

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве методических
указаний к лабораторной
работе для студентов

УДК 629.7.063.6

Описаны конструкция, принцип работы и методики исследования характеристик автоматических устройств, контролирующих выработку топлива из баков летательного аппарата.

Указания рассчитаны на студентов специальности 1610, изучающих курс «Авиационные силовые установки».

Авторы-составители: И. И. Игошин, Б. А. Углов,
А. И. Трипутень

Рецензенты: О. Н. Скобелев, Е. М. Карпов

Авторы-составители: *Николай Николаевич Игошин,
Борис Алексеевич Углов,
Александр Иванович Трипутень*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ

Редактор Т. К. Крегжинина
Техн. редактор И. М. Калелев
Корректор Т. И. Пайкина

Сдано в набор 11.12.85 г. Подписано в печать 31.01.86 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 1,2. Уч.-изд. л. 0,9. Т. 500 экз.
Заказ 58. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с принципом измерения количества топлива, методикой исследования основных характеристик емкостных датчиков уровня, топливомера и автомата выравнивания количества топлива в симметричных топливных баках летательного аппарата (ЛА).

Выполнение данной работы позволит глубже освоить соответствующие разделы курса «Авиационные силовые установки» и получить практические навыки в исследовании элементов топливной измерительной системы ЛА.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить принцип работы емкостных датчиков уровня и автоматических устройств измерения и выравнивания количества топлива в симметричных топливных баках современного ЛА.
2. Изучить и практически освоить правила работы на экспериментальной установке.
3. Получить и проанализировать экспериментальную характеристику емкостного датчика уровня.
4. Оценить температурные погрешности емкостных датчиков уровня.
5. Получить тарировочную зависимость топливомера из комплекта АЦТ-6 (автомата центровки топлива).
6. Получить характеристику автомата выравнивания (комплект АЦТ-6).
7. Оформить отчет.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Емкостные датчики уровня нашли широкое применение в автоматических устройствах топливных и масляных систем ЛА, что в значительной степени объясняется простотой конструкции, высо-

кой надежностью, возможностью работать при больших давлениях и температурах, а также в агрессивных средах.

Совершенствование метрологии запаса и расходов топлива, повышения точности и достоверности определения истинного количества топлива на различных этапах полета и целый ряд других задач обусловлены тем, что топливо на ЛА является самой большой (40...70% от веса конструкции ЛА) переменной массой в полете. Поэтому вопросы устойчивости ЛА могут быть решены только при условии правильной продольной и поперечной центровки за счет четкого управления порядком расхода и перекачки больших масс топлива.

В настоящее время для измерения расхода и количества топлива на борту ЛА применяют два вида измерительных устройств: расходомеры и топливомеры, объединенные в единую топливную измерительную систему (ТИС).

ТИС выполняет следующие функции:

измерение количества топлива на борту ЛА;

измерение количества топлива, заправаемого на земле и до-заправаемого в полете;

измерение мгновенного и суммарного расхода топлива на всех режимах работы двигателя;

сигнализирует о достижении предельно допустимых значений уровней топлива в баках и уровня, соответствующего аэронавигационному запасу топлива;

сигнализирует о работе автоматических устройств и агрегатов топливной системы;

управляет порядком заправки топливных систем ЛА топливом;

управляет порядком выработки топлива по заданной программе и положением центра тяжести в поперечном и продольном направлениях;

выдает информацию в навигационную систему, комплекс управления дальностью полета и в регистрирующую бортовую аппаратуру автоматического контроля работоспособности отдельных блоков и всей ТИС.

УРАВНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ ТОПЛИВОМЕРА

Емкостный датчик для измерения количества топлива представляет собой цилиндрический (коаксиальный) или плоский конденсатор, помещенный в топливный бак. При заполнении межэлектродного пространства датчика топливом увеличивается электрическая емкость конденсатора C_x (поскольку диэлектрическая проницаемость углеводородов больше диэлектрической постоянной воз-

духа), которая складывается из емкости части датчика, заполненного топливом C_1 и емкости его воздушной части C_2 .

