**Содержание**

1. Тепловой расчет двигателя

1.1 Выбор топлива, определение его теплоты сгорания

1.2 Определение параметров рабочего тела

1.3 Определение параметров окружающей среды и остаточных газов

1.4 Расчет параметров процесса впуска

1.5 Расчет параметров процесса сжатия

1.6 Расчет параметров процесса сгорания

1.7 Расчет параметров процесса расширения и выпуска

1.8 Определение индикаторных показателей двигателя

1.9 Определение эффективных показателей двигателя

1.10 Определение основных размеров цилиндра и параметров двигателя

1.11 Построение индикаторной диаграммы

2. Расчет и построение внешней скоростной характеристики двигателя

3. Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма

3.1 Расчет сил давления газов

3.2 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

3.3 Расчет сил инерции

3.4 Расчет суммарных сил, действующих в КШМ

3.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала

3.6 Построение графиков сил, действующих в КШМ

3.7 Построение диаграммы износа шатунной шейки

3.8 Построение графика суммарного крутящего момента двигателя

**1. Тепловой расчет двигателя**

**1.1 Выбор топлива, определение его теплоты сгорания**

Для бензинового двигателя в соответствии с заданной степенью сжатия определяем октановое число топлива, согласно которому производим выбор марки бензина.

Задана степень сжатия: .

Получили октановое число в пределах: ..

Выбираем следующую марку бензина: «Регулятор-92»(АИ-92).

Низшая теплота сгорания жидкого топлива:

 (1)

где С, Н, О – массовые доли углерода, водорода и кислорода в 1 кг топлива.

**1.2 Определение параметров рабочего тела**

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания одного килограмма жидкого топлива:

 (2)

где , - теоретически необходимое количество воздуха для сгорания одного килограмма жидкого топлива в и соответственно.

Количество свежего заряда:

 (3)

где - коэффициент избытка воздуха;

 - средняя молярная масса бензина.

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания жидкого топлива :

углекислого газа:

; (4)

водяного пара:

; (5)

кислорода:

; (6)

азота:

 (7)

Общее количество продуктов сгорания жидкого топлива:

 (8)

**1.3 Определение параметров окружающей среды и остаточных газов**

При работе двигателя без наддува давление и температура окружающей среды:

.

Давление остаточных газов:

.

Температура остаточных газов:

.

**1.4 Расчет параметров процесса впуска**

Основными параметрами, характеризующими процесс впуска, являются: давление и температура заряда в конце впуска - начале сжатия, коэффициент остаточных газов , коэффициент наполнения .

Давление газов в цилиндре , МПа:

, (9)

где - потери давления за счет сопротивления впускной системы и затухания скорости движения заряда в цилиндре, МПа.

Величина с учетом некоторых допущений определяется из уравнения Бернулли:

, (10)

где - коэффициент затухания скорости движения заряда в рассматриваемом сечении цилиндра;

- коэффициент сопротивления впускной системы, отнесенный к наиболее узкому ее сечению;

- средняя скорость движения заряда в наименьшем сечении впускной системы (как правило, в клапане или продувочных окнах), ;

 - плотность заряда на впуске, .

По опытным данным в современных автомобильных двигателях на номинальном режиме:

;

.

Принимаем:

;

.

Плотность заряда на впуске:

, (11)

где - удельная газовая постоянная воздуха.

Определим :

. (12)

Тогда :

. (13)

Коэффициент остаточных газов :

, (14)

где - температура подогрева свежего заряда при его контакте со стенками впускного трубопровода и цилиндра;

 - степень сжатия.

Температура подогрева свежего заряда принимаем в зависимости от типа двигателя:

для бензиновых двигателей:

.

Тогда :

. (15)

Температура заряда в конце процесса впуска:

. (16)

Коэффициент наполнения без учета продувки и дозарядки четырехтактного двигателя:

 (17)

**1.5 Расчет параметров процесса сжатия**

Рассматриваемый процесс характеризуется давлением и температурой рабочего тела в конце сжатия, показателем политропы сжатия .

