

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.Н. КОРОЛЕВА»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО СИСТЕМАМ ЖИДКОСТНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Регистрационный № 41-2016
ХРАНИТСЯ НА КАФЕДРЕ
МАЛЫЙ ТИРАЖ 50 экземпляров

САМАРА 2016

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО СИСТЕМАМ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Методические указания

САМАРА 2016

Составители: *И.В. Коломин, А.П. Толстоногов*

Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.Н. Матвеев*

Лабораторный практикум по системам жидкостного охлаждения поршневого двигателя внутреннего сгорания: метод. указания / сост. *И.В. Коломин, А.П. Толстоногов* – Самара: Самарский ун-т, 2016. – 32 с.: ил.

Методические указания составлены на основе компьютерного практикума, подготовленного коллективом авторов МАДИ (ТУ) Луканина В.Н., Алексеева Н.В., Шатрова М.Г., и др. под ред. Луканина В.Н.

Указания содержат текстовый материал этого практикума, позволяющий проводить лабораторную работу с целью закрепления студентами лекционного материала по системе жидкостного охлаждения поршневого двигателя и методики исследования влияния на неё конструктивных, режимных параметров двигателя и транспортного средства, эксплуатационных факторов, а также приобретения навыков по её проектированию. Рекомендуемая учебником МАДИ(ТУ) последовательность работы дополнена вариантами типов двигателей и условиями их эксплуатации.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, специализация "Двигатели внутреннего сгорания" при изучении курса "Системы двигателей" и 13.03.03 – направление подготовки Энергетическое машиностроение, профиль Двигатели внутреннего сгорания.

Разработаны на кафедре "Теплотехника и тепловые двигатели".

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Цель работы	5
2 Порядок проведения работы	5
3 Описание алгоритма расчетного эксперимента.....	6
Этап 1. Исходные данные по ДВС и режим его работы.....	6
Этап 2. Массогабаритные и удельные параметры радиатора	7
Этап 3. Жидкостной насос и жидкостный тракт	12
Этап 4 Вентилятор и воздушный тракт.....	16
4 Порядок выполнения лабораторной работы.....	18
5 Содержание отчета.....	19
Список литературы	20
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Охлаждение двигателя применяется в целях принудительного отвода тепла от нагретых деталей для обеспечения оптимального теплового состояния двигателя и его нормальной работы. Большая часть отводимого тепла воспринимается системой охлаждения (СО), меньшая – системой смазки и окружающей средой.

В зависимости от рода используемого теплоносителя в автомобильных, судовых и тракторных двигателях применяют систему жидкостного или воздушного охлаждения. В качестве жидкого охлаждающего вещества используют воду и некоторые другие высоко-кипящие жидкости, а в системе воздушного охлаждения — воздух.

Каждая из указанных СО имеет преимущества и недостатки. К *преимуществам* жидкостного охлаждения относят:

- а) более эффективный отвод тепла от нагретых деталей двигателя при любой тепловой нагрузке;
- б) быстрый и равномерный прогрев двигателя при пуске;
- в) допустимость применения блочных конструкций цилиндров;
- г) меньшая склонность к детонации в бензиновых двигателях;
- д) более стабильное тепловое состояние двигателя при изменении режима его работы;
- е) меньшие затраты мощности на охлаждение и возможность использования тепла, отводимого в систему охлаждения и др.

Недостатки системы жидкостного охлаждения:

- а) большие затраты на обслуживание и ремонт в эксплуатации;
- б) пониженная надежность работы двигателя при отрицательных температурах окружающей среды и большая чувствительность к ее изменению.

Расчет основных конструктивных элементов СО производится исходя из количества тепла, отводимого от двигателя в единицу времени.

В процессе выполнения лабораторной работы по системам охлаждения будут затронуты следующие разделы, связанные с расчётом массогабаритных и удельных параметров радиатора, жидкостного насоса и жидкостного тракта, вентилятора и воздушного тракта.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Работу проводят с целью закрепления студентами лекционного материала по системе жидкостного охлаждения ДВС исследования влияния на нее конструктивных, режимных параметров двигателя и транспортного средства, эксплуатационных факторов, а также приобретения навыков по ее проектированию.

В частности, в процессе выполнения этой работы, определяются конструктивные размеры жидкостного насоса и жидкостного тракта системы жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется на основе компьютерного учебника, подготовленного в Московском автодорожном институте (МАДИ). Необходимые расчеты выполняются на ЭВМ по предложенному авторами алгоритму (см. приложение В) [1], рекомендациям учебного пособия [4] и теплового расчета двигателя, выполненного ранее в курсовой работе по теории рабочих процессов ДВС.

3. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Алгоритм проведения вычислительного эксперимента в лабораторной работе включает последовательное выполнение ряда этапов.

• Этап 1. Исходные данные по ДВС и режим его работы

Информация по ДВС задана в приложении А.

Так как в качестве объекта исследования используется существующий двигатель, то из списка аналогов ДВС задается требуемый и из его скоростной характеристики выбирается режим, соответствующий максимальному количеству теплоты, отводимой в систему охлаждения $Q_{жк}$.

Необходимая для расчетов информация принимается в соответствии с ранее выполненной курсовой работой по тепловому расчету двигателя исходного варианта (см. приложение А).

Исходная информация, задаваемая в блоке: t_0 - температура окружающей среды, p_0 - давление окружающей среды, МПа; v_a - скорость автомобиля, км/ч; $\Delta t_{пр}$ - подогрев воздуха при прохождении его через воздушно-масляный радиатор, °С (при отсутствии радиатора $\Delta t_{пр} = 0$); тип охлаждающей жидкости (тосол, вода). По принятому типу жидкости здесь определяются $c_{ж}$ - теплоемкость охлаждающей жидкости, Дж/(кг·К) и $\rho_{жк}$ - плотность охлаждающей жидкости, кг/м³. (см.[4]).

В результате определяют:

температуру воздуха на входе в радиатор (°С): $t_{ВВХ} = t_0 + \Delta t_{пр}$;

плотность охлаждающего воздуха (кг/м³):

$\rho_B = \rho_0 \times 10^6 / [R(t_{ВВХ} + 273)]$, где R - газовая постоянная воздуха:

$R = 287 \text{ Дж}(\text{кг} \cdot \text{К})$;

скорость воздуха, проходящего через радиатор за счет движения автомобиля (м/с): $\omega_B = v_a / 3,6$.

- **Этап 2. Массогабаритные и удельные параметры радиатора**

На основании аналога (базового варианта) исходные строительные размеры радиатора задаются в миллиметрах.