Для двухэлектродного цилиндрического датчика с длиной электродов h и диаметрами d_1 и d_2 (рис. 1)

$$C_x = C_1 + C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d_1}{d_2}} [X\epsilon_r + (h-X)\epsilon_v], \quad (1)$$

где X — высота уровня топлива;
 ϵ_0 — диэлектрическая постоянная;
 ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость топлива;
 ϵ_v — относительная диэлектрическая проницаемость воздуха.

Так как относительная диэлектрическая проницаемость воздуха $\epsilon_v \approx 1,00059 \approx 1$, можем записать

$$C_x = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d_1}{d_2}} [h + (\epsilon_r - 1)X], \quad (2)$$

или $C_x = C_0 + SX$. (3)

где C_0 — емкость «сухого» датчика

$$\left(C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d_1}{d_2}} h \right);$$

S — чувствительность датчика, характеризующаяся изменением емкости при изменении уровня топлива на

единицу длины $S = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d_1}{d_2}} (\epsilon_r - 1)$.

Чувствительность преобразования можно представить в виде

$$S = \frac{C_{\max} - C_0}{h}, \quad (4)$$

где C_{\max} — максимальная емкость заполненного топливом датчика.

Учитывая зависимость массы топлива m от его уровня в баке ($m = F_6 \rho_T X$), будем иметь

$$C_x = C_0 + \frac{S}{F_6 \rho_T} m, \quad (5)$$

т. е. линейную зависимость емкости конденсатора (датчика уровня) от массы топлива при постоянных значениях плотности топлива ρ_T и площади топлива бака F_6 .

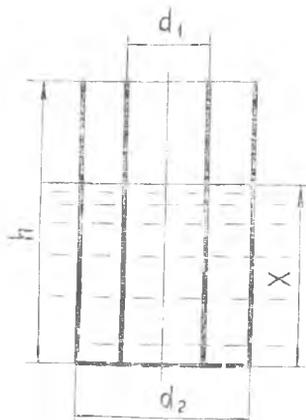


Рис. 1. Схема датчика с цилиндрическими электродами: h — высота датчика; d_2 — диаметр наружного электрода; d_1 — диаметр внутреннего электрода; X — уровень топлива

Для обеспечения линейной зависимости (5) в реальных топливных баках с переменной площадью F_0 по высоте бака датчики выполняют профилированными в соответствии с изменением площади бака путем изменения отношения d_2/d_1 по высоте удалением части поверхности электродов (рис. 2) или изменением одного из диаметров.

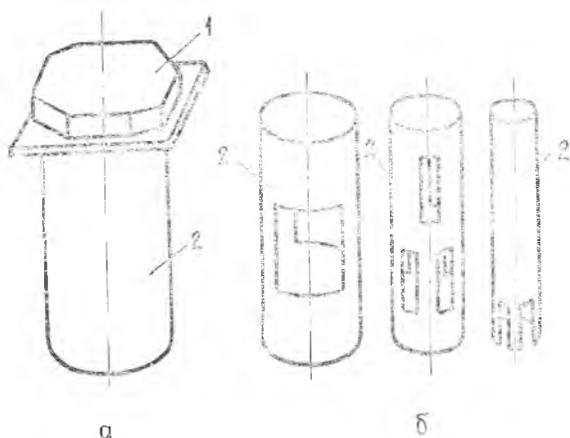


Рис. 2. Общий вид (а) и профилированные электроды цилиндрического датчика (б): 1 — головка с фланцем; 2 — электроды

Увеличение чувствительности датчика достигается параллельным соединением нескольких конденсаторов. Конструктивно такие датчики уровня выполняются в виде нескольких коаксиальных цилиндров, которые соединяются друг с другом через один (рис. 2 и 3).

Для предотвращения замыкания электродов через электропроводную жидкость (удельная электропроводность керосинов $1 \cdot 10^{-11} \dots 1 \cdot 10^{-15} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) их поверхности покрывают слоем диэлектрика (анодированная пленка для дюралевых электродов).