По опытным данным при жидкостном охлаждении величина показателя политропы для бензиновых двигателей:

.

Исходя из выбранного показателя политропы определим давление и температура конца процесса сжатия:

; (18)

. (19)

**1.6 Расчет параметров процесса сгорания**

Целью расчета процесса сгорания является определение температуры и давления () в конце видимого сгорания.

Температуру определим путем решения уравнения сгорания:

, (20)

где - коэффициент использования теплоты;

 - теплота сгорания рабочей смеси, ;

 - средняя мольная теплоемкость свежего заряда при постоянном объеме, ;

 - средняя мольная теплоемкость продукта сгорания при постоянном объеме, ;

 - действительный коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси.

По опытным данным значения коэффициента для бензинового двигателя с электронным впрыском:

.

Теплота сгорания рабочей смеси при :

 (21)

Средние мольные теплоемкости:

свежего заряда:

 (22)

продуктов сгорания:

 (23)

Действительный коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси:

. (24)

Подставим найденные значения в уравнение сгорания и определим :

Величина теоретического давления :

. (25)

Величина теоретического давления :

. (26)

Степень повышения давления :

. (27)

**1.7 Расчет параметров процесса расширения и выпуска**

При расчете процесса расширения и выпуска необходимо определить давление и температуру рабочего тела в конце расширения, показатель политропы расширения , а также проверить точность выбора величин параметров остаточных газов.

По опытным данным средние значения величины п2 при номинальной нагрузке для бензиновых двигателей:

.

Давление и температура конца процесса расширения:

; (28)

. (29)

Правильность предварительного выбора температуры остаточных газов проверим с помощью выражения:

. (30)

Так как расхождение между принятой и вычисленной по формуле не превышает 10% (6%), то расчет выполнен верно.

**1.8 Определение индикаторных показателей двигателя**

Индикаторные показатели характеризуют рабочий цикл двигателя. К ним относятся: среднее индикаторное давление , индикаторная мощность , индикаторный КПД , индикаторный удельный расход топлива .

Теоретическое среднее индикаторное давление:

 (31)

Действительное среднее индикаторное давление:

, (32)

где - коэффициент полноты диаграммы, который принимается равным для бензиновых двигателей с электронным впрыском:

.

Тогда :

. (33)

Индикаторный КПД двигателей, работающих на жидком топливе:

. (34)

Индикаторный удельный расход жидкого топлива:

. (35)

**1.9 Определение эффективных показателей двигателя**

Эффективные показатели характеризуют работу двигателя в целом, т.к. кроме тепловых потерь рабочего цикла учитывают потери на преодоление различных механических сопротивлений и на совершение процессов впуска и выпуска.

К эффективным показателям относятся: эффективная мощность , среднее эффективное давление ,эффективный КПД двигателя , эффективный удельный расход топлива .

Потери на преодоление различных сопротивлений оценивают величиной мощности механических потерь или среднего давления механических потерь .

Среднего давление механических потерь :

, (36)

где а, Ь - коэффициенты, значения которых устанавливаются экспериментально.

Принимаем для бензинового двигателя с впрыском:

;

.

Средняя скорость поршня:

, (37)

где S - ход поршня, мм;

п - номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, .

Тогда :

.

Величина S принимаем равной величине хода поршня двигателя, выбранного в качестве прототипа.

Среднее эффективное давление:

. (38)

Механический КПД:

. (39)

Эффективный КПД двигателя:

. (40)

Эффективный удельный расход жидкого топлива:

. (41)

**1.10 Определение основных размеров цилиндра и параметров двигателя**

При заданных значениях эффективной мощности () и коэффициента короткоходности (S/D) определим основные конструктивные параметры двигателя (диаметр цилиндра и ход поршня).

Литраж двигателя:

. (42)

где Т - тактность двигателя.

