

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

**Контроль ГТД по термогазодинамическим  
параметрам, зарегистрированным с помощью МСРН**

Методические указания к лабораторным работам

САМАРА  
2012

Составители:

**Кочуров Валерий Алексеевич**  
**Киселев Юрий Витальевич,**  
**Киселев Денис Юрьевич,**

Рецензент: д-т. техн. наук, проф. В.Н. Матвеев

**Контроль ГТД по термогазодинамическим параметрам, зарегистрированным с помощью МСРП [Текст]:** методические указания к лабораторным работам/ Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. В.А. Кочуров, Ю. В. Киселев, Д. Ю. Киселев, - Самара, 2012. – 14 с.

Целью работы является освоение студентами метода контроля технического состояния ГТД на основе анализа графиков термогазодинамических параметров, полученных при расшифровке записей МСРП. Данные МСРП имитируются с помощью специальной компьютерной программы и анализируются студентом.

Предназначены для студентов специальностей и направлений подготовки «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» и «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» дневной формы обучения.

Подготовлены на кафедре эксплуатации авиационной техники

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»

## СОДЕРЖАНИЕ

|  | Стр. |
|--|------|
| 1. Введение                                  | 4    |
| 2. Опробование двигателя                     | 5    |
| 3. Обработка результатов измерений           | 8    |
| 4. Работа с программой обработки записи МСРП | 10   |
| <br>   |      |
| Список использованных источников             | 12   |

## 1. Введение

В настоящее время самолётные системы регистрации параметров (такие, как МСРП и БАСК) позволяют записывать и при необходимости воспроизводить большое количество параметров систем бортовых систем ВС. Эти данные с успехом используются для диагностирования ГТД ВС в процессе эксплуатации. Снимаемые данные (такие как температура газов за турбиной, частоты вращения роторов двигателя, и другие) приводятся к стандартным условиям и сравниваются с требованиями производителя, после чего выносится заключение о работоспособности двигателя.

В качестве источника данных лабораторной работе используется программа, имитирующая работу МСРП. В программу загружается файл с исходными данными, соответствующими варианту задания, выданному студенту. Анализ производится последовательно по всем режимам работы двигателя в процессе его запуска и опробования.

## 1. Опробование двигателя

Проверку работы двигателя проводить в соответствии с графиком, показанным на рисунке 1, результаты измерений занести в

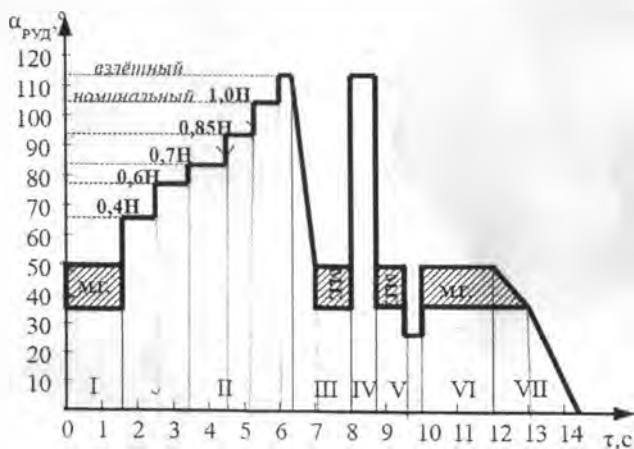


Рисунок 1 - График прогрева и проверки работы двигателя протокол испытания.

1. После запуска прогреть двигатель на режиме малого газа в течение 60... 90 с. Частота вращения ротора ВД должна соответствовать значениям заштрихованной области графической зависимости (рисунок 2).