Уравнение преобразования датчика уровня с плоскими электродами (двухэлектродный) без учета слоя диэлектрика имеет вид

$$C_x = C_0 + SX, \quad (6)$$

где $C_0 = \frac{ah \epsilon_0}{\delta}$ — емкость «сухого» датчика;

$S = \frac{ab \epsilon_0}{\delta} (\epsilon_r - 1)$ — чувствительность преобразования;

a, b — собственно ширина и высота электрода;

δ — межэлектродный зазор.

Уравнение преобразования, как и в случае цилиндрических электродов, представляет линейную функцию, а чувствительность

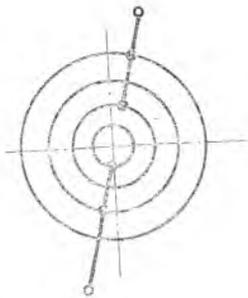


Рис. 3. Схема соединенных цилиндрических электродов в датчике с повышенной чувствительностью

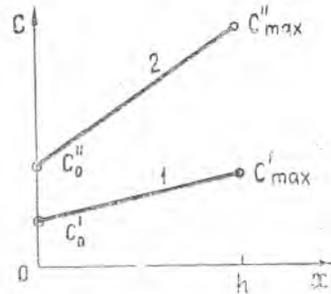


Рис. 4. Зависимости емкости датчиков от уровня топлива (по уравнениям преобразования): 1 — двухэлектродный и 2 — многоэлектродный датчики

определяется размерами (площадью) электродов и зазором между ними. Увеличение чувствительности достигается уменьшением зазора δ и увеличением числа электродов, соединенных параллельно (рис. 4).

ПОГРЕШНОСТИ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ

К основным погрешностям датчика уровня относятся:

температурные погрешности;

погрешности, обусловленные неточностью изготовления конструкции датчика.

Оценка погрешностей производится в абсолютных и относительных единицах измерения. В технической документации на датчик оговаривается величина приведенной погрешности, равной отношению абсолютной погрешности к нормирующему значению измеряемой величины. Для емкостного датчика в качестве нормирующего значения принимают максимальное значение электрической емкости заполненного топливом датчика. Тогда

$$\gamma = \frac{\Delta C}{C_{\max}} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где ΔC — изменение емкости при действии дестабилизирующего параметра.

Приведенную погрешность относят к единице величины дестабилизирующего фактора и определяют по уравнению

$$\gamma_{\Delta} = \frac{\Delta C_{\Delta}}{C_{\max} \Delta} \cdot 100 \%,$$

где Δ — величина дестабилизирующего параметра.

Величина температурной погрешности определяется как изменением геометрических размеров датчика, так и изменением диэлектрической проницаемости топлива.

Относительная температура погрешности γ_T при изменении температуры материала электродов датчика на один градус численно равна

$$\gamma_T = \frac{\Delta C_T}{C_{\max} \Delta t},$$

где ΔC_T — изменение емкости заполненного датчика при изменении температуры электродов на Δt (от t_0 до t);

C_{\max} — емкость заполненного датчика при $t = t_0$.

При изменении температуры электродов цилиндрического датчика изменяются их длина h и диаметры d_1 и d_2 . Однако относительная температурная погрешность γ_T обусловлена лишь изменением длины электродов, которая пропорциональна коэффициенту линейного расширения материала: $\gamma_T = \alpha$. Максимальная погрешность $\gamma_{T\max} = \alpha \Delta t$ для реальных конструкций и нормальных условий эксплуатации ($\Delta t = \pm 60^\circ\text{C}$) не превышает $0,26\%$ (α дюралюмина равен $0,22 \cdot 10^{-4}$).

Относительная температурная погрешность датчика уровня, обусловленная изменением ϵ_T , определяется выражением

$$\gamma_\epsilon = \frac{\Delta C_\epsilon}{C_{\max} \Delta t}. \quad (9)$$

Для цилиндрического датчика

$$\Delta C_\epsilon = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d_2}{d_1}} h \Delta \epsilon_T,$$

где $\Delta \epsilon_T$ — изменение диэлектрической проницаемости при изменении температуры топлива на $\Delta t^\circ\text{C}$.

