

Дизельный стационарный двигатель прогулочного катера с обоснованием параметров кривошипно-шатунного механизма

Митюшкин А.Д.

Научная работа посвящена проектированию рядного пятицилиндрового дизельного двигателя, мощностью 150 кВт, с аккумуляторной системой топливоподачи, предназначенного для прогулочного катера.

Проведены тепловой, динамический и прочностные расчеты двигателя. Выполнено эскизное конструирование, представленное основными разрезами и видом двигателя. Специальная часть работы заключается в разработке рекомендации по обоснованию параметров расчетной схемы КШМ с учетом их влияния на кинематические и динамические параметры работы двигателя. Кроме этого рассмотрены системы топливопитания, смазки и охлаждения с разработкой их схем и отдельных агрегатов.

В конструкции большинства транспортных средств, в том числе водных, установлена силовая установка - двигатель, который преобразует различные виды энергии в механическую работу. Среди всего ассортимента, наибольшей популярностью пользуются поршневые двигатели внутреннего сгорания. Улучшение старых моделей и разработка новых опытных образцов двигателей внутреннего сгорания были достигнуты серьезными научно-исследовательскими работами в области теории рабочего процесса двигателей.

Основной целью ученых, конструкторов и инженеров является создание более совершенных и экономичных поршневых двигателей. Но, к сожалению, не всегда полученные результаты трудоемкой работы могут быть реализованы в жизнь как можно скорее. Это объясняется тем, что процесс внедрения предложения требует долгого предварительного изучения различного рода технических проблем, а в некоторых случаях - разработки специальных методов, механизмов и средств для решения этих проблем, но самой большой проблемой может стать финансирование проекта. Реализовать это можно только тогда, когда конструктор обладает соответствующим теоретическим инструментарием анализа процессов, которые непрерывно протекают в двигателях.

На сегодняшний день различные типы и схемы двигателей используются в различных отраслях Российской экономики как источник механической энергии. Наибольшую популярность и распространение получили поршневые двигатели внутреннего сгорания. Всё это благодаря их хорошей экономичности, высокой энергоёмкости и развитой производственной базе.

Развитие технологий машиностроения в нашей стране происходит в медленном темпе, и чтобы не отставать от более конкурентно способных стран, необходимо уделять большое внимание науке, новым разработкам и производству. Немаловажно оказывать поддержку отечественному производителю и способствовать повышению качества производимой продукции. Все возможные и известные научные и технические достижения отечественного двигателестроения в значительной степени облегчили жизнь граждан страны, но для достижения лучших результатов необходимо тесно сотрудничать с развитыми партнерами, во всех сферах.

Структура выпускной квалификационной работы включает: введение, семь глав и двадцать восемь параграфов в них, заключение, список использованных источников, а также приложения, необходимо дополняющее основную суть расчетов.

Спроектирован четырёхтактный, рядный пятицилиндровый дизельный двигатель, предназначенный для использования на прогулочном катере. Общая характеристика двигателя представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1

| | | |
|---|-----------|-----------|
| Тип двигателя | - | Дизельный |
| Число тактов | - | Четыре |
| Число цилиндров | - | Пять |
| Число клапанов на цилиндр | - | Четыре |
| Расположение цилиндров | - | Рядное |
| Порядок работы цилиндров | - | 1-2-4-3-5 |
| Диаметр цилиндра | мм | 105 |
| Ход поршня | мм | 115 |
| Рабочий объем двигателя | л | 4,9 |
| Степень сжатия | - | 17,5 |
| Ne при $n_N=3400$ об/мин | кВт | 156,1 |
| Me при $n_M=2300$ об/мин | Н·м | 569,2 |
| $g_{e\ min}$ при $n=2300$ об/мин | г/(кВт·ч) | 194,946 |
| G_T при $n_N=3400$ об/мин $n_M=2300$ об/мин | кг/ч | 32,962 |
| | | 26,724 |
| N_L | кВт/л | 31,348 |
| K_M | - | 1,298 |
| K_n | | 0,676 |

Блок цилиндров является основной корпусной деталью двигателя и представляет собой отливку из серого чугуна. Блок цилиндров имеет гильзы цилиндров.

Блок цилиндров является основой двигателя, на которую крепятся остальные детали. К верхней части блока крепится головка блока цилиндров, а к нижней части крепится картер. В блоке цилиндров имеются опорные поверхности для установки коленчатого вала

В нижней части блока цилиндров расположены шесть опор коренных подшипников со съемными крышками. Отверстия под подшипники обрабатываются в сборе с крышками, поэтому крышки не взаимозаменяемы и для отличия маркированы рисками на наружной поверхности.

