессор - «перекладка»;
- 3 - Перетекание рабочего тела в компрессор - «горячее дутье»;
- 4 - Перетекание рабочего тела в мертвый объем из компрессора и расширителя - «перекладка».

Выбранное разделение позволяет корректно замкнуть уравнения массообмена во внутреннем контуре. Уравнения дополнены, по отношению к циклу Шмидта, расчетом скорректированной массы в объеме и расхода между объемами.

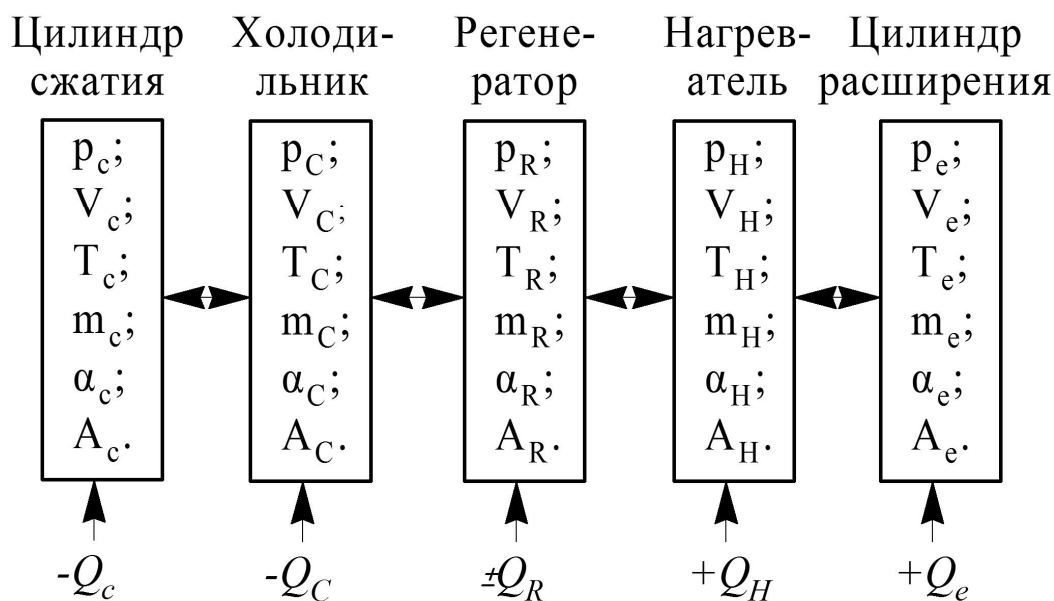


Рис. 2 - Условная схема ВК ДС с учетом разбиения его на объемы

В расчетной модели были введены дополнительные понятия, такие как:

изменение массы между объемами – количество массы РТ переместившееся из одного соседнего объема в другой за время одного расчетного шага;

скорректированная масса – количество РТ при температуре T_i находящееся в объеме к концу i шага.

Используя представленные выше разбиения, уравнение описывающие массообмен в ВК ДС было представлено в виде:

$$\begin{aligned}
& (M_{c(i)} - \Delta M_{c \leftrightarrow C(i)}) + (M_{C(i)} + \Delta M_{C \leftrightarrow R(i)} - \Delta M_{c \leftrightarrow C(i)}) + \dots \\
& \dots + (M_{R(i)} + \Delta M_{R \leftrightarrow C(i)} + \Delta M_{R \leftrightarrow H(i)}) + \dots \\
& \dots + (M_{H(i)} + \Delta M_{e \leftrightarrow H(i)} - \Delta M_{R \leftrightarrow H(i)}) + (M_{e(i)} - \Delta M_{e \leftrightarrow H(i)}) = M_{WF}
\end{aligned} \tag{1}$$

здесь: $M_{k(i)}$ - масса рабочего тела находящаяся в объеме k в начале расчетного шага i , $\Delta M_{k \leftrightarrow K(i)}$ - изменение массы рабочего тела между объемом k и K произошедшее в течении шага i , индексы c, C, R, H, e обозначают соответственно объемы: цилиндр сжатия, холодильник, регенератор, нагреватель, цилиндр расширения, индекс WF обозначает суммарную массу PT .