В широком диапазоне изменения температуры зависимость $\epsilon_T(t)$ нелинейна и с увеличением температуры топлива уменьшается по закону обратной пропорциональности. В интервале температур топлива $t = 20 \pm 60^\circ\text{C}$ зависимость $\epsilon_T(t)$ можно с достаточной для практики точностью (ошибка меньше $0,5\%$) описать линейной функцией вида

$$\epsilon(t) = \epsilon(t_0) [1 - \alpha_\epsilon (t - t_0)],$$

где α_ϵ — температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, равный среднему (в данном интервале температур) относительному изменению диэлектрической проницаемости при изменении температуры на 1°C ;

t_0 — начальное значение температуры, равное 20°C .

Тогда

$$\gamma_{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}(t) \Delta t} = \alpha_{\varepsilon}.$$

Величина максимальной погрешности $\gamma_{\varepsilon \max} = \alpha_{\varepsilon} \Delta t$ для рассматриваемого диапазона $\Delta t = 120^{\circ}\text{C}$ примерно равна 8...9%, что составляет значительную величину.

Изменение сорта топлива сказывается на изменении его диэлектрической проницаемости, которая для применяемых в авиации сортов топлив лежит в пределах 1,9...2,1, что приводит к появлению погрешности до 10%.

Погрешности, обусловленные неточностью изготовления датчика, незначительны и определяют нелинейность зависимости $C_x(X)$. У существующих датчиков топливомеров нелинейность характеристики не превышает 0,5%.

Анализ погрешностей датчиков в топливомерах ТИС ЛА требует знание зависимости $C_x(t)$ и осуществление автоматической коррекции в показаниях топливомера как по температуре, так и по сорту топлива.

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТОПЛИВА

Принцип измерения количества топлива в баках ЛА рассмотрим на примере топливомеров ТИС типа СУИТ (система управления и измерения топлива) и АЦТ (автомат центровки топлива).

В состав топливомера входят емкостный цилиндрический датчик (датчик) уровня, электронный усилитель и показывающий прибор. Преобразование уровня топлива датчиком в электрический сигнал осуществляется самоуравновешенной электрической мостовой схемой (рис. 5). Два плеча измерительного моста образуют активные сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 и R_6 , а два других — емкостные сопротивления конденсаторов C_x (датчика уровня) и C_1 (постоянная емкость). Питание измерительного моста осуществляется от вторичной обмотки трансформатора $Tr1$ переменным током.

В исходном состоянии мост находится в равновесии и разность потенциалов в его измерительной диагонали АБ равна нулю. При изменении емкости C_x (емкостного сопротивления $R_{Cx} = 1/\omega C_x$, где ω — круговая частота питающего тока) датчика уровня, вследствие изменения уровня топлива в баке, равновесие мостовой схемы нарушается и в ее измерительной диагонали возникает напряжение разбаланса. Сигнал разбаланса усиливается электронным усилителем I и вызывает вращение электродвигателя 2, перемещающего через понижающий редуктор 3 средний движок (щетку) потенциомера R_6 . В результате разбаланс становится равным

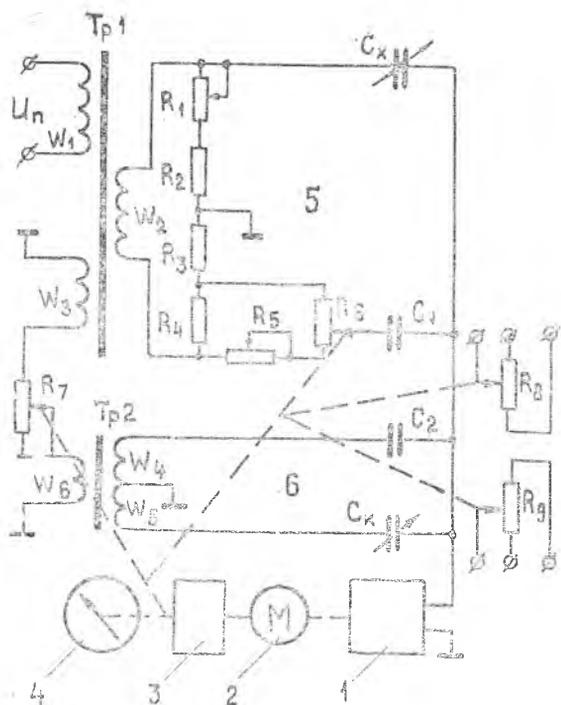


Рис. 5. Принципиальная схема электроемкостного топливомера с использованием самоуравновешивающегося моста: 1 — усилитель; 2 — электродвигатель; 3 — редуктор; 4 — указатель; 5 — измерительный мост; 6 — мост компенсации