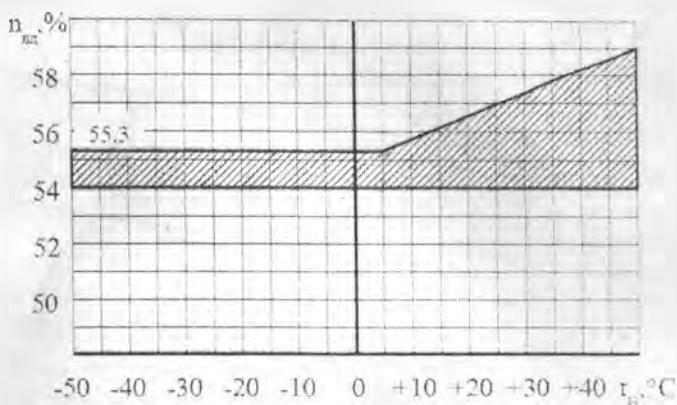


Рисунок 2 - Зависимость частоты вращения ротора ВД на режиме малого газа от температуры наружного воздуха

- Увеличить режим работы двигателя до 0,4 номинала перемещения рычага управления двигателем ( $\tau_{руД}=68\pm 2^\circ$ ). В процессе увеличения режима проверить частоту вращения ротора низкого давления, при которой происходит перестройка регулируемого направляющего аппарата (РНА) с угла запуска на рабочий угол. При перестройке РНА гаснет световое табло «РНА закрыт» и происходит увеличение частоты вращения ротора низкого давления примерно на 6...8 % (по ленте расшифровки записи МСРП момент перестройки определить по началу изменения  $n_{вд}$ ). В момент перестройки РНА замерить частоту вращения и величину прироста частоты вращения ротора низкого давления. Частота перестройки РНА зависит от температуры наружного воздуха и должна находиться в пределах допуска на регулировку РНА (рисунок 3). **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Не допускается работа двигателя на частоте вращения ротора низкого давления свыше 46%, если не произойдет перестройка РНА.

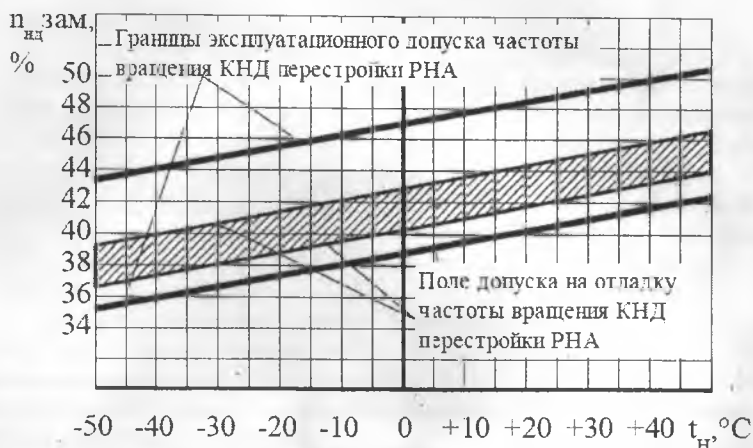


Рисунок 3 - Зависимость замеренной частоты вращения ротора низкого давления перестройки РНА от температуры наружного воздуха

3. На режиме работы двигателя 0,4 номинала измерить значения параметров частоту вращения ротора высокого давления  $n_{\text{ВД}}$ ; частоту вращения ротора низкого давления  $n_{\text{ВД}}$ ; температуру газов за турбиной  $t_{\text{ТНД}}$ ; давление топлива  $P_t$ , давление и температуру масла в двигателе  $P_M$  и  $t_M$ ; часовой расход топлива  $G_T$ .
4. Медленным увеличением режима работы двигателя проверить частоту вращения ротора ВД, при которой происходит закрытие клапанов перепуска воздуха. В момент закрытия клапанов перепуска воздуха гаснет сигнальное табло «Клапана перепуска» и происходит понижение температуры газов на  $10...20^\circ\text{C}$ . При погасании светового табло «Клапана перепуска» измерить частоту вращения ротора высокого давления и понижение температуры газов за турбиной (по ленте расшифровки записи МСРП момент перестройки определить по началу изменения  $t_{\text{ТНД}}$ . Частота вращения ротора высокого давления при закрытии клапанов перепуска воздуха должна соответствовать  $75,5 \pm 1,5\%$ .  
**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Не допускается работа двигателя с открытыми клапанами на частотах вращения ротора высокого давления свыше  $81\%$ .
5. На режиме работы двигателя 0,6 номинала ( $\alpha_{\text{руд}} = 80 \pm 2^\circ$ ) измерить значения параметров, контролирующих работу двигателя (см.

пункт 3).