- *Габаритные размеры радиатора:* H, B - высота и ширина фронтальной поверхности охлаждающей решетки радиатора; l - глубина радиатора.

- *Параметры жидкостной части радиатора:* i_x — количество ходов жидкости в радиаторе; $i_{тр.фр1}$ - количество трубок по фронту для одного хода охлаждающей жидкости и по глубине радиатора ($i_{тр.сл}$); $b, c, \delta_{тр}$ - наружные длина и ширина сечения трубки, толщина трубки, (см. приложение Б).

- *Параметры оребрения воздушной части радиатора.* Задается тип охлаждающей решетки радиатора, (см. приложение Б).

Для трубчато-пластинчатого радиатора указываются $i_{пл}$

- количество пластин охлаждения по высоте радиатора, их толщина $\delta_{пл}$; для трубчато- ленточного: i_f - количество гофров по высоте радиатора, толщина ленты гофра δ_l и половина длины ленты гофра l_g .

На основании исходной информации определяют параметры жидкостного и воздушного трактов радиатора, а также интегральные параметры.

1.Параметры жидкостного тракта радиатора

Общее количество трубок (см. рис. Б1, Б2 приложения Б) для одного хода охлаждающей жидкости:

$$i_{мп1} = i_{тр.фр1} i_{тр.зл}.$$

Общее количество трубок по фронту радиатора:

$$i_{тр.фр} = i_{тр.фр1} i_x.$$

Общее количество трубок радиатора:

$$i_{тр} = i_{тр.фр1} i_x i_{мп.зл} = i_{тр.фр} i_{мп.зл} = i_{мп1} i_x.$$

Полный (смоченный) периметр внутреннего сечения трубки (мм):

$$P_{ТР.ВН} = 2(b + c - 4\delta_{ТР})$$

Внутренняя поверхность одной трубки:

$$f_{ТР.ВН} = P_{ТР.ВН} H$$

Внутренняя поверхность всех трубок радиатора (m^2):

$$F_{TP.BH} = i_{TP} f_{TP.BH} \cdot 10^{-6}$$

Периметр наружного сечения трубки:

$$P_{TP.BH} = 2(b + c)$$

Наружная поверхность одной трубки:

$$f_{TP.H} = P_{TP.H} H$$

Наружная поверхность всех трубок радиатора без учета контакта с охлаждающими элементами (m^2):

$$F'_{TP.H} = i_{TP} f'_{TP.H} \cdot 10^{-6}$$

Площадь поперечного сечения трубки ($мм^2$):

$$F_{TP} = 2(b + c - 2\delta_{TP})\delta_{TP}$$

Масса одной трубки ($кг$):

$$m_{TP} = f_{TP} H \rho_{TP} \cdot 10^{-9}$$

Масса трубок радиатора ($кг$):

$$M_{TP} = i_{TP} m_{TP}$$

Площадь поперечного внутреннего («живого») сечения одной трубки ($мм^2$):

$$F_{TP.Ж} = (b - 2\delta_{TP})(c - 2\delta_{TP})$$

Эквивалентный гидравлический диаметр трубки радиатора (m) – отношение площади поперечного сечения потока в канале к полному (смоченному) периметру сечения канала:

$$D_{ЭЖ} = 4(f_{TP.Ж} / P_{TP.BH})10^{-3}$$

Площадь «живого» сечения всех трубок радиатора (m^2):

$$F_{Ж} = f_{TP.Ж} i_{TP} \cdot 10^{-6}$$

Площадь поперечного «живого» сечения трубок радиатора для одного хода жидкости (m^2):

$$F_{Ж1} = f_{TP} i_{TP1} \cdot 10^{-6} = F_{Ж} / i_{Ж}$$

Масса жидкости в одной трубке ($кг$):

$$m_{ж} = f_{тр.ж} H \rho_{ж} \cdot 10^{-9}.$$

Масса жидкости во всех трубках радиатора (кг):

$$M_{ж} = i_{тр} m_{ж}.$$

2. Параметры воздушного тракта радиатора

Шаг по фронту радиатора – ширина элементарной ячейки (см. приложение Б):

$$S_{фр} = B / i_{тр.фр}.$$

Шаг трубок по глубине радиатора – длина элементарной ячейки:

$$S_{гл} = l / i_{тр.гл}.$$

— Для трубчато-пластинчатого радиатора.

Высота элементарной ячейки:

$$h = H / i_{пл}.$$

Площадь одной охлаждающей пластины:

$$f_{пл} = 2Bi + B\delta_{пл} - 2i_{тр}bc.$$

Площадь всех охлаждающих пластин:

$$F_{пл} = i_{пл} f_{пл} \cdot 10^{-6}.$$

Площадь фронтальной поверхности элементарного объема:

$$F'_{фр} = S_{фр} h.$$

Площадь «живого» сечения по воздуху элементарного объема:

$$F'_B = (S_{фр} - c)(h - \delta_{пл}).$$

Наружная поверхность одной трубки с учетом ее контакта с пластинами охлаждения:

$$f_{тр.н} = f'_{тр.н} - 2(b+c)\delta_{пл}i_{пл}.$$

Масса охлаждающей пластины (кг):

$$m_{пл} = (Bl - i_{тр}bc)\delta_{пл}\rho_{пл} \cdot 10^{-9}.$$

Масса всех охлаждающих пластин (кг):

$$M_{пл} = i_{пл} m_{пл}.$$

— Для трубчато-ленточного радиатора

Высота элементарной ячейки:

$$h = H / i_{\Gamma}.$$

Площадь поверхности одного охлаждающего гофра:

$$f_{\Gamma} = (4l_{\Gamma} - 2\delta_{\Gamma}) / l.$$

Площадь поверхности секции одного охлаждающего гофра (по высоте):

$$f_{\Gamma.C.} = f_{\Gamma} i_{\Gamma}.$$

Площадь всей поверхности охлаждающих гофров (m^2):

$$F_{\Gamma} = f_{\Gamma.C.} i_{\Gamma.P.P.} \cdot 10^{-6}.$$

Площадь фронтальной поверхности элементарного объема

$$F'_{\Phi.P.} = S_{\Phi.P.} h.$$

Площадь «живого» сечения по воздуху элементарного объема:

$$F'_{B} = (S_{\Phi.P.} - c) h - 2l_{\Gamma} \delta_{\Gamma}.$$

Наружная поверхность одной трубки с учетом ее контакта с охлаждающими гофрами:

$$f_{\Gamma.P.H.} = f'_{\Gamma.P.H.} - 2\delta_{\Gamma} b i_{\Gamma}.$$

Масса охлаждающего гофра (kg):

$$m_{\Gamma} = 2\delta_{\Gamma} i_{\Gamma} l \rho_{\Gamma} \cdot 10^{-9}.$$

Масса секции охлаждающих гофров по высоте (kg):

$$m_{\Gamma.C.} = i_{\Gamma} m_{\Gamma}.$$

Масса всех охлаждающих гофров (kg):

$$M_{\Gamma} = i_{\Gamma.P.P.} m_{\Gamma.C.}.$$

3. Интегральные параметры радиатора

Наружная поверхность всех трубок радиатора (m^2)