пулю. С щеткой потенциометра жестко связана стрелка показывающего прибора 4, шкала которого проградуирована в килограммах. Таким образом, каждому значению уровня топлива в баке будет соответствовать определенное положение стрелки показывающего прибора.

Кроме балансирующего потенциометра R_6 на оси редуктора установлены потенциометры R_8 и R_9 , с которых снимаются сигналы для работы автомата выравнивания и регистрации остатка топлива магнитной системы регистрации параметров полета (МСРП).

Переменные сопротивления R_1 и R_5 измерительного моста служат для установки стрелки прибора на нулевое (сопротивление R_1) и максимальное (сопротивление R_5) деления соответственно при пустом и заполненном топливном баке.

Для проверки работоспособности топливомера предусматривается встроенный контроль. При нажатии одной из кнопок с индексами «Н» или «Р», расположенных на корпусе показывающего прибора, происходит отключение от измерительного моста емкости датчика и подключение постоянных емкостей, эквивалентных емкости датчика при незаполненном баке или максимальном количестве топлива в нем. В этих случаях стрелка показывающего прибора должна устанавливаться либо в нулевое (при нажатии кнопки с индексом «Н»), либо в максимальное положение шкалы (при нажатии кнопки с индексом «Р»).

По рассмотренной схеме выполнены топливомеры современных ЛА Ту-154, Як-42, Ил-86 и др.

Погрешности топливомеров, возникающие в процессе измерения количества топлива на ЛА, обусловлены:

- изменением сорта и температуры топлива;
- положением ЛА в полете, отличным от положения при тарировке ТИС;
- эволюциями ЛА и полетом с ускорением;
- отклонением формы бака от расчетной.

Для устранения влияния изменения сорта и температуры топлива при одном и том же его количестве в баке топливомеры снабжены компенсационным устройством, вырабатывающим сигнал, равный по величине, но обратный по фазе сигналу ошибки измерительного моста, обусловленной этими изменениями.

Компенсационное устройство выполнено по мостовой электрической схеме (рис. 5), плечи которой образуют обмотки W_4 и W_5 трансформатора Тр2, емкости C_k компенсационного датчика и C_2 (постоянная емкость). Компенсационный датчик — цилиндрический или плоский конденсатор — помещается в ту часть бака, из которой топливо вырабатывается в последнюю очередь. Он всегда погружен в топливо и его электрическая емкость изменяется только при изменении сорта и температуры топлива.

При температуре $+20^\circ\text{C}$ и определенном сорте топлива мост компенсации уравновешен и в его измерительной диагонали напряжение равно нулю. Если при постоянном уровне топлива в баке изменится температура или сорт топлива, то на вход усилителя будут приложены напряжения измерительного и компенсационного мостов, одинаковые по величине, но противоположные по фазе. На входе усилителя они компенсируют друг друга и не вызывают изменения положения стрелки показывающего прибора. Изменение емкости C_k датчика уровня при изменении температуры топлива на один градус зависит от количества топлива. Поэтому напряжение компенсации должно определяться количеством топлива в баке. Это достигается изменением напряжения питания трансформатора Тр2 (рис. 5) с помощью потенциометра R_7 , щетка которого связана со стрелкой показывающего прибора.

Для уменьшения погрешностей, обусловленных положением ЛА в полете, отличным от тарировочного, эволюциями и полетом с ускорением, в определенных точках бака устанавливают до восьми датчиков уровня, включенных параллельно в плечо измерительного моста. Несмотря на принятые меры, погрешности современных топливомеров велики и составляют 4% при $\Delta t = \pm 60^\circ\text{C}$, высотах полета 0...20 км и влажности $65 \pm 15\%$.