6. Проверить работу двигателя на режиме 0,7 номинала ( $\alpha_{\text{РУД}} = 86 \pm 2^\circ$ ) и замерить значения параметров, контролирующих работу двигателя.  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Выход на режим 0,7 номинала и выше разрешается при температуре масла более  $40^\circ\text{C}$ .
7. Проверить работу двигателя на режиме 0,85 номинала ( $\alpha_{\text{РУД}} = 96 \pm 2^\circ$ ) и замерить значения параметров, контролирующих работу двигателя
8. Проверить работу двигателя на номинальном режиме, установив РУД в положение  $104 \pm 1^\circ$ . В течение 10...20 с замерить параметры, контролирующие работу двигателей.
9. Переменением РУД вывести двигатель на взлетный режим и в течение 10...20 с. замерять значения параметров двигателя.

**ВНИМАНИЕ.** При расшифровке записи данных МСРП зафиксировать на каждом режиме по три значения каждого параметра и в дальнейшем при анализе использовать их усредненное значение.

Результаты измерений занести в протокол испытания в графу «измеренные» («изм») таблицы 1.

Таблица 1. Протокол испытания ГТД

| Режим  | $\alpha_{\text{РУД}}$ | $n_{\text{вд}} \%$ |    | $n_{\text{вд}} \%$ |    | $T_{\text{ГТД}} \text{ (K)}$ |    | $G_{\text{вд}} \text{ кг/час}$                            |    | $P_{\text{вд}} \text{ кг/см}^2$ |    | $P_{\text{вд}} \text{ кг/см}^2$ | $t_{\text{вд}} \text{ (C)}$ |
|--|-----------------------|--------------------|----|--------------------|----|------------------------------|----|---|----|---------------------------------|----|---------------------------------|-----------------------------|
|  |                       | изм                | пр | изм'               | пр | изм                          | пр | изм   | пр | изм                             | пр |                                 |                             |
| м.г.   | 55                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
|  | 50                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| 0,4Н   | 66                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| 0,6Н   | 78                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| 0,7Н   | 84                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| 0,85Н  | 94                    |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| 1,0Н   | 104                   |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| Взлет  | 113                   |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| Частота вращения $n_{\text{вд}}$ перестройки РНА, %                            |                       |                    |    |                    |    |                              |    | Изменение $\Delta n_{\text{вд}} \%$                       |    |                                 |    |                                 |                             |
| Частота вращения $n_{\text{вд}}$ закрытия клапанов, %                          |                       |                    |    |                    |    |                              |    | Изменение $\Delta t_{\text{ГТД}} \text{ } ^\circ\text{C}$ |    |                                 |    |                                 |                             |
| Температура воздуха, К $T_{\text{в}} = t_{\text{в}}(^{\circ}\text{C}) + 273 =$ |                       |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |
| Давление воздуха, мм.рт.ст. $P_{\text{в}} =$                                   |                       |                    |    |                    |    |                              |    |   |    |                                 |    |                                 |                             |

### 3. Обработка результатов измерений

Произвести приведение параметров к САУ по следующим формулам:

$$n_{np} = n_{изм} \sqrt{\frac{288}{T_h}}; \quad T_{np} = T_{изм} \frac{288}{T_h}; \quad Gm_{np} = Gm_{изм} \frac{760}{P_h} \sqrt{\frac{288}{T_h}};$$

$$Pm_{np} = Pm_{изм} \frac{760}{P_h} \sqrt{\frac{288}{T_h}}, \text{ где } P_h - \text{давление (мм.рт.ст.) и } T_h - \text{температура (К)}$$

окружающей среды.

Занести приведенные значения параметров в протокол испытания (таблица 1) в графу «приведенные» («пр»).

По данным, представленным в таблицах 2 и 3, построить дроссельные характеристики двигателя (рис. 4) по частоте вращения ротора низкого давления, нанести на график характеристики, построенные по результатам испытаний («приведенные», таблица 1). Для вариантов заданий №1 и 2 см. таблицу 2, для варианта 3 — таблицу 3.