Поверхность охлаждения радиатора:

$$F_{Oxл} = F_{\Gamma.P.H.} + F_{\Gamma\Gamma} \text{ - для трубчато-пластинчатого радиатора;}$$

$$F_{Oxл} = F_{\Gamma.P.H.} + F_{\Gamma} \text{ - для трубчато-ленточного радиатора.}$$

Площадь фронтальной (лобовой) поверхности радиатора (m^2):

$$F_{\phi p} = HB \cdot 10^{-6}.$$

Объем остова радиатора (m^3):

$$V_{\text{рад}} = HBl \cdot 10^{-9} = F_{\phi p} l \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент объемной компактности радиатора (m^2/m^3):

$$\varphi = F_{\text{охл}} / V_{\text{рад}} = F_{\text{охл}} / (HBl) = F_{\text{охл}} / (F_{\phi p} l).$$

Коэффициент живого сечения решетки радиатора по воздуху:

$$\beta = F_a' / F_{\phi p}'.$$

Эквивалентный диаметр воздушного канала радиатора:

$$d_{\text{эв}} = 4\beta / \varphi.$$

Коэффициент оребрения радиатора:

$$\varepsilon_{\text{ор}} = F_{\text{охл}} / F_{\text{тр.вн}}.$$

Масса теплопередающей поверхности (решетки) радиатора (κz):

$$M_p = M_{\text{тр}} + M_{\text{пл}} - \text{для трубчато-пластинчатого радиатора};$$

$$M_p = M_{\text{тр}} + M_z - \text{для трубчато-ленточного радиатора}.$$

Масса жидкости в радиаторе (κz):

$$M_{\text{жс}} = i_{\text{тр}} m_{\text{жс}}.$$

Для оценки реализуемости радиатора, сформированного по заданным параметрам и размерам, следует проанализировать полученные удельные параметры $(\varphi, \beta, \varepsilon_{\text{ор}})$ на предмет конфликта со среднестатистическими. Последние определены исходя из необходимости обеспечения высоких значений коэффициента теплопередачи радиатора K_p при малых коэффициентах аэродинамического сопротивления решетки ζ_p массы M_p и габаритных размеров радиатора.

Указание: Приведенные расчетные соотношения массогабаритных и удельных параметров радиатора, заложены в программу расчета на ЭВМ. Руководствуясь этими соотношениями можно правильно выбрать величину (размер, параметр), который следует изменить, чтобы получить искомую величину в пределах, указанных на экране. Это уменьшит число поисковых итераций в ходе расчетов по заданному параметру выбранного типа радиатора базового варианта ДВС и условий его эксплуатации.

• **Этап 3. Жидкостной насос и жидкостный тракт**

Гидравлический расчет радиатора

Гидравлический расчет радиатора производится в следующей последовательности. Уточняется величина аэродинамического сопротивления радиатора, величина которого необходима при подборе вентилятора, по эмпирической формуле:

$$\frac{\Delta p'_{рад}}{\rho_{возд} W_{возд}^2} = 2,16 i_{рад} Re_{возд}^{-0,193}.$$

Откуда выражаем $\Delta p'_{рад}$ – падение напора воздуха в решетке радиатора (Па); $\rho_{возд}$ – средняя плотность воздуха ($кг/м^3$) при $T_{ср.возд}$ (К):

$$\rho_{возд} = \frac{P_{ср.рад}}{R \cdot T_{ср.возд}}.$$

Здесь $R = 287 \text{ Дж}/кг \cdot \text{К}$ – газовая постоянная воздуха. Проверка расчета ведется по формуле, Па:

$$\Delta p''_{рад} = \xi \frac{\rho_{возд} W_{возд}^2}{2},$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле (15) с учетом ранее найденных $L \approx (0,05 \dots 0,10) \text{ м}$, $d_{жк}$, $Re_{возд}$, $i_{рад}$:

$$\xi = \frac{0,98}{\sqrt[3]{Re_{возд}}} \cdot \frac{L}{d_{жк}} + \xi_c i_{рад}.$$

Здесь $\xi_c = 0,100 \dots 0,105$ – коэффициент гидравлического сопротивления потоку охлаждающей жидкости (необходимый для расчета жидкостного насоса). Окончательно принимается среднее значение падения напора воздуха в радиаторе, Па:

$$\Delta p_{рад} = \frac{\Delta p'_{рад} + \Delta p''_{рад}}{2}.$$

Производится также оценка величины гидравлического сопротивления жидкостного тракта с учетом того, что гидравлическое сопротивление жидкости в радиаторе $\Delta p_{жк,рад}$ складывается из сопротивления входа в приемный коллектор $\Delta p_{жк1}$, входа в трубки радиатора $\Delta p_{жк2}$, самих трубок $\Delta p_{жк3}$, выхода из этих трубок $\Delta p_{жк4}$ и сопротивления выхода из отводящего коллектора $\Delta p_{жк5}$.

Обычно принимают скорость жидкости в подводящей и отводящей трубах радиатора равной $W_{жс} = 5 \text{ м/с}$. Перечисленные выше сопротивления ($Па$) определяются следующим образом:

$$\Delta p_{жс1} = \xi_{жс1} \frac{\rho_{жс} W_{жс1}^2}{2},$$

при коэффициенте местных потерь $\xi_{жс1} = 1,00 \dots 1,01$; скорости жидкости $W_{жс1} = W_{жс5} = 5,0 \text{ м/с}$;

$$\Delta p_{жс2} = \xi_{жс2} \frac{\rho_{жс} W_{жс2}^2}{2},$$

при коэффициенте местных потерь $\xi_{жс2} = 0,5 \dots 0,6$; скорости жидкости $W_{жс2} = W_{жс3} = 0,5 \text{ м/с}$;

$$\Delta p_{жс4} = \xi_{жс4} \frac{\rho_{жс} W_{жс2}^2}{2},$$

при коэффициенте местных потерь $\xi_{жс4} = 1,00 \dots 1,02$; скорости жидкости $W_{жс2} = 0,5 \text{ м/с}$;

$$\Delta p_{жс5} = \xi_{жс5} \frac{\rho_{жс} W_{жс1}^2}{2},$$

при коэффициенте местных потерь $\xi_{жс5} = 0,5 \dots 0,6$; скорости $W_{жс1} = 5 \text{ м/с}$.