Блок цилиндров является основой системы смазки – по отверстиям блока масло попадает, под давлением, к местам смазки. Также блок является основой системы охлаждения – по аналогичным отверстиям жидкость циркулирует по блоку цилиндров.

Вкладыши коренных и шатунных подшипников – тонкостенные сталеалюминевые. Верхние коренные вкладыши (устанавливаемые в блоке цилиндров) – с канавкой на внутренней поверхности. Нижние коренные вкладыши – без канавки, так же как и шатунные вкладыши.

Коленчатый вал воспринимает нагрузки от сил давления газов и сил инерции движущихся масс, возникающие при работе двигателя. Коленчатый вал – кованный, полноопорный из высокопрочной стали 30ХН и упрочнен азотированием. Твердость шеек и их усталостную прочность повышена дробеструйной обработкой. На заднем конце коленчатого вала на сегментной шпонке установлено зубчатое колесо привода распределительных валов и закреплен маховик, который фиксируется шестью болтами. Для уплотнения носка и хвостовика вала используются защитные сальники. От осевых перемещений коленчатый вал зафиксирован полукольцами на третьей (средней) коренной шейке. Масляные каналы в коленчатом вале служат для подвода масла под давлением к каждой коренной шейке. После этого происходит подача масла к шатунным шейкам. Каждая крышка подшипника коленчатого вала закреплена двумя болтами.

Шатуны предназначены для того, чтобы передавать во время работы усилие от вала на поршень и в обратном направлении. Во время рабочего процесса шатун совершает сложные движения.

Основными элементами шатуна являются головка с запрессованной втулкой, в которой перемещается палец; стержень, соединяющий верхнюю головку с нижней головкой. С помощью нижней головки и ее крышки шатун соединен с шатунной шейкой коленчатого вала.

Верхняя головка вместе с поршнем делает возвратно-поступательные движения, а нижняя головка – вращательные. При этих движениях на шатун действуют высокие нагрузки, так что его конструкция должна их выдерживать. Шатуны выполнены из стали 40ХН, двутаврового сечения, обрабатываются вместе с крышками.

Подшипниками скольжения служат бронзовая втулка верхней головки шатуна и съемные вкладыши, устанавливаемые в нижнюю головку шатуна. Шатуны подразделяются на классы по массе, которые маркируются краской или буквой на крышке шатуна. Все шатуны двигателя должны быть одного класса по массе. Крышка шатуна закреплена двумя шатунными болтами с гайками. Для шатунных болтов использована та же сталь, что и для шатунов.

Поршень эксплуатируется в экстремальных условиях, характерными чертами которых являются высокие: давление, инерционные нагрузки и температуры. Именно поэтому для производства используется чугун. В верхней части поршня проточены три канавки под поршневые кольца. Для увеличения износостойкости зоны канавки под верхнее компрессионное кольцо в отливку устанавливается упрочняющая вставка из специального высоколегированного, аустенитного чугуна (нирезиста). Канавки маслосъемного кольца имеют сверления.

Поршень имеет тороидальную камеру сгорания, топливо впрыскивается по радиусу камеры на ее стенку несколькими симметричными струями, расположенными под большим углом к вертикальной оси.

Для улучшения баланса кривошипно-шатунного механизма поршни одного двигателя подбираются по массе.

Поршневой палец выполнен из высококачественной хромированной стали 15Х, трубчатого сечения, плавающего типа (свободно вращается в бобышках поршня), от выпадения зафиксирован двумя стопорными пружинными кольцами, расположенными в проточках бобышек поршня. Наружная поверхность поршневого пальца закаливается токами высокой частоты. Для его смазки в поршневой головке шатуна выполнено отверстие.

Поршневые кольца изготовлены из серого чугуна СЧ 21-40, имеющего перлитовую структуру с небольшим количеством равномерно распределенных мелких вкраплений графита. Верхние два кольца компрессионные. Они препятствуют прорыву газов в картер двигателя и способствуют отводу тепла от поршня к цилиндру. Рабочая поверхность верхнего компрессионного кольца имеет хром-алмазное покрытие, которое способствует повышению износостойкости колец. Форма верхнего компрессионного – равносторонняя трапеция с углом 15°. Так как компрессионные кольца воспринимают большие температурные нагрузки, то в качестве легирующих присадок для чугуна применены в небольших количествах хром, никель, молибден, медь, вольфрам. Эти присадки повышают теплостойкость серого чугуна до 350—400° С. Нижнее кольцо – маслосъемное. Форма – прямоугольное, коробчатого типа. Рабочая поверхность маслосъемного кольца износостойкое хром-алмазное покрытие.