АВТОМАТ ВЫРАВНИВАНИЯ

Автоматическое устройство, контролирующее равномерность выработки топлива из одноименных симметричных баков (автомат выравнивания) применяется в системах перекачки топлива с общим расходным баком (Ту-154, Як-42 и др.). Необходимость автомата обусловлена тем, что при возникновении неравномерности выработки топлива из симметричных крыльевых баков появляется момент M_x , изменяющий положение самолета в пространстве. Это приводит к изменению углов отклонения элеронов на величину $\Delta\delta$, для компенсации возникающего момента M_x . При этом увеличивается лобовое сопротивление самолета, потребная тяга и расход топлива.

Отклонение элеронов на величину $\Delta\delta$, вызывает появление момента относительно вертикальной оси самолета, что требует для его компенсации отклонение руля поворота на угол $\Delta\delta_p$.

Это также приводит к увеличению силы лобового сопротивления и, следовательно, к увеличению потребной тяги и расхода топлива. Положение органов управления самолетом в этом случае усложняет пилотирование, особенно на режиме посадки.

В основе работы автомата выравнивания лежит сравнение напряжений электрических сигналов топливомеров, пропорциональных количеству топлива в одноименных баках правого и левого крыла.

Упрощенная принципиальная схема автомата выравнивания показана на рис. 6. При разном количестве топлива в сравниваемых баках на вход усилителя 3 подается напряжение рассогласования, пропорциональное разности количества

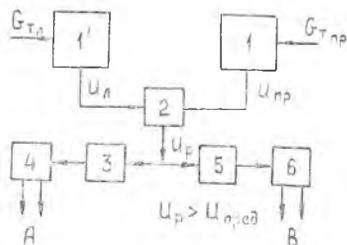


Рис. 6. Упрощенная блок-схема автомата выравнивания: 1 — топливомер; 2 — сравнивающее устройство; 3 — усилитель I; 4 — пороговое фазочувствительное реле ФЧР I; 5 — усилитель II; 6 — пороговое реле ФЧР II; А — сигналы на выключение перекачивающих насосов; В — сигналы на включение всех насосов и индикации «ОТКАЗ АВТОМАТА»

топлива $U_p = \Psi(G_{тл} - G_{тпр})$. Это напряжение усиливается до величины, необходимой для срабатывания порогового фазочувствительного реле ФЧР1. В зависимости от чазы напряжения рассогласования U_p реле выдает сигнал на отключение насоса того бака, у которого количество топлива меньше.

Одновременно напряжение рассогласования U_p поступает на вход усилителя 5. В случае, когда разница в количествах топлива достигает аварийного значения ($U_p > U_{пред}$), срабатывает пороговое реле 6, включающее насосы выравниваемых баков (выключение ФЧР1). При этом автомат выравнивания выключается из работы. В этом случае необходимо перейти на ручное управление выравниванием, выключив насосы бака, в котором топлива меньше.

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Аналитическое описание экспериментальной зависимости методом наименьших квадратов производится следующим образом. Исходя из физических соображений выбирается вид интерполирующей функции — линейная, парабола и др. Коэффициенты искомой кривой подбираются так, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от интерполирующей кривой была минимальной.

В нашем случае имеем уравнение (3) прямой линии $C_x = C_0 + SX$. Условие для определения коэффициентов C_0 и S уравнения записываются в виде

$$\sum_{i=1}^n L_{A_i B_i}^2 = \min, \quad (10)$$

где L — разность ординат экспериментальных A_i и теоретических B_i значений измеряемых величин.

Минимум суммы вычисляется путем приравнивания нулю производных этой суммы по параметрам C_0 и S . Решение получается в виде

$$C_0 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i C_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n C_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}; \quad (11)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n C_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i C_i}{n \sum_{i=1}^n X_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}, \quad (12)$$

где n — число замеров.