Коэффициент сопротивления потерь в трубках радиатора определяется:

$$\lambda_{жс\text{рад}} = 0,0144 + \frac{0,00947}{\sqrt{W_{жс2}}}.$$

Гидравлические потери ($Па$) в трубах с учетом ранее найденных значений $\lambda_{жс}$, $l_{тр}$, $d_{жс}$ и $\rho_{жс}$ равны:

$$\Delta p_{жс3} = \lambda_{жс} \frac{l_{тр}}{d_{жс}} \frac{\rho_{жс} W_{жс2}^2}{2}.$$

Полное гидравлическое сопротивление радиатора равно, $Па$:

$$\Delta p_{жс\text{рад}} = \Delta p_{жс1} + \Delta p_{жс2} + \Delta p_{жс3} + \Delta p_{жс4} + \Delta p_{жс5} = \sum_{i=1}^5 \Delta p_{жсi}.$$

Принято считать, что гидравлическое сопротивление трубопроводов и рубашки охлаждения лазера соизмеримы с гидравлическим сопротивлением радиатора. На основании статистических данных гидравлическое сопротивление трубопроводов $\Delta p_{жс\text{тр}} = 25000 \text{ Па}$, а рубашки охлаждения лазера $\Delta p_{жс\text{руб}} = 30000 \text{ Па}$.

Тогда общее сопротивление контура охлаждающей жидкости будет равно сумме, Па:

$$\Delta p_{ж} = \Delta p_{ж\text{ рад}} + \Delta p_{ж\text{ стр}} + \Delta p_{ж\text{ руб}}.$$

Полученное значение общего сопротивления контура охлаждающей жидкости принимается в качестве исходного при расчете жидкостного насоса.

Расчет параметров жидкостного насоса

Расчетная объемная производительность насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) определяется с учетом утечек жидкости из нагнетательной полости во всасывающую:

$$G_{ж.р} = G_{ж} / \eta,$$

где $\eta=0,8\dots0,9$ – коэффициент подачи.

Циркуляционный расход жидкости в системе охлаждения двигателя:

$$G_{ж} = \frac{Q_{ж}}{c_{ж} \rho_{ж} \Delta t_{ж}},$$

где $\Delta t_{ж}$ – температурный перепад жидкости в радиаторе, равный $6\dots12^\circ\text{C}$

Входное отверстие насоса должно обеспечить подвод расчетного количества жидкости. Это достигается при выполнении условия:

$$G_{ж.р} / c_1 = \pi(r_1^2 - r_0^2),$$

где $c_1 = 1\dots2$ – скорость жидкости на входе, $\text{м}/\text{с}$; r_1 и r_0 – радиус входного отверстия и ступицы крыльчатки, м ; $r_0 = 0,008\dots0,010 \text{ м}$.

Из равенства (18) определяют радиус входного отверстия крыльчатки:

$$r_1 = \sqrt{(G_{ж.р} / \pi c_1) + r_0^2}.$$

Окружная скорость на периферии рабочего колеса:

$$u_2 = \sqrt{1 + \text{tg} \alpha_2 \text{ctg} \beta_2} \sqrt{p_{ж} / (\rho_{ж} \eta_k)},$$

где α_2 и β_2 – углы между направлениями скоростей; $p_{ж} = (5\dots15)10^4$ – давление на выходе из насоса, Па; $\eta_k = 0,6\dots0,7$ – гидравлический КПД.

При построении профиля лопатки крыльчатки принимают угол $\alpha_2 = 8\dots12^\circ$, а угол $\beta_2 = 12\dots50^\circ$. С увеличением β_2 растет напор, создаваемый насосом, поэтому иногда этот угол берут равным 90° (радиальные лопатки). Однако увеличение β_2 приводит к уменьшению КПД насоса.

Радиус крыльчатки на выходе, м :

$$r_2 = 30u_2 / (\pi n_{в.н}) = u_2 / \omega_{ж.н},$$

где $n_{в.н}$ – частота вращения крыльчатки, *об/мин*; $\omega_{ж.н}$ – угловая скорость крыльчатки жидкостного насоса, *1/с* Окружная скорость u_1 (*м/с*) определяется из равенства $u_1/r_1 = u_2/r_2$, откуда:

$$u_1 = u_2 r_1 / r_2.$$

Если угол α_1 между скоростями c_1 и u_1 равен 90° , то угол β_1 находится из соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = c_1 / u_1.$$

Определение конструктивных размеров жидкостного насоса

Ширина лопатки на входе b_1 и на выходе b_2 определяется из выражений:

$$b_1 = \frac{G_{ж.п}}{(2\pi r_1 - z\delta_1 / \sin \beta_1) c_1}, \text{ и}$$

$$b_2 = \frac{G_{ж.п}}{(2\pi r_2 - z\delta_2 / \sin \beta_2) c_r},$$

где $z = 3 \dots 8$ – число лопаток крыльчатки; δ_1 и δ_2 – толщина лопатки у входа и выхода, *м*; c_r – радиальная скорость потока, *м/с*:

$$c_r = p_{ж} \operatorname{tg} \alpha_2 / (\eta_{ж} \rho_{ж} u_2).$$

Ширина лопаток на входе для крыльчаток насоса изменяется в пределах $b_1 = 0.010 \dots 0.035$ *м*, а на выходе $b_2 = 0.004 \dots 0.025$ *м*. Толщины: $\delta_1 = 0.003 \dots 0.005$ *м* и $\delta_2 = 0.002 \dots 0.003$ *м*.

Мощность, потребляемая жидкостным насосом

Определяется по формуле, *кВт*:

$$N_{в.н.} = \frac{G_{ж.п} p_{ж}}{1000 \eta_{м} \rho_{ж}},$$

где $\eta_{м} = 0,7 \dots 0,9$ – механический КПД насоса; $p_{ж} = 120000$ *Па*.

Величина $N_{в.н.}$ составляет обычно $0,5 \dots 1,0\%$ от номинальной мощности двигателя.

• Этап 4. Вентилятор и воздушный тракт

Окружная скорость на периферии лопасти вентилятора (m/c).

$$U_n = (\pi / 60) D_B i_B n_B,$$

где D_B - диаметр вентилятора (выбирается в соответствии с ГОСТом и размерами радиатора: H и B), диаметр должен быть меньше или равен наименьшему из параметров высоты или ширины радиатора:

i_B - передаточное отношение привода вентилятора коленчатого вала:

$i_B = n_B / n$. здесь n частота коленчатого вала двигателя.

n_B - частота вращения вентилятора.