Головка блока цилиндров из алюминиевого сплава, общая для пяти цилиндров. Она центрируется на блоке двумя втулками и крепится на блоке двенадцатью винтами. Между блоком и головкой устанавливается (на сухие поверхности) безударная армированная прокладка. Повторное ее использование не допускается.

Распределительный вал изготовлены из легированной стали 15Х. Приводятся во вращение шестерней от коленчатого вала. Для правильной установки распределительного вала относительно коленчатого вала, на приводных шестернях имеются метки (риски).

Кулачки (безударного типа) распределительного вала в соответствии с фазами газораспределения приводят в действие толкатели, которые через штанги приводят в движение коромысла, а последние, преодолевая сопротивление пружин, открывают клапаны. Закрытие клапанов происходит под действием силы сжатых пружин.

Клапаны – стальные (40Х9С2). В двигателе расположены 10 впускных и 10 выпускных клапанов. Выпускной клапан с головкой из жаропрочной стали. Клапаны расположены в два ряда, параллельно к плоскости, проходящей через оси цилиндров. Площадь тарелки впускного клапана больше, чем выпускного. Седла, запрессованные в головку, работают в условиях, во многом сходных с работой головок клапанов. В связи с этим седла изготовлены из жаропрочной стали. Коромысло толкает перемычку, которая приводит в движение два впускных или выпускных клапана.

Пружины клапанов цилиндрические, с равномерным шагом витков и разным направлением навивки, изготовлены из пружинной стали 50ХФА. На каждом клапане установлено две пружины. Нижними торцами пружины опираются на головку через стальную шайбу, верхними - в тарелку. Тарелка упирается во втулку, соединенную со стержнем клапана двумя конусными сухарями

Смазка двигателя - комбинированная. Система смазки включает масляный насос, охладитель масла, фильтр очистки масла, масляный картер двигателя, масляные каналы в блоке и головке цилиндров, передней крышке и картере маховика, клапаны для обеспечения нормальной работы системы, контрольные приборы и масляные трубопроводы. Под давлением смазываются коренные и шатунные подшипники, днища поршней, пары «опора – шейка распределительного вала» и опоры коромысел.

Разбрызгиванием масло подается на стенки цилиндров (далее к поршневым кольцам и пальцам). Остальные узлы смазываются самотеком.

Для охлаждения поршней используются форсунки, установленные в нижней части цилиндров.

Масляный насос – двухсекционный, шестерёнчатый. Смонтирован в картере блока цилиндров с приводом коленчатого вала.

Масляные фильтры – частичнопоточный и полнопоточный, с перепускным и противодренажным клапанами.

Система топливопитания – аккумуляторного типа, включает в себя сливную пробку, предварительный фильтр, успокаивающие перегородки, топливный бак (крышка горловины бака с паровоздушным клапаном), фильтр грубой очистки с влагоотделителем, фильтр тонкой очистки, топливный насос низкого давления, редукционный клапан, топливный насос высокого давления, клапан регулирования давления, клапан ограничения давления, аккумулятор топлива, датчик давления топлива в аккумуляторе, ограничитель расхода топлива, электрогидравлическую форсунку, датчик уровня топлива, указатель уровня топлива.

Электронная система управления двигателем (ЭСУД) предназначена для управления параметрами впрыска топлива двигателя в зависимости от задаваемой нагрузки, режимов работы двигателя, его температурного состояния, регулировочных характеристик и параметров окружающей среды

Система охлаждения – жидкостная, закрытая, с принудительной циркуляцией жидкости. Система закрытого типа, для того чтобы повысить точку кипения ОЖ.

Система охлаждения состоит из насоса охлаждающей жидкости, датчика температуры охлаждающей жидкости, рубашки охлаждения головки блока, рубашки охлаждения полублоков, масляного термостата, масляного теплообменника, теплообменника, насоса забортной воды, фильтра забортной воды, водозаборника забортной воды с фильтром, выпускного коллектора, крышки с паровоздушными клапанами, расширительного бачка водяной рубашки.