Суммирование производится по всем замерам. Вычисление коэффициентов производится на ЭВМ «Электроника БЗ-28». 11

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В состав экспериментальной установки входят: стенд для исследования основных характеристик датчиков и универсальный мост Е7-4 для измерения индуктивностей, емкостей и сопротивлений.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

В стенде (рис. 7) используются емкостные датчики ДК-10 (цилиндрический) и ДПЕ-5 (с плоскими электродами) из комплекта ТИС самолета Ту-154.

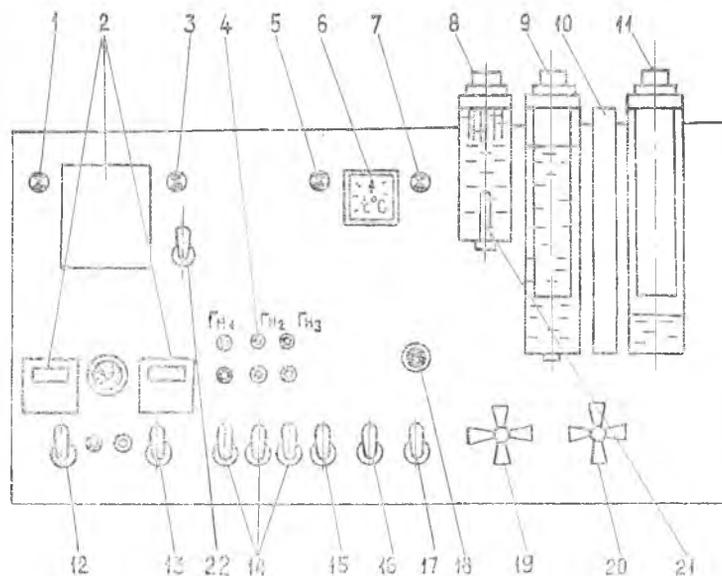


Рис. 7. Стенд для исследования основных характеристик емкостных датчиков (лицевая панель): 1, 3—лампы включения постоянного (27 В) и переменного (115 В) напряжения питания; 2—топливомер (блоки БИ10-14Т) и блок автомата выравнивания (БЦСА-2Т) системы АЦТ-6; 4—клеммы подключения датчиков к универсальному мосту; 5—лампа включения нагревателя; 6—показывающий прибор измерителя температуры; 7—лампа включения насоса; 8—датчик ДПЕ-5; 9, 11—датчики ДК-10; 10—мерная линейка; 12, 13—тумблеры включения питания топливомера; 14—тумблеры подключения датчика к универсальному мосту и топливомеру; 15—включение термостата; 16—включение измерения температуры; 17—включение топливного насоса; 18—кнопка включения электроклапана; 19—топливный кран левого датчика ДК-10; 20—топливный кран правого датчика ДК-10; 21—терморезистор измерителя температуры; 22—тумблер включения блока автомата выравнивания

Датчики ДК-10 и ДПЕ-5 установлены в цилиндрических сосудах 8, 9 и 11, закрепленных на лицевой панели стенда. Здесь же

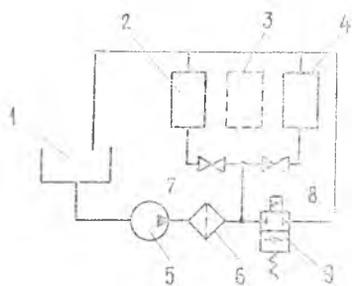


Рис. 8. Гидравлическая схема стенда: 1 — бак с нагревателем; 2 — топливный стакан с датчиком ДПЕ-5; 3, 4 — топливные стаканы с датчиками ДК-10; 5 — топливный насос с электроприводом; 6 — фильтр; 7, 8 — топливные краны; 9 — электроклапан

расположены органы управления стендом, измеритель температуры жидкости 6, два электроемкостных топливомера 2 (блоки БИ-10) и автомат выравнивания (блок БЦС4-2Г) из системы АЦГ-6 — автомат центровки топлива самолета Ту-154.