Рабочий объем одного цилиндра:

. (43)

где i - число цилиндров двигателя.

Диаметр цилиндра:

. (44)

Ход поршня:

. (45)

Полученные значения D и S округляем до ближайших целых чисел:

.

По окончательно принятым значениям D и S определим основные параметры двигателя:

литраж двигателя:

; (46)

эффективная мощность:

; (47)

эффективный крутящий момент:

; (48)

часовой расход топлива:

; (49)

средняя скорость поршня:

. (50)

**1.11 Построение индикаторной диаграммы**

Построение индикаторной диаграммы ДВС производим в координатах р - V (давление - объем) или p-S (давление - ход поршня) на основании данных расчета рабочего процесса.

В начале построения на оси абсцисс откладывается отрезок АВ, соответствующий рабочему объему цилиндра, а по величине равный ходу поршня в масштабе , который в зависимости от величины хода поршня принимаем: .

Отрезок ОА, соответствующий объему камеры сгорания:

. (51)

Масштаб давлений принимаем: .

По данным теплового расчета на диаграмме откладываем в выбранном масштабе величины давлений в характерных точках: .

Построение политроп сжатия и расширения осуществляем графическим методом.

При построении из начала координат проводим луч ОС под произвольным углом а к оси абсцисс (), а также лучи OD и ОЕ под определенными углами и к оси ординат, равными:

; (52)

. (53)

Политропу расширения строим с помощью лучей ОС и ОЕ, начиная из точки z, а политропу сжатия строим с помощью лучей ОС и OD, начиная с точки с.

На заключительном этапе построения наносим линии впуска и выпуска, а также производим скругления с учетом фаз газораспределения, опережения зажигания (впрыска), скорости нарастания давления в процессе сгорания. Для этого на диаграмме отмечаем положение следующих характерных точек: .

Давление в конце такта сжатия:

. (54)

Для нанесения этих точек характерных точек на диаграмму установим взаимосвязь между углом поворота коленчатого вала и перемещением поршня. Применим для этого метод Брикса. Под индикаторной диаграммой строим вспомогательную полуокружность радиусом , равным половине хода поршня. Далее от центра полуокружности (точка ) в сторону н.м.т. откладываем поправку Брикса:

. (55)

где - для автомобильных двигателей:

.

Ориентировочные значения углов поворота коленчатого вала, определяющих положение характерных точек действительной индикаторной диаграммы:

; ;

; ;

; ;

.

Нанесенные на диаграмму характерные точки соединяются плавными кривыми.

Рисунок 1 – Индикаторная диаграмма бензинового двигателя

двигатель топливо скоростной

**2. Расчет и построение внешней скоростной характеристики двигателя**

Построение кривых скоростной характеристики ведем в интервале частот вращения коленчатого вала: от до .

Расчетные точки кривых эффективной мощности и эффективного удельного расхода топлива определим по следующим зависимостям:

; (56)

, (57)

где - соответственно номинальная эффективная мощность (кВт), частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности (), удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности () ;

 - соответственно эффективная мощность (кВт), удельный эффективный расход топлива (), частота вращения коленчатого вала () в искомой точке скоростной характеристики;

 - коэффициенты, значения которых устанавливают экспериментально.

Для бензинового двигателя: ; ; ; ; .

Рассчитанные точки кривых эффективной мощности и эффективного удельного расхода топлива сведем в таблицу 1.

Точки кривых эффективного крутящего момента и часового расхода топлива определим по формулам:

; (58)

 (59)

Рассчитанные точки кривых эффективного крутящего момента и часового расхода топлива сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения эффективной мощности , эффективного удельного расхода топлива , эффективного крутящего момента и часового расхода топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала .



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Размерность  | Значения параметров |
| n | мин-1 | 800 | 1700 | 2600 | 3500 | 4400 | 5300 | 6200 |
| Ne | кВт | 17,785 | 40,799 | 64,039 | 84,439 | 98,929 | 104,441 | 97,906 |
| ge | г/(кВт∙ч) | 238,320 | 214,711 | 201,404 | 198,399 | 205,696 | 223,296 | 251,198 |
| Ме | Н∙м | 212,401 | 229,292 | 235,324 | 230,498 | 214,814 | 188,272 | 150,873 |
| GT | кг/ч | 4,239 | 8,760 | 12,898 | 16,753 | 20,349 | 23,321 | 24,594 |

По рассчитанным значениям параметров , , , для ряда значений n производим построение внешней скоростной характеристики.

Рисунок 2 – Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя

С помощью построенной характеристики определяем максимальный эффективный крутящий момент: и минимальный эффективный удельный расход топлива: , а также коэффициент приспособляемости К:

. (60)

где - эффективный крутящий момент при номинальной мощности.

**3. Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма**

**3.1 Расчет сил давления газов**

Силы давления газов, действующие на площадь поршня, заменяем одной силой , направленной вдоль оси цилиндра и приложенной к оси поршневого пальца.

Сила определяется для ряда углов поворота коленчатого вала по действительной развернутой индикаторной диаграмме.

Построение действительной развернутой индикаторной диаграммы производим в координатах .

Сила давления газов, Н:

, (61)

где - площадь поршня, ;

- атмосферное давление, МПа;

 - абсолютное и избыточное давление газов над поршнем в любой момент времени, МПа.

Величины снимаем с развернутой индикаторной диаграммы для требуемых . Соответствующие им силы рассчитываем.

Для угла поворота коленчатого вала :

.

, заносим в сводную таблицу 2.

Кривая построена в масштабе: , масштаб этой же кривой для будет: .

**3.2 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма**

Для упрощения динамического расчета действительный КШМ заменяем эквивалентной системой сосредоточенных масс.

Масса, сосредоточенная на оси поршневого пальца, кг:

, (62)

где - масса поршневой группы, кг;

 - часть массы шатунной группы, сосредоточенной на оси поршневого пальца, кг.

Масса, сосредоточенная на оси кривошипа, кг:

, (63)

где - часть массы шатунной группы, сосредоточенной на оси кривошипа, кг;

 - часть массы кривошипа, сосредоточенной на оси кривошипа, кг.

Полная масса шатунной группы, кг:

. (64)

Для приближенного определения значений , и можно используем конструктивные массы , т.е. массы, отнесенные к площади поршня.

Поршневая группа :

.

Шатун :

.

Неуравновешенные части одного колен вала без противовесов :

.

Умножая конструктивные массы на площадь поршня получим искомые величины:

; (65)

; (66)

. (67)

Для большинства существующих автомобильных и тракторных двигателей:

. (68)

Тогда :

. (69)

Масса, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

. (70)

Масса, сосредоточенная на оси кривошипа:

. (71)

**3.3 Расчет сил инерции**

Силы инерции поступательно движущихся масс , Н:

. (72)

, (73)

где j - ускорение поршня, ;

- угловая скорость вращения коленчатого вала для расчетного режима, рад/с:

. (74)

Центробежные силы инерции вращающихся масс :

. (75)

Для рядного двигателя центробежная сила инерции является результирующей двух сил:

силы инерции вращающихся масс шатуна:

; (76)

силы инерции вращающихся масс кривошипа:

. (77)

Для угла поворота коленчатого вала :

;

.

Силы рассчитываем для требуемых положений кривошипа (углов ) и заносим результат в таблицу 2.

**3.4 Расчет суммарных сил, действующих в КШМ**

Суммарные силы, действующие в КШМ, определяем алгебраическим сложением сил давления газов и сил возвратно-поступательно движущихся масс:

 (78)

Нормальная сила N (Н), действующая перпендикулярно оси цилиндра, воспринимаемая стенками цилиндра:

, (79)

где - угол отклонения шатуна от оси цилиндра.