Представив изменение массы между объемами за один расчетный шаг в виде массового расхода между объемами за единицу времени и дополнив получившееся уравнение уравнением неразрывности были определены скорости течения газа в объемах, основываясь на которых были рассчитаны числа Рейнольдса, Нуссельта и коэффициенты теплоотдачи. Далее было рассчитано количество теплоты подведенное к рабочему телу за один шаг в каждом из объемов, работа совершенная рабочим телом за один шаг в каждом из объемов и температура рабочего тела в конце каждого шага в каждом из объемов:

$$\begin{aligned}
T_{WF(i+1)} &= \frac{c_v \cdot T_{WF} \cdot M_{WF}}{M_{mol} \cdot 10^3} + \frac{\alpha \cdot t \cdot S \cdot (T_{Wall} - T_{WF(i)}) \cdot M_{mol} \cdot 10^3}{c_v \cdot M_{WF}} - \dots \\
&\dots - p \cdot \Delta V \cdot \frac{M_{mol} \cdot 10^3}{c_v \cdot M_{WF}}
\end{aligned} \tag{2}$$

здесь: T - температура PT , c_v - объемная теплоемкость, M_{mol} - молярная масса PT , α - коэффициент теплоотдачи при теплообмене между стенкой $ВК$ и PT , t - время одного расчетного шага, S - площадь поверхности теплообмена, p - давление, ΔV - изменение объема за время расчетного шага.

При этом для учета влияния массообмена с соседними объемами в расчете используется скорректированная температура PT :

$$KT_{k(i)} = \frac{T_{k(i)} \cdot KM_{k(i-1)}}{M_{k(i)}} + \frac{T_{k_1(i)} \cdot \Delta M_{k \leftrightarrow k_1(i)}}{M_{k(i)}}, \tag{3}$$

здесь $KT_{k(i)}$ - скорректированная температура PT в объеме k к концу i шага.

В созданной модели так же учитывается, что $ВК$ $ДС$ в реальности является не разделенным на различные объемы и работа совершается или затрачивается всем PT находящимся во $ВК$ $ДС$. Следовательно, учитывается влияние на совершенную работу PT находящегося не только в цилиндрах, но и в полостях постоянного объема. Для этого

работа рассчитывалась в каждом объеме, от изменения суммарного вытесняемого объема по массовым долям РТ:

$$A_{k(i)} = p_{k(i)} \cdot \Delta V_{w(i)} \cdot \frac{M_{k(i)}}{M_{WF}}, \quad (4)$$

здесь: $A_{k(i)}$ - работа совершенна или затраченная в k полости в течении i шага, $p_{k(i)}$ - давление РТ в k полости в течении i шага, $\Delta V_{w(i)}$ - изменение суммарного вытесняемого объема на i шаге.

Получив зависимость температуры РТ в каждом объеме от угла ПКВ и используя уравнение состояния идеального газа были рассчитаны давления РТ в каждом объеме, давление в ВК ДС было принято как среднее по массовым долям давление:

$$p_{(i)} = \frac{p_{e(i)} \cdot M_{e(i)} + p_{c(i)} \cdot M_{c(i)} + p_{H(i)} \cdot M_{E(i)} + \dots}{M_{WF}} + \dots \quad (5)$$

$$\dots + \frac{p_{C(i)} \cdot M_{C(i)} + p_{R(i)} \cdot M_{R(i)}}{M_{WF}}$$

Используя полученные зависимости параметров РП от угла ПКВ, были рассчитаны основные показатели проектируемого двигателя, такие как КПД, мощность, работа за цикл, количество подведенной и отведенной теплоты.

Так же в главе представлено описание методики расчета реализованной в виде программного продукта на языке MATLAB и C++, и проведена проверка адекватности и достоверности созданной модели по средствам сравнения результатов расчета с экспериментальными данными, полученными на ДС модификации альфа. По результатам проведенного сравнения видно, что расчетная модель обладает достаточной точностью, предельное отклонение расчетных данных от экспериментальных составило $\approx 10\%$. Видимо, значительная часть этого отклонения связана с механическими потерями которые не учитываются в модели, это подтверждается увеличением отклонения по зависимости близкой к линейной с увеличением частоты вращения коленчатого вала.

Пример сравнения скоростных характеристик ДС модификации альфа с результатами расчета представлен на рис.3.

В третьей главе – «Экспериментальное исследование процессов теплообмена во внутреннем контуре двигателя Стирлинга» описаны проведенные эксперименты и представлены рекомендации по дальнейшему улучшению и развитию созданной модели, основанные на полученных данных.