Напор, развиваемый вентилятором, ($Па$).

$$H_{BB} = U_B / \varphi^2 \rho_B,$$

где φ - коэффициент формы и угла установки лопастей вентилятора (см. приложение в [4]);

ρ_B - плотность воздуха перед фронтом радиатора.

Скорость воздуха перед фронтом радиатора за счет работы вентилятора (m/c).

Аэродинамика потери в радиаторе, ($Па$)

$$H_{ep} = \xi_p \rho_B (\omega'_B)^2 / 2,$$

где ξ_p - коэффициент аэродинамического сопротивления радиатора (см. приложение в [4]).

Для трубчато-пластинчатого радиатора

$$\xi_p = A_{cn} [\varphi l / \beta] Re_B^{B_{cn}} (l / d_{эKB}),$$

где Re_B - критерий Ренольдса, определяющий характер вынужденного течения воздуха:

$$Re_B = d_{эKB} w'_B / \nu_B.$$

Здесь $d_{эKB}$ - эквивалентный диаметр воздушного канала радиатора, m ;

w'_B - средняя скорость воздуха, обеспечиваемая работой вентилятора, m/c

ν_B - кинематическая вязкость воздуха, m^2/c (см. табл. Б5).

Коэффициент A_{cn} , B_{cn} . Определяемые расположением трубок радиатора (коридорное или шахматное), определяются по ГОСТу (см. приложение в [4]);

l - глубина радиатора, м.

Для трубчато-ленточного радиатора при $h=3..6$

$$\varphi_p = A_{cn} \left[hl(S_{\phi p} - c) \right]^B \operatorname{Re}_e^{B_{cn}} (l / d_{\text{экв}}),$$

Где A_{cn} , B_{cn} , C_{cn} - коэффициенты, определяемые типом охлаждающей ленты, имеющей пирамидальный выступы или отогнутые просечки (см. [1]).

Аэродинамическое сопротивление сети всего воздушного тракта системы охлаждения определяется по формуле:

$$H_{\text{вс}} = K_c H_{\text{вр}} = K_c \varphi_p \rho_B (\omega'_e)^2 / 2,$$

где K_c - отношение коэффициентов аэродинамического сопротивления сети и радиатора (см. [1, 4]).

Напор $H_{\text{вр}}$, развиваемый вентилятором должен быть равен аэродинамическому сопротивлению сети $H_{\text{вс}}$, (Па). Из данного равенства определяется скорость воздуха (м/с).

Объемная подача вентилятора (м³/с) определяется по формуле:

$$V_e = \omega'_e F_{\phi p},$$

Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора (кВт).

$$N_e = V_e H_{\text{вс}} \cdot 10^{-3} / \eta_e,$$

где η_e - КПД вентилятора, определяемый его типом (литой или клепаный) и расходом воздуха (см. приложение в [4]).

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 1) Запустить программу на выполнение (см. приложение В).
- 2) С помощью управляемого поля «меню» вызвать на экран основное меню.
- 3) Войти в режим «**Базовый вариант**».
- 4) Выбрать двигатель, для которого производится расчет.
- 5) Указать расчетный режим.
- 6) Выйти в основное меню и запустить режим «**Вариантный счет**».
- 7) Произвести ввод исходных данных из задания на выполнение лабораторной работы.
- 8) Просмотреть полученные результаты и записать вариант расчета в протокол с помощью управляющего поля **запись**.
- 9) Выйти в основное меню и запустить режим «**Диаграмма**» или «**Протокол**».
- 10) Проанализировать полученные зависимости.
- 11) Если результаты расчетов удовлетворительны, то вывести таблицу с исходными и результатами расчетов на печатающее устройство, используя управляющее поле **печать**.
- 12) Закончить выполнение лабораторной работы, «нажав» на поле **выход**.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Протокол расчетной части (распечатка).
- 2) Диаграмма расчетная (распечатка).
- 3) Выводы по работе.

Протокол и расчетная диаграмма (распечатки) предъявляются преподавателю для обсуждения результатов расчетов при сдаче лабораторной работы.

Выводы или заключение по полученным результатам расчета выполняются студентом в письменном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн. 2 Динамика и конструирование [Текст] / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. – М.:Высш.шк., 1995. – 319 с.
2. Автомобильные теплообменники систем охлаждения и отопления. Общие технические условия [Текст] : РД 37.001.645-98: утв. приказом НАМИ и введ. в действие 25.03.1998. – М.: НАМИ, 1998 – 15 с.
3. Колчин, А.И., Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. пособие / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высшая школа, 2002. – 400 с.
4. Толстоногов, А.П. Системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания [Текст] : учеб. пособие / А.П. Толстоногов, И.В. Коломин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 168 с. : ил.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Табл. А1. Варианты заданий

№ вар	Цикл Двиг.	n, об/мин	N _с , кВт	V _а Км/ч	g кг/кВт*ч	n, об/мин	Охл жидк	Назначение	Модель двигателя(тип)
1	Дизель	4600	44,0	0	0,23	2000	Л-40	Стац	ВАЗ-342
2	Отго	5600	47,1	0	0,25	2400	Л-40	Стац	ВАЗ-2101
3	Дизель	4800	40,0	0	0,24	2100	Л-40	Стац	ВАЗ-341М ₃
4	Отго	5400	54,0	0	0,29	2300	А-40	Стац	ВАЗ-2101М ₁
5	Дизель	3250	25,0	71,0	0,30	1600	А-65	Груз	ВАЗ-341М ₂
6	Отго	5200	50,0	75,0	0,30	2200	А-65	Груз	ВАЗ-2101М ₂
7	Дизель	3500	27,5	0	0,2	1700	Вода	Судов	ВАЗ-341М ₁
8	Отто	5600	50,7	80,0	0,23	2400	А-40	Легкое	ВАЗ-2111
9	Дизель	3000	23,5	60,0	0,22	1500	Вода	Сельсх	ВАЗ-2103М ₃
10	Отго	5400	57,5	80,0	0,31	2300	40	Легков	ВАЗ-21011М ₁
11	Дизель	1800	14,7	0	0,26	2200	Вода	Стац	Д-20
12	Отго	5200	53,0	80,0	0,25	2200	65	Легков	ВАЗ-21011М ₂
13	Дизель	1600	29,4	60,0	0,22	1000	А-40	Груз	Д-37М
14	Отго	5600	56,5	60,0	0,24	2400	65	Груз	ВАЗ-2103
15	Дизель	1600	36,8	60,0	0,26	1600	65	Груз	Д-50
16	Отто	5400	65,0	60,0	0,30	2300	40	Груз	ВАЗ-2103М ₁
17	Дизель	1750	66,0	40,0	0,25	1100	40	Сельсх	А-41
18	Отто	5200	60,0	75,0	0,20	2200	А-40	Легков	ВАЗ-2103М ₂
19	Дизель	2100	132,4	45,0	0,25	1050	А-40	Груз	ЯМЗ-236
20	Отго	5200	58,7	75,0	0,30	2200	40	Легков	ВАЗ-2106
21	Отто	5660	67,5	80,0	0,22	2500	65	Легков	ВАЗ-2106М ₁
22	Дизель	1700	161,8	50,0	0,26	1000	Л-40	Груз	ЯМЗ-238НБ
23	Отто	5400	62,5	70,0	0,20	2300	А-60	Легков	ВАЗ-2106М ₂
24	Отто	5600	46,8	75,0	0,25	2400	Л -60	Легков	ВАЗ-2108
25	Отто	5200	58,0	80,0	0,23	2200	А-40	Легков	ВАЗ-21213
26	Отто	5600	26,5	80,0	0,31	2400	А-40	Легков	ВАЗ-1113-ОКА