Глава 2. Тепловой расчет двигателя

2.1. Подбор аналогов двигателя и формирование исходных данных расчета

Тепловой расчет двигателя проводится с целью определения основных параметров рабочего цикла. Также рассчитываются показатели и размеры цилиндропоршневой группы проектируемого двигателя. Для расчета используются данные выданного задания, сведения об аналогичных двигателях, а также дополнительные данные, которые задаются в процессе расчета. Ввиду большого объема вычислений расчет проводится с использованием вычислительной программы Excel. Тепловой расчет ведется по внешней скоростной характеристике.

Подбор аналогов проектируемого двигателя осуществляется с целью выяснения основных параметров, компоновки двигателя и геометрических размеров цилиндропоршневой группы будущего двигателя. Это позволяет при проведении расчетов грамотно задавать необходимые величины, использовать дополнительные сведения о современных двигателях.

Подбор аналогов осуществляется по мощности двигателя, частоте вращения коленчатого вала. Приведены данные 4 аналогов (табл. 2.1).

| Показатели | Единицы измерения | Caterpillar 3056 | Mercury Diesel 4.2 | Volvo-Penta AD41P | Yamaha SX 420 | Проект |
|---------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------|
| Тип двигателя | - | Дизельный | Дизельный | Дизельный | Дизельный | Дизельный |
| Компоновка | - | R6 | R6 | R6 | R6 | R5 |

| | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------|----------------------------------|---------------------|----------|------------|
| $N_{e,max/nN}$ | кВт/мин ⁻¹ | 138/2100 | 199/3800 | 147/3800 | 165/2690 | 156,1/3400 |
| $M_{e,max/nM}$ | Нм/мин ⁻¹ | 692/1200 | 603/2600 | 439/2200 | 695/1530 | 569,2/2300 |
| Рабочий объем V_L | дм ³ | 6 | 4,2 | 3,6 | 4,2 | 4,98 |
| Степень сжатия ϵ | - | 17,25 | 17,5 | 17,5 | 18 | 17,5 |
| Диаметр поршня D | мм | 100 | 94 | 92 | 105 | 105 |
| Ход поршня S | мм | 127 | 100 | 90 | 130 | 115 |
| S/D | мм/мм | 1,27 | 1,06383 | 0,97826 | 1,2381 | 1,1 |
| Число клапанов на цилиндр | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| Тип наддува и наличие ОНВ | - | Турбонаддув, ОНВ | | | | |
| Степень повышения давления компрессора λ_k | - | - | - | - | - | 1,92 |
| Тип системы питания | - | Common rail | | | | |
| Тип системы охлаждения | - | Жидкостное | | | | |
| Выполняемые нормы ЕВРО | - | Stage 2 | EPA Tier 2 IMO RCD BSO/SAV | Stage 2 / Tier 2 | Stage 2 | Stage 2 |
| Средняя скорость поршня | м/с | 8,89 | 12,7 | 11,4 | 11,66 | 13,03 |
| Коэффициенты приспособляемости и k_M | - | 1.103 | 1.206 | 1,19 | 1,18 | 1,298 |
| Скоростной коэффициент k_n | - | 0,62 | 0,68 | 0,58 | 0,57 | 0,676 |
| Литровая мощность N_L | кВт/л | 23 | 47.4 | 40.83 | 39.3 | 31,35 |

Таблица 2.1.

Анализируя собранный материал можно сделать вывод о достоинствах исходных данных аналогов.

Тип двигателя. В соответствии с заданием выбирается дизельный двигатель.

Компоновка. В соответствии с заданием выбирается рядный пятицилиндровый двигатель.

Максимальная мощность выбрана в предыдущем разделе на основе аналогов. Максимальная мощность двигателя $N_{e,max} = 150$ кВт при частоте вращения 3400 об/мин.

Степень сжатия. Для надувных дизелей при наличии аккумуляторной системы топливопитания Common Rail - $\epsilon = 16 \div 19$. Средняя степень сжатия среди аналогов, а также среди других дизельных двигателей этих фирм, приближенно равна 17,5, это значение выбрано.