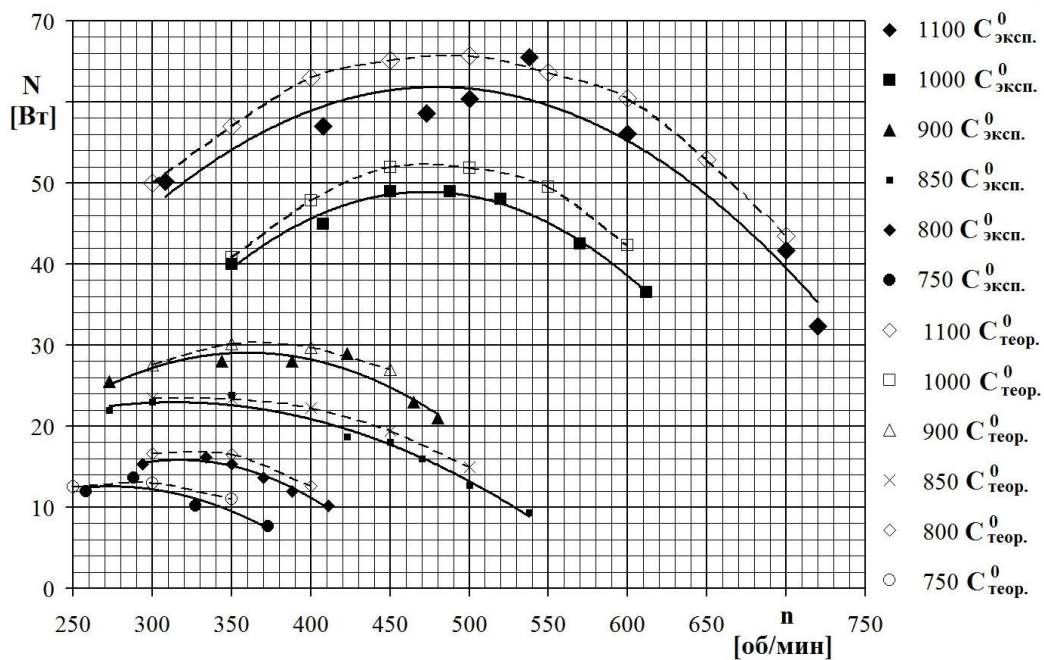


Рис. 3 – Проверка адекватности и достоверности расчетной модели

Основной целью проведенных физических экспериментов являлось улучшение и уточнение расчетной модели. В связи с этим в ходе проведения серии экспериментов решались следующие основные задачи:

- Исследование процессов теплообмена и определение гидравлических потерь в трубчатых теплообменных аппаратах при пульсации давления в потоке, качественная и количественная оценка влияния пульсации давления на процесс теплообмена.
- Определение гидравлических потерь в набивных и сетчатых регенеративных теплообменных аппаратах, в том числе при пульсации давления в потоке.
- Определение гидравлических потерь во ВК ДС и оценка их влияния на параметры ДС.

Для достижения цели и решения поставленных задач была создана экспериментальная установка, общий вид которой представлен на рис. 5.

Установка состоит из следующих основных элементов – рампа с баллонами заполненными воздухом под давлением от 13 до 15 МПа, подключенный к рампе редуктор понижающий давление до 0,1-1 МПа, подключенный к редуктору экспериментальный блок. Состоящий в случае решения второй задачи (рис. 4) - электромеханического пневмораспределителя (3), управляющего контроллера (4), трех измерительных блоков (5), подключенных к ним датчика давления (6), манометра (7), датчика температуры (8), размещенного между ними теплообменного аппарата (9) с

источником теплоты (10), регенеративного теплообменного аппарата (11), расходомера (12) и двух расходных шайб (13,14). Для решения первой задачи регенеративный теплообменный аппарат (11) исключался из состава установки.

На установке было проведено 3 эксперимента:

- продувка трубчатого теплообменного аппарата пульсирующим потоком с выключенным источником теплоты для определения гидравлических потерь,
- продувка трубчатого теплообменного аппарата пульсирующим потоком с включенным источником теплоты для определения коэффициентов теплообмена,
- продувка набивного регенеративного теплообменного аппарата пульсирующим потоком с выключенным источником теплоты для определения гидравлических потерь.