Сила S (Н), действующая вдоль шатуна:

. (80)

От действия силы S на шатунную шейку возникают две составляющие силы:

сила, направленная по радиусу кривошипа:

. (81)

тангенциальная сила, направленная по касательной к окружности радиуса кривошипа:

. (82)

Для угла поворота коленчатого вала :

;

;

;

;

.

Рассчитываем для требуемых углов значения P, N, S, K, T и заносим в таблицу 2.

**3.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала**

Аналитически результирующая сила, действующая на шатунную шейку рядного двигателя, Н:

, (83)

где - сила, действующая на шатунную шейку по кривошипу.

Для угла поворота коленчатого вала :

Значения вычисляем для требуемых и заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты вычисления сил, действующих в КШМ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| φ, град | ∆pГ , МПа | PГ , Н | Pj , H | P, H | N, H | S, H | K, H | T, H | RШШ , Н |
| 0 | 0,02 | 130,012 | -16740,441 | -16610,430 | 0,000 | -16610,430 | -16610,430 | 0,000 | 27452,481 |
| 30 | -0,01 | -78,007 | -13272,162 | -13350,169 | -1681,963 | -13455,706 | -10720,604 | -8131,707 | 23045,016 |
| 60 | -0,01 | -78,007 | -5022,132 | -5100,139 | -1131,039 | -5224,048 | -1570,561 | -4982,370 | 13375,236 |
| 90 | -0,01 | -78,007 | 3348,088 | 3270,081 | 844,331 | 3377,325 | -844,331 | 3270,081 | 12135,278 |
| 120 | -0,01 | -78,007 | 8370,221 | 8292,214 | 1838,934 | 8493,673 | -5738,671 | 6261,801 | 17723,726 |
| 150 | -0,01 | -78,007 | 9924,074 | 9846,067 | 1240,488 | 9923,903 | -9147,188 | 3848,739 | 20356,386 |
| 180 | -0,01 | -78,007 | 10044,265 | 9966,258 | 0,000 | 9966,258 | -9966,258 | 0,000 | 20808,309 |
| 210 | -0,01 | -78,007 | 9924,074 | 9846,067 | -1240,488 | 9923,903 | -9147,188 | -3848,739 | 20356,386 |
| 240 | 0,01 | 71,506 | 8370,221 | 8441,727 | -1872,091 | 8646,819 | -5842,142 | -6374,704 | 17860,548 |
| 270 | 0,07 | 455,041 | 3348,088 | 3803,129 | -981,964 | 3927,855 | -981,964 | -3803,129 | 12420,592 |
| 300 | 0,23 | 1527,637 | -5022,132 | -3494,495 | 774,961 | -3579,394 | -1076,111 | 3413,802 | 12397,445 |
| 330 | 0,81 | 5265,474 | -13272,162 | -8006,688 | 1008,748 | -8069,983 | -6429,621 | 4876,945 | 17947,013 |
| 360 | 2,19 | 14249,282 | -16740,441 | -2491,159 | 0,000 | -2491,159 | -2491,159 | 0,000 | 13333,210 |
| 370 | 6,40 | 41636,247 | -16335,067 | 25301,180 | 1099,412 | 25325,055 | 24725,887 | 5476,214 | 14924,806 |
| 390 | 3,82 | 24871,238 | -13272,162 | 11599,076 | 1461,346 | 11690,770 | 9314,421 | 7065,101 | 7228,368 |
| 420 | 1,51 | 9835,385 | -5022,132 | 4813,253 | 1067,418 | 4930,191 | 1482,216 | 4702,108 | 10474,557 |
| 450 | 0,78 | 5096,459 | 3348,088 | 8444,547 | 2180,373 | 8721,491 | -2180,373 | 8444,547 | 15520,757 |
| 480 | 0,47 | 3100,779 | 8370,221 | 11471,000 | 2543,882 | 11749,688 | -7938,566 | 8662,236 | 20682,019 |
| 510 | 0,30 | 1995,680 | 9924,074 | 11919,753 | 1501,748 | 12013,982 | -11073,683 | 4659,325 | 22405,551 |
| 540 | 0,17 | 1137,602 | 10044,265 | 11181,867 | 0,000 | 11181,867 | -11181,867 | 0,000 | 22023,918 |
| 570 | 0,07 | 461,542 | 9924,074 | 10385,615 | -1308,465 | 10467,716 | -9648,439 | -4059,644 | 20888,774 |
| 600 | 0,04 | 175,516 | 8370,221 | 8545,736 | -1895,157 | 8753,355 | -5914,122 | -6453,246 | 17955,883 |
| 630 | 0,03 | 149,513 | 3348,088 | 3497,602 | -903,077 | 3612,308 | -903,077 | -3497,602 | 12254,846 |
| 660 | 0,03 | 149,513 | -5022,132 | -4872,619 | 1080,583 | -4990,999 | -1500,497 | 4760,103 | 13228,646 |
| 690 | 0,03 | 149,513 | -13272,162 | -13122,649 | 1653,298 | -13226,387 | -10537,898 | 7993,123 | 22825,254 |
| 720 | 0,02 | 130,012 | -16740,441 | -16610,430 | 0,000 | -16610,430 | -16610,430 | 0,000 | 27452,481 |