Таблица 2. Значения параметров двигателя с реверсом тяги по ТТ

| Режим | $n_{изм}, \%$ | $n_{изм}, \%$ | $T_{изм}, K$ | $G_{ТОП}, кг/час$ | $P_{ТОП}, кг/см^2$ |
|-------|---------------|---------------|--------------|-------------------|--------------------|
| 0,4Н  | 80            | 67            | 640          | 2100              | <10                |
| 0,6Н  | 85            | 72            | 670          | 2800              | <15                |
| 0,7Н  | 87            | 77            | 685          | 3200              | <20                |
| 0,85Н | 90            | 82            | 710          | 3900              | <25                |
| 1,0Н  | 92            | 87            | 740          | 4600              | <30                |
| Взлет | 94            | 92            | 760          | 5200              | <35                |

Таблица 3. Значения параметров двигателя с соплом по ТТ

| Режим | $n_{изм}, \%$ | $n_{изм}, \%$ | $T_{изм}, K$ | $G_{ТОП}, кг/час$ | $P_{ТОП}, кг/см^2$ |
|-------|---------------|---------------|--------------|-------------------|--------------------|
| 0,4Н  | 80            | 69            | 680          | 2600              | <10                |
| 0,6Н  | 85            | 73            | 710          | 3000              | <15                |
| 0,7Н  | 87            | 80            | 725          | 3600              | <20                |
| 0,85Н | 90            | 82            | 750          | 4100              | <25                |
| 1,0Н  | 92            | 88            | 770          | 4800              | <30                |
| Взлет | 94            | 93            | 790          | 5300              | <35                |



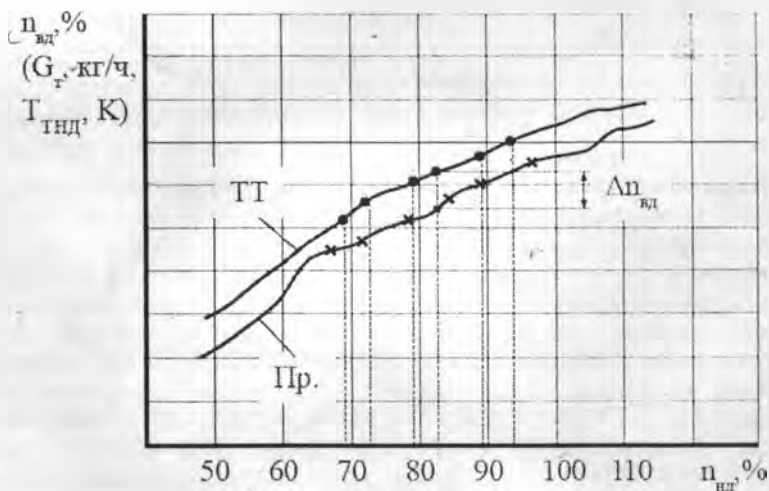


Рисунок 4 - Дроссельные характеристики двигателя

На основных режимах работы на частотах вращения  $n_{вд}$ , соответствующих ТТ, по построенным зависимостям определить расчетные значения параметров, найти их относительное отклонение от параметров по ТТ и заполнить таблицу 4.

Таблица 4 — Отклонения параметров двигателя

| Режим  | $n_{вд}, \%$ |    |               | $\Gamma_{тнд}, К$ |    |               | $G_{Том}, кг/час$ |    |               | $P_{гол}, кг/см^2$ |    |               |
|--------|--------------|----|---------------|-------------------|----|---------------|-------------------|----|---------------|--------------------|----|---------------|
|        | расч         | ТТ | $\Delta$<br>% | расч              | ТТ | $\Delta$<br>% | расч              | ТТ | $\Delta$<br>% | расч               | ТТ | $\Delta$<br>% |
| 0,4Н   |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |
| 0,6Н   |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |
| 0,7Н   |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |
| 0,85 Н |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |
| 1,0Н   |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |
| Взлет  |              |    |               |                   |    |               |                   |    |               |                    |    |               |

Относительное отклонение ( $\Delta_{п.р}$ ) параметров (ПАР) определяется по формуле

$$\Delta_{п.р} = \frac{ПАР_{расч} - ПАР_{ТТ}}{ПАР_{ТТ}} \cdot 100 \%$$

Двигатель признается неработоспособным в случае:

- если величина  $\Delta$  более 1,5% для  $n_{ВД}$  или 2,5% для  $T_{ТНД}$  и  $G_{ТОП}$ , если величина  $\Delta > 0$  для  $p_{ТОП}$ ;
- если температура масла на режимах превышает 105°C; если давление масла на режимах выше м.г. не удовлетворяет условию  $3,5 < p_M < 4$  кг/см<sup>2</sup>;
- если частота вращения  $n_{ТД}$  переключки РНА не укладывается в эксплуатационный допуск;
- если частота вращения  $n_{ВД}$  закрытия клапанов перепуска воздуха не укладывается в эксплуатационный допуск.