Для решения третьей задачи используется стенд (рис.4) состоящий из двигателя Стирлинга (1), датчиков давления (3, 6) размещенных в цилиндрах расширения(2) и сжатия(5), устройства заправки двигателя рабочим телом (7), системы подвода теплоты состоящей из газовой горелки (9) и кожуха (4), системы охлаждения и источника механической энергии.

Для снятия сигналов с датчиков давления используется АЦП и ПЭВМ со специализированным программным обеспечением.

Ниже приведены некоторые наиболее интересные результаты экспериментов, а именно: Коэффициент пульсации, показывающий падение коэффициентов теплообмена при пульсации давления на входе в теплообменный аппарат на рис.6, гидравлические потери в трубчатом рис.7 и набивном рис.8 теплообменных аппаратах.

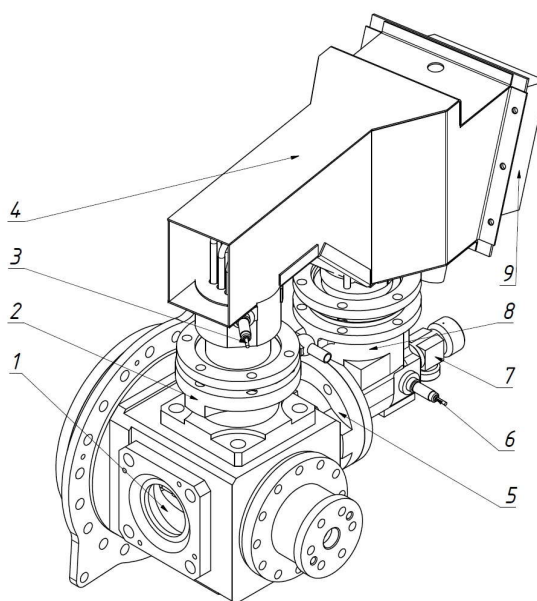


Рис.4 - Принципиальная схема установки для определения гидравлических потерь во ВК