Примечание. Для всех вариантов принять:

- температуру окружающей среды $t_0 = 40^\circ \text{C}$;
- давление окружающей среды $P_0 = 101325 \text{Па}$;
- подогрев воздуха $\Delta t_{np} = 0$;
- максимальное количество тепла, отводимого в систему охлаждения $Q_{ж}$, из теплового расчета двигателя выполненной ранее курсовой работы или по удельной доле тепла, отводимой системой охлаждения в двигателе $q_{ж} \cong 0,28$ для бензиновых двигателей и $q_{ж} = 0,23$ для дизелей.

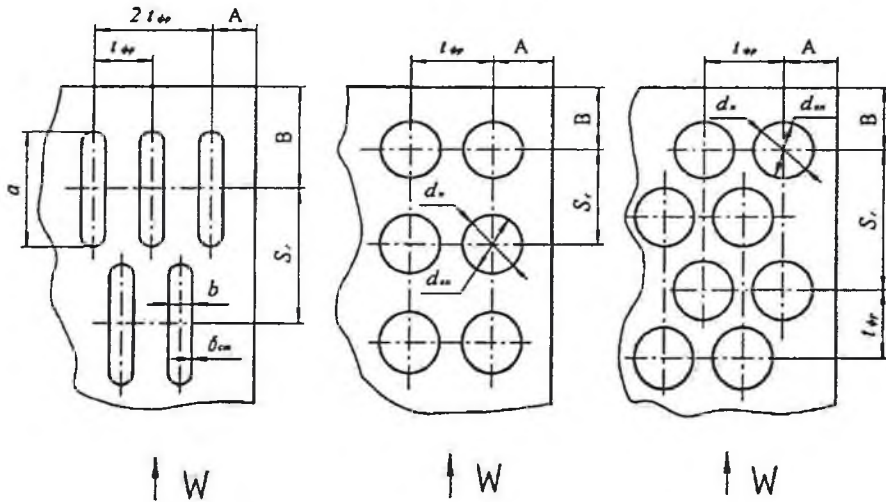


Рис. Б1. Конструктивные типы трубных решёток радиаторов

Геометрические характеристики решёток радиатора

Табл. Б1. Решетка тип I (шахматный)

Относительный шаг решётки	$\frac{t_{фр}}{S_z} = 3,5 \dots 4,5;$
Соотношение сторон трубки	$\frac{a}{b} = 5;$
Основные размеры трубок и геометрические соотношения	$a = 0,016 \dots 0,024 \text{ м};$ $b = 0,2 \cdot a; S_z = (1,35 \dots 1,45) \cdot a;$ $A = 0,8 \cdot S_z; B = 0,8 \cdot t_{фр};$ $\delta_{ст} = 0,00015 \dots 0,00025 \text{ м};$
Шаг пластин оребрения и толщина	$h_{реб} = 0,003 \dots 0,005 \text{ м};$ $\delta_{реб} = 0,0002 \dots 0,0003 \text{ м}$
Критериальные зависимости принимаются: для жидкостей $Nu_{ж} = 0,0316 Re_{ж}^{0,8}$ для $Re_{ж} > 5000;$ $Nu_{ж} = 0,0000219 Re_{ж}^{1,65}$ для $3400 < Re_{ж} < 5000;$ $Nu_{ж} = 0,00105 Re_{ж}^{1,18}$ для $Re_{ж} < 3400;$ для воздуха $Nu_{возд, d_s} = 0,317 \cdot Re_{возд, d_s}^{0,59}$.	

Табл. Б2. Решетка тип II (коридорный)

Шаг решётки:	$t_{фр} = S_z = (1,6 \dots 2,0) d_{нор}$
Диаметры трубки, толщина, соотношения	$d_{нн} = 6,0; 8,0; 10,0 \text{ мм};$ $\delta_{ст} = 0,00015 \dots 0,00025 \text{ м};$ $A = B = 0,8 t_{фр}$
Расчётные критериальные уравнения:	Для жидкости (см. таблицу 1) Для воздуха $Nu_{возд, d_z} = 0,317 \cdot Re_{возд, d_z}^{0,59}$

Табл. Б3. Решетка тип III (шахматный)

Шаг решётки, соотношения:	$t_{фр} = 0,5 S_z; S_z = (1,6 \dots 2,0) d_{нор};$ $A = B = 0,8 t_{фр}$
Диаметры трубки принимаются по типу II.	
Расчётные критериальные уравнения	Для воздуха $Nu_{возд, d_z} = 0,367 \cdot Re_{ж, d_z}^{0,698}$ Для жидкости (см. таблицу 1).