**3.6 Построение графиков сил, действующих в КШМ**

Графики изменения сил, действующих в КШМ, в зависимости от угла поворота кривошипа строим в прямоугольной системе координат по данным таблицы 2.

Все графики строим в масштабе , а координатные сетки располагаем одну под другой. При этом на одной координатной сетке группируем несколько графиков: кривые и - на координатной сетке развернутой индикаторной диаграммы вместе с кривой , а кривые сил , и , -попарно.

Построение графика ведем как в прямоугольной системе координат, так и в виде полярной диаграммы с базовым направлением (полярной осью) по кривошипу.

При построении полярной диаграммы из точки по оси абсцисс вправо откладываются положительные силы , по оси ординат вверх - отрицательные силы . Плавная кривая, соединяющая точки с координатами ( ;) в порядке нарастания (соответствующие значения указываем рядом с точкой), является искомой диаграммой.

При построении графика в прямоугольной системе координат по расчетным данным таблицы 2 минимальное и максимальное определяем по полярной диаграмме.

Для определения положения среднего значения на графике площадь ограниченную графиком и осями координат разделим на длину графика:

. (84)

**3.7 Построение диаграммы износа шатунной шейки**

На основании полярной диаграммы нагрузки на шатунную шейку коленчатого вала производим построение диаграммы износа. которая дает наглядное представление о характере износа шейки по окружности и позволяет определить местоположение масляного отверстия.

Для построения диаграммы износа проводим окружность, изображающую в произвольном масштабе шатунную шейку.

Дальнейшее построение осуществляем в предположении, что действие каждого вектора силы распространяется на по окружности шейки в обе стороны от точки приложения силы.

По диаграмме определяем угол ,определяющий положение оси масляного отверстия:

Для упрощения расчета результирующих величин составляем таблицу 3, в которую заносим значения сил , действующих по каждому лучу, и их сумму.

Таблица 3 – Определение суммарных сил обуславливающих характер износа шатунной шейки.