#### 4. Работа с программой обработки записи МСРП

На экран монитора выводятся значения параметров двигателя и их изменение по времени в виде графиков, считанные с магнитной ленты МСРП и преобразованные к виду, удобному для их анализа (Рис.5). На графики нанесена координатная сетка с шагом по оси абсцисс равным пяти секундам. Зеленая вертикальная линия, перемещаемая курсором, определяет текущую отметку времени с момента начала записи МСРП. Значения параметров на данную отметку времени показываются в правом поле экрана.

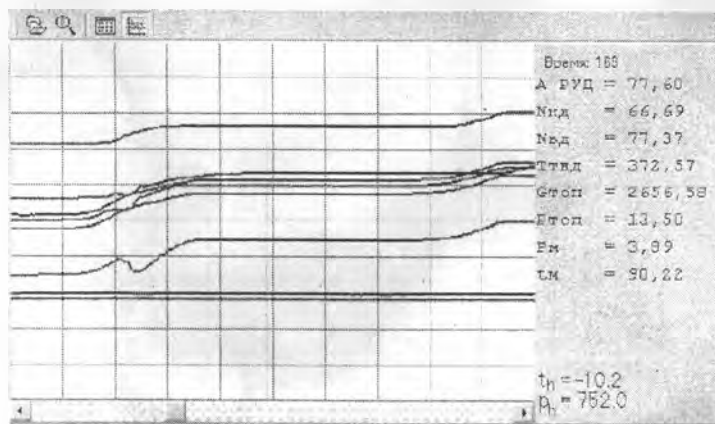


Рисунок 5 — Вид ленты расшифровки записи МСРП


Размерность параметров:

- $\alpha_{руд}$  (А РУД, угол установки рычага управления двигателем) - градус;
- $n_{нд}$ ,  $n_{вд}$  (частота вращения роторов низкого и высокого давления) - %;
- $T_{ТНД}$ , (температура за турбиной низкого давления) - °С;

- $G_{\text{ТОП}}$  (часовой расход топлива) - кг/час;
- $P_{\text{ТОП}}$  (давление топлива) — кг/см<sup>2</sup>;
- $p_{\text{М}}$  (давление масла) - кг/см<sup>2</sup>;
- $t_{\text{М}}$  (температура масла) - °С.

В нижнем части правого поля экрана выводятся параметры атмосферы - температура и давление воздуха в градусах Цельсия и в мм.рт.ст. соответственно. Наименование параметров на поле графиков не указаны, т.е. линии графика безымянны. При наведении курсора на любую линию графика она меняет цвет с черного на синий, меняется также и вид курсора. Щелчок по левой кнопке в этом положении приведет к выделению выбранной линии красным цветом. Одновременно с этим красным цветом будут выделены наименование и значение параметра, соответствующего выбранной линии в правом поле экрана. Такой же эффект достигается щелчком левой кнопки мыши на наименовании нужного параметра в правом поле экрана. Перемещение экрана по ленте МСРП производится с помощью полосы прокрутки (Scrollbar).

Щелчок правой кнопкой мыши на поле графиков оставляет фиксированную отметку в виде широкой зеленой полосы (Рис.6.). Можно поставить неограниченное количество таких фиксированных отметок. При

переходе в режим «Таблица» (пиктограмма  на панели инструментов) значения параметров, соответствующие фиксированным отметкам времени, будут представлены в табличном виде. Значения параметров в таблице будут представлены в порядке увеличения времени фиксированных отметок, независимо от последовательности выполнения отметок в режиме «График» (рис.7).