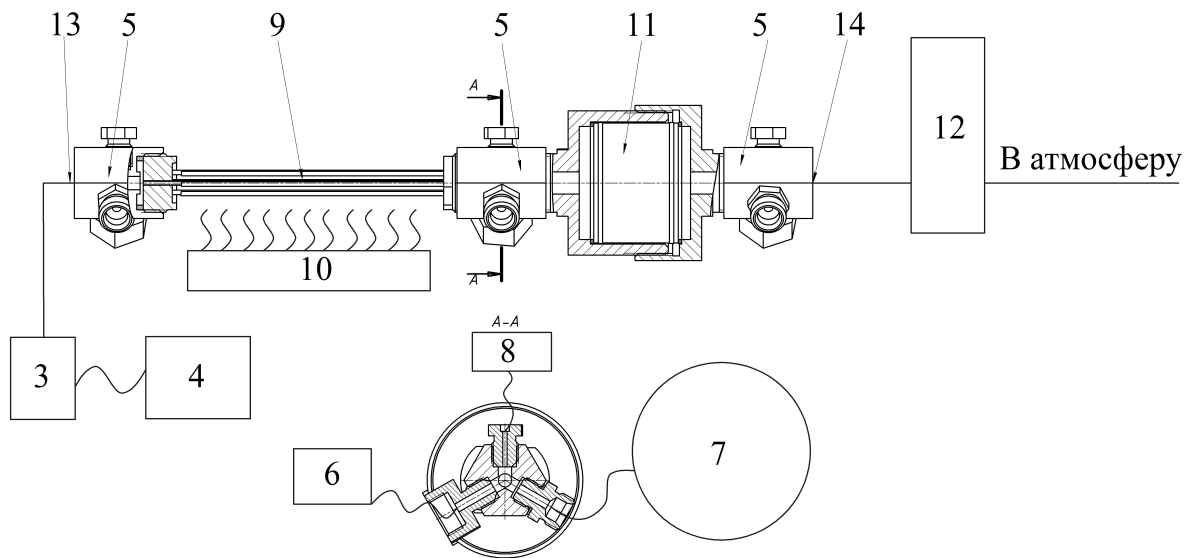


Рис. 5 - Схема экспериментальной установки для решения второй задачи

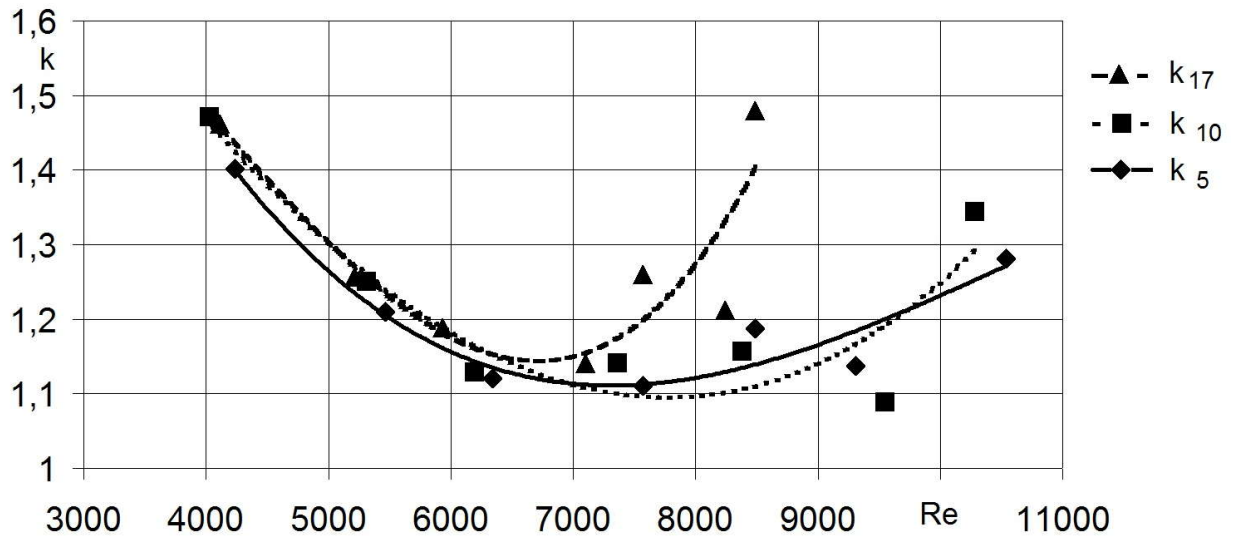


Рис. 6 – Коэффициент пульсации

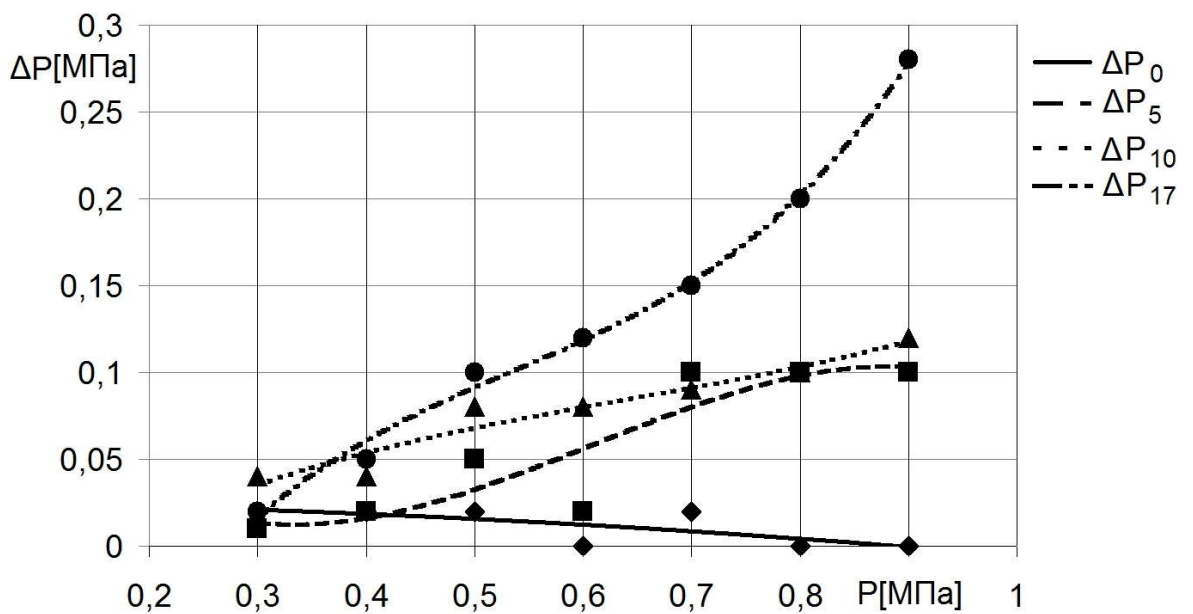


Рис. 7 – Падение давления в трубчатом теплообменном аппарате

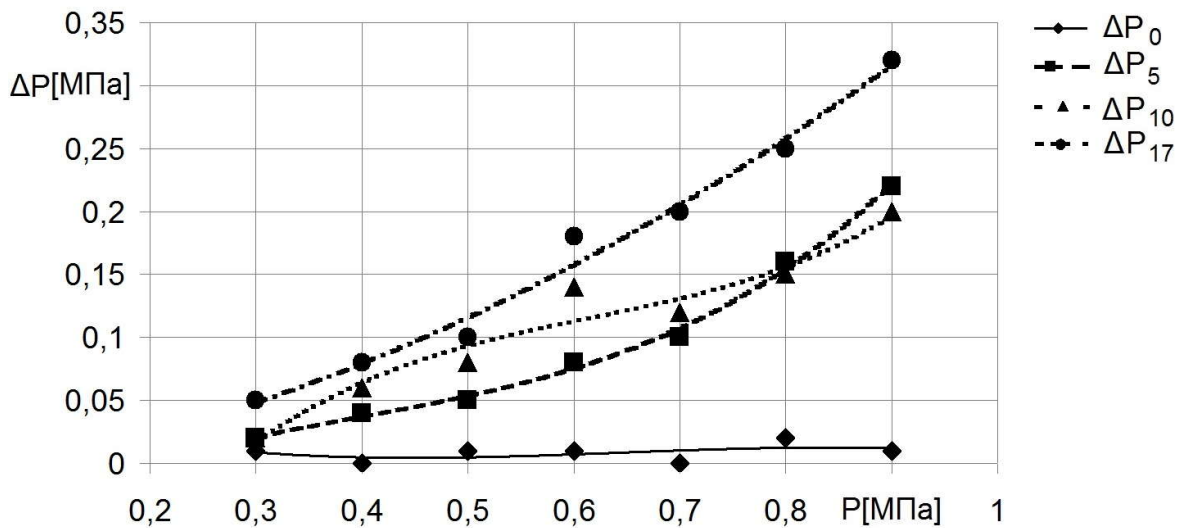


Рис. 8 – Падение давления в набивном теплообменном аппарате

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выявлено что, не смотря на возрастающий интерес к двигателям Стирлинга, отсутствуют доступные современные и достаточно точные расчетные модели и методики. Выявлен имеющийся в настоящее время значительный интерес научных и производственных компаний к современным методикам и моделям для проектирования двигателей Стирлинга.

2. Создана расчетная модель внутреннего контура двигателя Стирлинга, позволяющая получить все основные параметры двигателя и их зависимости от угла поворота коленчатого вала. Модель учитывает процессы теплообмена рабочего тела со стенками контура и влияние соседних объемов двигателя друг на друга. В ходе создания расчетной модели был дополнен расчетный цикл Шмидта. В дополненном цикле используется пять характерных объемов вместо трех.