Отношение хода поршня к его диаметру. Дизельные двигатели с целью увеличения крутящего момента имеют увеличенные значения $S/D = 0,9 \div 1,2$. Среди аналогов преобладают двигатели с длинным ходом поршня. Как правило, двигатели с длинным ходом поршня, по сравнению с двигателями с коротким ходом, имеют больший крутящий момент и лучшую силу тяги, но меньшую частоту вращения и максимальную мощность. В свою очередь короткоходный двигатель может работать при более высоких скоростях, чем длинноходный того же объема, и,

следовательно, за определенный промежуток времени происходит большее количество рабочих ходов (повышается мощность). Недостаток заключается в том, что меньший ход означает уменьшение плеча рычага коленчатого вала, а это, в свою очередь, приводит к менее пологой характеристике крутящего момента. Было выбрано отношение равное 1,1.

Число клапанов на один цилиндр. На всех двигателях-аналогах по 2 клапана на цилиндр, это связано с тем, что такая конструкция намного проще и дешевле. Так же у дизельного двигателя, при малой частоте вращения, наполнение цилиндра осуществляется лучше, за счет малой скорости движения клапанов. Но есть и минус: по сравнению с конструкцией с 4 клапанами на цилиндр, меньше площадь седла клапана, так как клапанов всего два, ещё одним недостатком является сложность установки форсунки. Не смотря на сложность конструкции выбирается 4 клапана на цилиндр, для лучшего смешивания топлива и улучшения показателей.

Турбонаддув является самым распространенным типом наддува и наиболее эффективной системой повышения мощности двигателя. Помимо повышения мощности турбонаддув обеспечивает экономию топлива и снижение токсичности отработавших газов. Наиболее эффективен турбонаддув на дизелях вследствие высокой степени сжатия двигателя и относительно невысокой частоты вращения коленчатого вала. ОНВ предназначен для охлаждения сжатого воздуха. За счет охлаждения сжатого воздуха повышается его плотность и увеличивается давление. В соответствии с заданием должны быть в наличии турбонаддув и ОНВ.

Тип системы топливопитания. Улучшению рабочего процесса дизеля способствует увеличение давления впрыскивания. Такое давление способна создать аккумуляторная система топливопитания Common Rail. В соответствии с заданием устанавливается система топливопитания Common Rail.

Тип системы охлаждения. Современные судовые ДВС, в том числе аналоги, имеют, как правило, замкнутую (двухконтурную) систему охлаждения. Она позволяет избежать засорение стенок каналов подачи воды и создание на них соляных пленок, разрушение зарубашечных полостей судового дизеля, переохлаждение двигателя в случае понижения температуры забортной воды, возникновение паров, которые оказывают деструктивное воздействие на всю двигательную систему. Выбрана жидкостная, двухконтурная система охлаждения.

Нормы токсичности отработавших газов. Данные аналоги соответствуют стандартам Stage 2, Tier 2, что близко к ЕВРО 2. Эти нормы не являются лучшими, но с учетом количества катеров, приходящихся на км² акватории, данная проблема незначительна. Приняты нормы ЕВРО 2.

Заключение При выполнении выпускной квалификационной работы проведены следующие расчеты: -Тепловой расчет двигателя, по итогам которого были определены эффективные показатели, такие как: эффективная мощность, которая составила 156,1 кВт при номинальной частоте вращения 3400 об/мин, величина максимального эффективного крутящего момента 569 Н·м при 2300 об/мин. -Динамический расчет, в ходе которого определены максимальные и минимальные силы, действующие на коренные опоры и шатунные шейки коленчатого вала. В ходе расчетов получены графики сил, перенесенных на шатунную и коренные шейки, полярная диаграмма сил, действующих на шатунную и коренные шейки, диаграммы износа шатунной шейки и коренных шеек. -Проведено уравнивание, в ходе которого рассчитаны и установлены противовесы. -Проведен расчет маховика, его основных размеров и массы. -Расчет на прочность шатунной и поршневой групп, поршневого пальца, гильзы цилиндра, блока цилиндров, коленчатого и распределительного вала, в ходе которых получены конструктивные размеры кривошипно-шатунного механизма. -Результаты расчетов позволили определить основные геометрические размеры и разработать конструкцию двигателя, которая в графической части представлена основными разрезами и видами двигателя. -Также рассмотрены системы двигателя,

для которых выполнены следующие работы: -Разработана и описана система смазки. Рассчитан масляный насос, масляный фильтр. -Разработана и описана система охлаждения; выполнены расчеты центробежного жидкостного насоса и охладителя охлаждающей жидкости. -Разработана и описана система топливопитания и выполнен расчет основных элементов, среди которых: роликовый топливный насос и электрогидравлическая форсунка. -Определена максимальная скорость возможного катера, равная 47 км/ч.