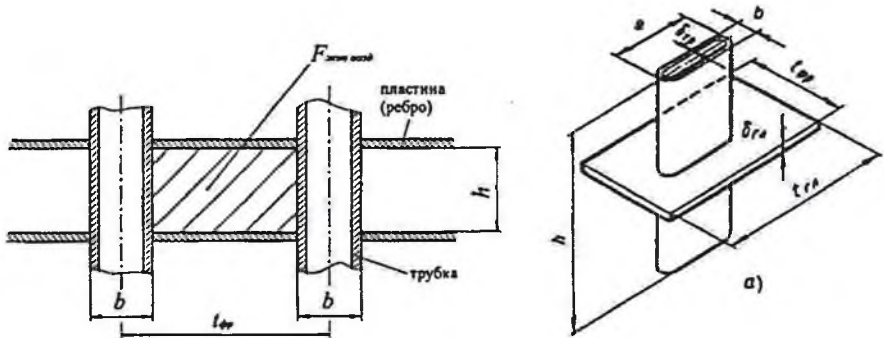


Рис. Б2. Схема ячейки решетки (остова) радиатора
а) трубчато-пластинчатых; б) трубчато-ленточных

Табл. Б4. Теплофизические свойства охлаждающих жидкостей (при $t_0=20^\circ\text{C}$ и нормальном давлении)

Тепло-носитель	T_k		$T_{зам}$		ρ , кг/м ³	c_p , Джс/кг·К	λ , Вт/м·К	$\nu \cdot 10^6$ м ² /с
	К	°С	К	°С				
Вода	373	+100	273	0,0	1000– 971*	4186– 4200*	0,599– 0,674*	1,00– 0,365*
Тосол А-40	350	+77	233	–40	1078– 1085	3850	0,310– 0,355*	5,413– 1,804*
Тосол А-65	388	+115	208	–65	1078– 1085	2950	0,320– 0,352*	5,600– 1,870*
Антифриз 40	340	+67	233	–40	1067,5– 1072,5	3850	0,297– 0,330*	5,311– 1,770*
Антифриз 65	380	+107	208	–65	1085– 1090	2650	0,300– 0,330*	5,400– 1,800*

Примечание. Звездочкой обозначены параметры жидкости при температуре более 55°C .

Табл. Б5. Физические параметры для сухого воздуха

t , °С	ρ , кг/м ³	c_p , кДжс / (кг · К)	$\lambda \cdot 10^{-2}$ Вт / (м · К)	$a \cdot 10^5$ м ² /с	$\mu \cdot 10^6$ (Н · с)/м	$\nu \cdot 10^6$ м ² /с	Pr
0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,97	2,286	18,64	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,97	2,860	20,60	20,02	0,694
80	1,000	1,009	2,047	3,019	21,10	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,128	3,189	21,50	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,210	3,364	21,90	23,13	0,688

Табл. Б6. Теплофизические свойства материалов, используемых для изготовления охлаждающих трубок и пластин радиаторов

Материал	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
Алюминиевые сплавы			
АД1	2710	226	0,92
Амц	2730	187	0,92
Амг	2670	125	0,92
Медь МЗ	8930	380	0,38
Латунь			
Л96	8850	244	0,38
Л90	8800	125	0,38
Л62	8500	120	0,375
Сталь	7850	70	0,765

Табл. Б7. Значения низшей теплотворной способности топлив H_u и коэффициента избытка воздуха α

Топливо	Бензин	Дизельное	Природный газ	Пропан	Бутан
H_u , МДж/кг	44,0	42,5	35,0	85,5	112,0
α	0,83-0,86	1,4-1,7	до 2-х	до 2-х	до 2-х

Величина химической неполноты сгорания $\Delta H_u = 10\,000 \text{ Дж}/\text{кг}$

Организация работы при выполнении вычислительного эксперимента по системе охлаждения двигателя.

- Описание основного меню.

Содержание основного меню приведено при описании лабораторных работ по теории ДВС.

- Основные режимы работы и их управляющие поля.

Режим «Справка» позволяет экспериментатору вывести на экран необходимую справочную информацию. В центре экрана выводится меню выбора разделов справочной информации.

Начальным кадром режима «Базовый вариант» является таблица, содержащая конструктивные и эксплуатационные параметры двигателей (рис. В1).

Выбор двигателя производят с помощью управляющих полей, расположенных в таблице в колонке «Наименование двигателя»

Меню		Выбор базового варианта							Выход
Объект исследования									
существующий ДВС			проектируемый ДВС						
Наименование двигателя	тип	i_c	S, мм	D, мм	ϵ	N_e , кВт	n_n , min^{-1}	H_u , МДж	
ЯМЗ-238	Д	8	140.0	130.0	16.5	175	2100	42.5	
ХамАЗ-740	Д	8	120.0	120.0	17.0	154	2600	42.5	
ВАЗ-2101	И	4	66.0	76.0	8.8	44	5600	44.0	
ВАЗ-2108	И	4	71.0	82.0	9.6	58	5800	44.0	
ЗИЛ-130	И	8	130.0	95.0	6.5	110	3200	44.0	
Примечание: Д-дизельный двигатель, И-двигатель с зажиганием от искры									

Рис. В1. Расположение информации на экране при выборе двигателя

После выбора двигателя выполняются расчет теплового баланса по его внешней скоростной характеристике, результаты которого выводятся во второй кадр (рис. В2). В левой части экрана расположена таблица с параметрами внешней скоростной характеристики и результатами расчета теплового баланса. Справа находится диаграмма, на которую выводятся графические зависимости характеристики.

Выбор расчетного режима производят с помощью управляющих полей « и ». Поле **возврат** служит для перехода к предыдущему кадру выбора двигателя.

В режиме «**Вариантный счет**» производят ввод данных для проведения эксперимента в соответствии с заданием по лабораторной работе, а также сравнение результатов текущего расчета с выполненными ранее расчетами.

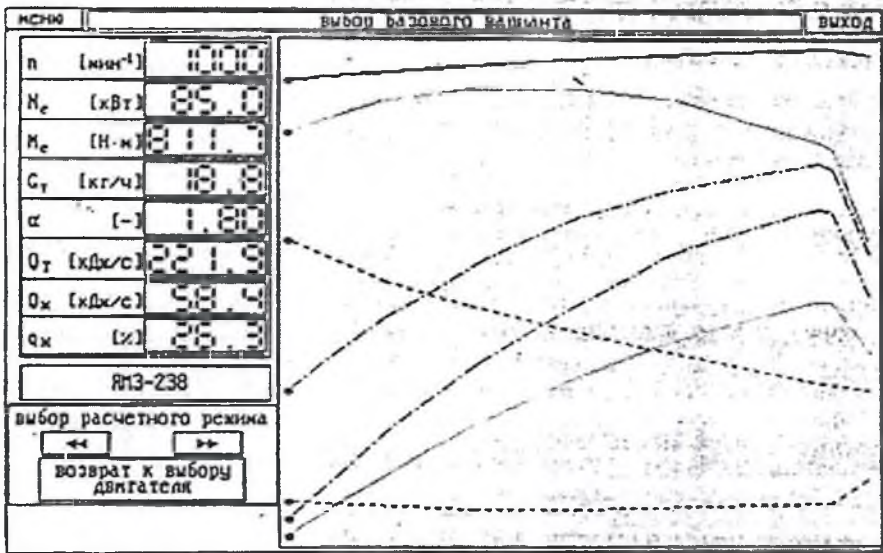


Рис. В2. Расположение информации на экране при выборе расчетной точки

В режиме реализована поэтапная работа в соответствии с алгоритмом проектирования. Каждый этап имеет типовую структуру кадра (рис. В3).