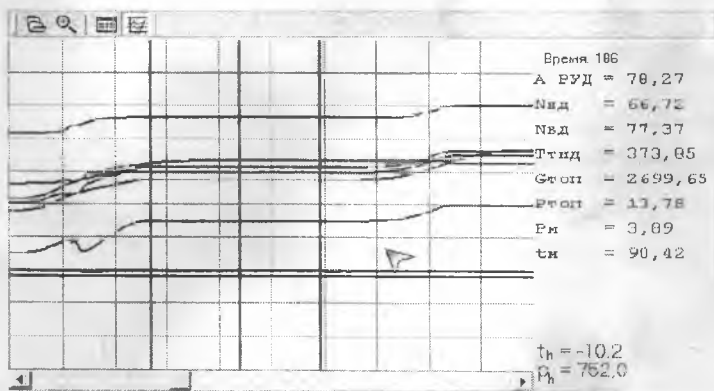

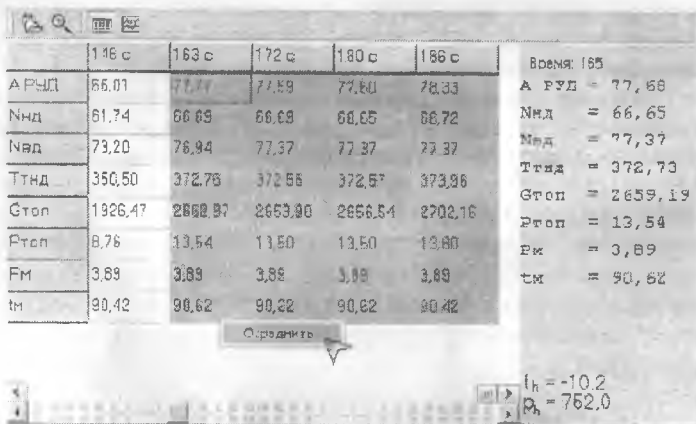


Рисунок 6 — Установка фиксированных отметок

Переход в режим «График» осуществляется путем щелчка мыши на пиктограмме  панели инструментов.

Снятие фиксированной отметки производится двойным щелчком на ней. Также можно перемещать фиксированную отметку, нажав и удерживая на ней левую кнопку мыши (рис. 6).

В режиме «Таблица» можно определить усредненные значения параметров по нескольким соседним столбцам. Для этого, удерживая левую кнопку мыши, выделить столбцы, значения параметров в которых подлежат усреднению (изменится цвет подложки столбцов). При щелчке правой кнопкой на выделенных столбцах появится всплывающее меню «осреднить». Щелчок в всплывающем меню на пункте «осреднить» выводит усредненные значения параметров в правом поле.



|       | 146 с   | 163 с   | 172 с   | 180 с   | 186 с   | Время: 185     |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| А РЧД | 66,01   | 71,77   | 71,59   | 77,60   | 78,33   | А РЧД = 77,66  |
| Ннд   | 61,74   | 66,69   | 66,68   | 60,65   | 66,72   | Ннд = 66,65    |
| Нвд   | 73,20   | 76,94   | 77,37   | 77,37   | 77,37   | Нвд = 77,37    |
| ТТнд  | 350,50  | 372,76  | 372,56  | 372,57  | 373,96  | ТТнд = 372,73  |
| Стол  | 1926,47 | 2660,97 | 2653,90 | 2656,54 | 2702,16 | Стол = 2659,19 |
| Ртол  | 8,76    | 13,54   | 13,50   | 13,50   | 13,80   | Ртол = 13,54   |
| Ем    | 3,89    | 3,89    | 3,88    | 3,89    | 3,89    | Ем = 3,89      |
| тн    | 90,42   | 90,62   | 90,22   | 90,62   | 90,42   | тн = 90,62     |

Осреднить

I<sub>н</sub> = -10,2  
P<sub>н</sub> = 762,0

Рисунок 7 – Режим «Таблица», усреднение параметров

## 5. Список использованных источников

1. Наладов А.П., Игонин Н.Н. Обработка и анализ полётной информации. Методические указания. Куйбышев: КуАИ, 1988. 30 с.

Учебное издание

Контроль ГТД по функциональным параметрам,  
зарегистрированным с помощью МСРП

Методические указания к лабораторной работе

Составители : Валерий Алексеевич Кочуров  
Юрий Витальевич Киселёв,  
Денис Юрьевич Киселев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)»  
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.