|  |  |
| --- | --- |
| RШШi  | Значения RШШi для лучей, (H) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| RШШ 0 | 27452,481 | 27452,481 | 27452,481 | - | - | - | - | - | - | - | - | 27452,481 |
| RШШ 30 | 23045,016 | 23045,016 | 23045,016 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23045,016 |
| RШШ 60 | 13375,236 | 13375,236 | 13375,236 | - | - | - | - | - | - | - | - | 13375,236 |
| RШШ 90 | 12135,278 | 12135,278 | - | - | - | - | - | - | - | - | 12135,278 | 12135,278 |
| RШШ 120 | 17723,726 | 17723,726 | - | - | - | - | - | - | - | - | 17723,726 | 17723,726 |
| RШШ 150 | 20356,386 | 20356,386 | - | - | - | - | - | - | - | - | 20356,386 | 20356,386 |
| RШШ 180 | 20808,309 | 20808,309 | 20808,309 | - | - | - | - | - | - | - | 20808,309 | 20808,309 |
| RШШ 210 | 20356,386 | 20356,386 | 20356,386 | - | - | - | - | - | - | - | - | 20356,386 |
| RШШ 240 | 17860,548 | 17860,548 | 17860,548 | - | - | - | - | - | - | - | - | 17860,548 |
| RШШ 270 | 12420,592 | 12420,592 | 12420,592 | - | - | - | - | - | - | - | - | 12420,592 |
| RШШ 300 | 12397,445 | 12397,445 | - | - | - | - | - | - | - | - | 12397,445 | 12397,445 |
| RШШ 330 | 17947,013 | 17947,013 | - | - | - | - | - | - | - | - | 17947,013 | 17947,013 |
| RШШ 360 | 13333,210 | 13333,210 | 13333,210 | - | - | - | - | - | - | - | 13333,210 | 13333,210 |
| RШШ 390 | - | - | - | - | - | - | - | - | 7228,368 | 7228,368 | 7228,368 | 7228,368 |
| RШШ 420 | 10474,557 | 10474,557 | - | - | - | - | - | - | - | - | 10474,557 | 10474,557 |
| RШШ 450 | 15520,757 | - | - | - | - | - | - | - | - | 15520,757 | 15520,757 | 15520,757 |
| RШШ 480 | 20682,019 | 20682,019 | - | - | - | - | - | - | - | - | 20682,019 | 20682,019 |
| RШШ 510 | 22405,551 | 22405,551 | - | - | - | - | - | - | - | - | 22405,551 | 22405,551 |
| RШШ 540 | 22023,918 | 22023,918 | 22023,918 | - | - | - | - | - | - | - | 22023,918 | 22023,918 |
| RШШ 570 | 20888,774 | 20888,774 | 20888,774 | - | - | - | - | - | - | - | - | 20888,774 |
| RШШ 600 | 17955,883 | 17955,883 | 17955,883 | - | - | - | - | - | - | - | - | 17955,883 |
| RШШ 630 | 12254,846 | 12254,846 | 12254,846 | - | - | - | - | - | - | - | - | 12254,846 |
| RШШ 660 | 13228,646 | 13228,646 | - | - | - | - | - | - | - | - | 13228,646 | 13228,646 |
| RШШ 690 | 22825,254 | 22825,254 | - | - | - | - | - | - | - | - | 22825,254 | 22825,254 |
| RШШ 720 | 27452,481 | 27452,481 | 27452,481 | - | - | - | - | - | - | - | 27452,481 | 27452,481 |
| ∑RШШi  | 434924,3 | 419403,6 | 249227,7 |  |  |  |  |  | 7228,368 | 22749,13 | 276542,9 | 442152,7 |

**3.8 Построение графика суммарного крутящего момента двигателя**

Крутящий момент , развиваемый одним цилиндром двигателя в любой момент времени:

. (85)

Кривая изменения силы является также и кривой изменения , но в масштабе:

. (86)

При построении графика суммарного крутящего момента график при выбранном масштабе разбиваем на число участков, равное числу цилиндров двигателя. Все участки совмещаем на новой координатной сетке длиной Θ и суммируем.

Для четырехтактного двигателя:

 (87)

По графику определяем среднее значение суммарного крутящего момента :

 (88)

где - соответственно положительная и отрицательная площади, заключенные между кривой и линией ОА;

ОА - длина интервала между вспышками на диаграмме, мм.

По величине определим действительный эффективный крутящий

момент , снимаемый с вала двигателя:

. (89)

Значение найденного в тепловом расчете двигателя:

.