3. Эксперимент по изучению влияния пульсаций давления на процессы теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах показал, что пульсация давления на входе снижает коэффициенты теплообмена до 1,5 раз при числах Рейнольдса порядка 4000 и частоте пульсаций 17 Гц. Эксперимент по изучению влияния пульсаций давления на процессы массообмена в трубчатых и набивных теплообменных аппаратах показал, что пульсация давления на входе увеличивает гидравлические потери до 10 раз при давлении 0,9 МПа и частоте пульсации 17 Гц. Эксперимент по изучению гидравлических потерь во внутреннем контуре двигателя Стирлинга показал зависимости мощности затрачиваемой на преодоление гидравлических потерь от давления во внутреннем контуре и от частоты вращения коленчатого вала. Мощность, которую необходимо

затратить на преодоление гидравлических потерь достигает 250 Вт при давлении в контуре 1 МПа и частоте вращения коленчатого вала 1400 об/мин.

4. По результатам проведенных экспериментов были выработаны рекомендации по улучшению и дополнению созданной расчетной модели и определено направление дальнейших работ по совершенствованию модели. Приоритетной признана задача учета влияния пульсаций на процессы теплообмена в двигателях Стирлинга, для решения которой необходимо провести серию экспериментов по более подробному и точному изучению зависимости коэффициента теплообмена от пульсации давления рабочего тела на входе в теплообменные аппараты.

ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

***Работы, опубликованные в перечне периодических научных изданий,
рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:***

1. Ноздрин Г.А. Учет влияния дополнительных объемов при расчете двигателей с внешним подводом теплоты по циклу Шмидта / Г.А. Ноздрин, М.И. Куколев, А. Ю. Абакшин // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2012. — №2-2(1477). — С. 59 - 62

2. Абакшин А. Ю. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена в цилиндрах двигателя с внешним подводом теплоты / А. Ю. Абакшин, Г.А. Ноздрин, М.И. Куколев // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2012. — №2-2(1477). — с.164-167.

3. Кукис В.С. Перспективы улучшения характеристик двигателя Стирлинга / В.С. Кукис, М.И. Куколев, А.И. Костин, В.С. Дворцов, Г.А. Ноздрин, А.Ю. Абакшин // Двигателестроение. — 2012. — № 3. — с. 3 - 6.

Статьи:

4. Ноздрин Г.А. Двигатель Стирлинга для привода микроэнергоагрегата мощностью до 5 Вт/ Г.А. Ноздрин // Материалы III Всероссийской молодежной научной конференции «Мавлютовские чтения» — Том 1. — Уфа: Изд-во УГАТУ, 2010. — с.86 - 87.

5. Ноздрин Г.А. Усовершенствование расчетной модели двигателя с внешним подводом теплоты / Г.А. Ноздрин С.Н. Вильдяева, А. Ю. Абакшин // Материалы XXX отраслевой науч.-тех. конф. молодых специалистов «Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. МПО—МС—2011»; — СПб. : ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидро-прибор», 2012 — с.112 - 113.

6. Абакшин А. Ю. Моделирование элементов ДВПТ в среде Fluent / А. Ю. Абакшин, Г.А. Ноздрин, С.Н. Вильдяева // Материалы XXX отраслевой науч.-тех. конф. молодых специалистов «Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. МПО-МС-2011»; – СПб. : ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», 2012. — с.43-50.

7. Ноздрин Г.А. Разработка расчетной модели ДВПТ / Г.А. Ноздрин, А. Ю. Абакшин, С.Н. Вильдяева // Материалы IX молодежной науч.-тех. конф. «Взгляд в будущее – 2011»; — СПб. : ОАО «ЦКБ МТ «Рубин». СПб, 2011. — с. 377 - 382.

8. Абакшин А. Ю. Численное моделирование элементов систем ДВПТ/ А. Ю. Абакшин, Г.А. Ноздрин С.Н. Вильдяева // Материалы IX молодежной науч.-тех. конф. «Взгляд в будущее — 2011». — СПб: ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2011. — с.377 - 382.

9. Абакшин А. Ю. Разработка стенда для испытаний двигателя с внешним подводом теплоты / А. Ю. Абакшин, Г.А. Ноздрин, В.С. Дворцов // Материалы XXXI отраслевой науч.-тех. конф. молодых специалистов «Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. МПО-МС-2012»; — СПб. : ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», 2013. — с.59 - 62.

10. Ноздрин Г.А. Совершенствование термодинамической модели ДВПТ путем учета гидравлических потерь / Г.А. Ноздрин, А. Ю. Абакшин, В.С. Дворцов // «Актуальные проблемы морской энергетики» Материалы всероссийской межотраслевой научно технической конференции; — СПб. : Изд-во СПбГМТУ, 2012, — с.100 - 101.

11. Абакшин А.Ю. Некоторые способы решения проблем уплотнения поршневого зазора двигателя с внешним подводом теплоты / А.Ю. Абакшин, Г.А. Ноздрин, В.С. Дворцов, С.Ю. Лазарев, М.И. Куколев // Неделя науки СПбГПУ. Лучшие доклады: материалы научно-практической конференции с международным участием. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — с.12.

Тезисы докладов:

12. Ноздрин Г.А. Разработка расчетной модели ДВПТ // Материалы XV Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах» — Том 2. — СПб: Изд-во СПбГПУ, 2011. — с.49 - 50.

13. Ноздрин Г.А. Реализация расчетной модели ДВПТ в среде BORLAND C++ BUILDER // XL неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно практической конференции. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — Ч.III. — с.19 - 20.