В левой части кадра имеется таблица параметров, с помощью которой можно изменять значения исходных данных текущего варианта расчета. В нее же выводятся значения результатов расчета. Строки таблицы, содержащие их, выделены цветом и не имеют управляющих полей уменьшения и увеличения значения. Полное описание таблицы приведено в п.2.2.1 [1].

В нижней части кадра (под таблицей параметров) расположено дополнительное окно. В него выводится полное наименование параметра из строки, на которой находится курсор-стрелка. Рядом с этим окном (справа) имеется поле, в котором записаны предельные значения для данного параметра.

В правой части экрана расположено окно, в котором находится поясняющий рисунок к текущему параметру. Ниже имеется поле, куда помещается формула, по которой производится расчет текущего параметра или в которой является исходными данными.

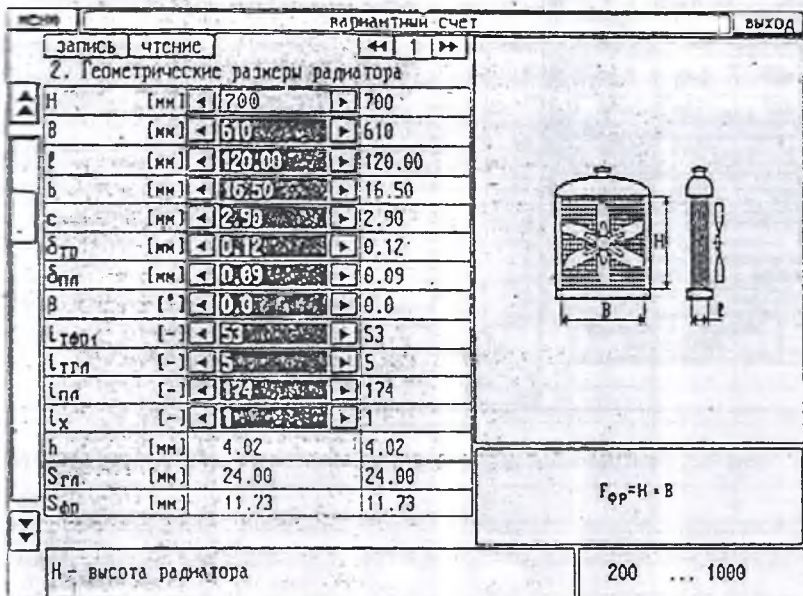


Рис. В3. Расположение информации на экране при работе в режиме «Вариантный расчет»

Назначение полей запись и чтение приведено в описании режима «Вариантный счет» лабораторной работы «Оценка надежности элементов газового стыка двигателя».

После запуска режима «Протокол» на экран выводятся исходные данные и результаты расчетов в виде табличного протокола. Функции управляющих полей этого режима описаны в п.2.2.1[1]. В режиме «Диаграмма» экспериментатор может анализировать полученные результаты расчета в виде графических зависимостей. Схема размещения информации приведена на рис. В4.

В левой части экрана расположена таблица выбора параметров, которые выводятся на диаграмму, находящуюся в правой части.

Аргументом на диаграмме может быть номер варианта или один из параметров. Для смены аргумента диаграммы внизу имеется соответствующее поле. Если установлена надпись **по вариантам**, то вывод зависимости на диаграмму осуществляется в порядке возрастания номер варианта.

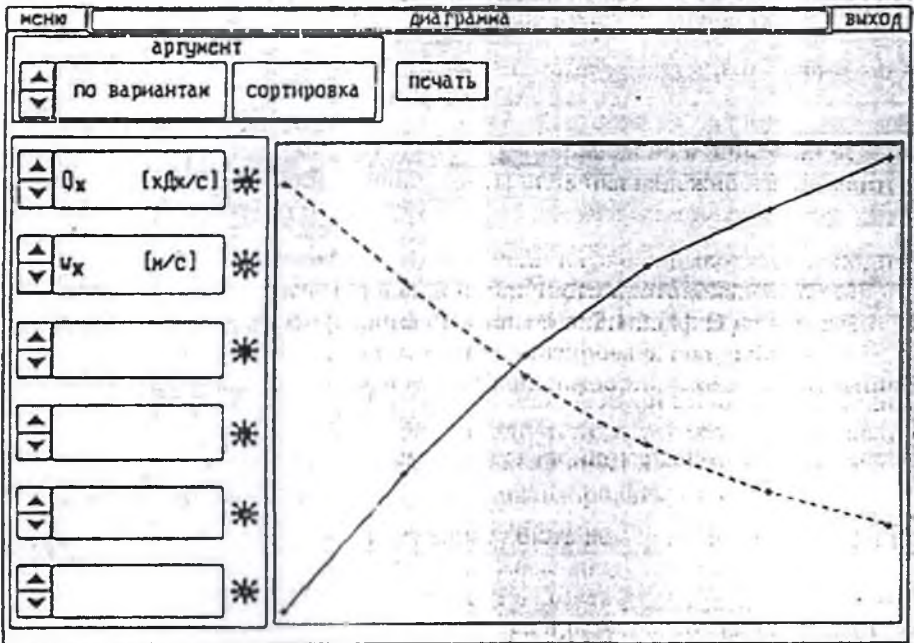


Рис. В4. Расположение информации на экране при работе в режиме «Настройка»

Выбор параметров, выводимых на диаграмму, осуществляется управляющими полями \wedge и \vee . Рядом с каждой строкой таблицы выбора параметров указаны цвет и тип линии, которыми данный параметр изображается на диаграмме.

Для того чтобы удалить с диаграммы какую-либо зависимость, в соответствующей строке устанавливается пустое поле.

Если в качестве аргумента установлен какой-либо параметр, то имеется возможность вывода зависимостей в порядке его возрастания. Для этого необходимо «нажать» на управляющее поле **сортировка**.

В режиме «**Настройка**» производства изменение параметров, управляющих выводом информации на различные носители. Описание этого режима приведено в п.2.2.1 [1].

Учебное издание

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО СИСТЕМАМ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Методические указания

Составители: *Коломин Илья Викторович*
Толстоногов Арлен Петрович

Печ. л. 2,0

Самарский ун-т
443086, Самара, Московское шоссе, 34.