На рис. 8 представлена гидравлическая схема стенда. Топливо, нагреваясь в баке 1, подается насосом 5 с электрическим приводом через фильтр 6 и вентили 7 и 8 в цилиндрические сосуды 2 и 4. Слив топлива производится через открытые вентили 7 и 8 при выключенном насосе. Ускоренные слива осуществляется с помощью электроклапана 9.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОСТ E7-4

Мост предназначен для измерения емкости, индуктивности, сопротивления, добротности и тангенса угла потерь (рис. 9).

На переднюю панель прибора выведены следующие органы управления и индикации:

ручка 6 переключателя «ОТСЧЕТ», находящаяся под окном с числами отсчета от 0 до 10;

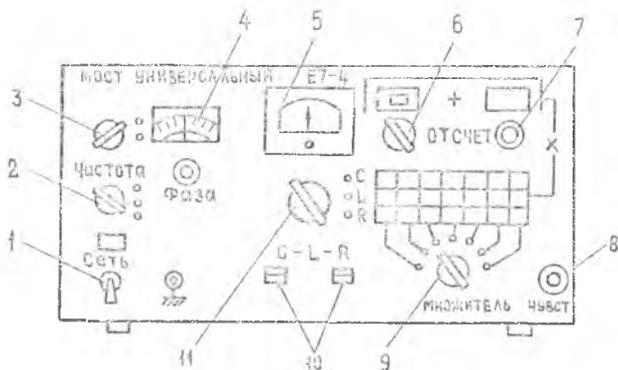


Рис. 9. Расположение органов управления на передней панели универсального моста E7-4

ручка 7 переменного резистора «ОТСЧЕТ», расположенная под окном с числами отсчета от 0 до 1;

ручка 9 переключателя диапазонов «МНОЖИТЕЛЬ», расположенная под таблицей с множителями для поддиапазонов;

ручка переключателя 11 рода работ «С, L, ~R, —R»;

ручка переключателя 3 отсчетных шкал добротности и тангенса угла потерь « $\lg \delta$, Q»;

ручка переменного резистора «ФАЗА», расположенная под окном со шкалами « $\lg \delta$, Q»;

ручка переключателя 2 частоты генератора «ЧАСТОТА H_z »;

ручка переменного резистора 8 «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИНДИКАТОРА»;

тумблер сети 1 со световым табло индикации включения прибора и надписью «СЕТЬ»;

гнезда 10 для подключения измеряемого объекта с надписью «С, L, R»;

стрелочный индикатор 5 равновесия моста;

клемма общего заземления;

ручка регулировки и индикатор 4 отсчета фазы.

При выполнении измерений с помощью универсального моста необходимо придерживаться следующего порядка:

1. Подготовка прибора к работе:

поставить ручку тумблера «СЕТЬ» в нижнее положение;

ручку переключателя «ОТСЧЕТ» поставить в положение 3;

ручку переменного резистора «ОТСЧЕТ» поставить в среднее положение;

ручку переключателя «МНОЖИТЕЛЬ» поставить в крайнее левое положение;

ручку переменного резистора «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИНДИКАТОРА» поставить в крайнее левое положение;

ручку переключателя «С, L, ~R, —R» поставить в положение «С»;

ручку переключателя «ЧАСТОТА H_z » поставить в положение 1000;

ручку переключателя « $\lg \delta$, Q» поставить в положение « $\lg \delta$ »;

ручку переменного резистора «ФАЗА» поставить в крайнее левое положение;

ручку переменного резистора «ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА» на задней панели прибора поставить в крайнее правое положение.

2. Порядок работы при измерении емкости:

включить тумблер «СЕТЬ»;

измеряемую емкость подключить к зажимам «С, L, R»;

убедиться в том, что переключатель «С, L, ~R, —R» находится в положении «С»;

ручкой «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИНДИКАТОРА» установить стрелку индикатора в пределах $2/3$ шкалы:

переключателем «МНОЖИТЕЛЬ» установить стрелку индикатора на возможно минимальное значение:

постепенно увеличивая чувствительность до максимальной, но так, чтобы стрелка индикатора оставалась в пределах шкалы, ручкой «ОТСЧЕТ» добиться наименьшего отклонения стрелки от нулевого положения при максимальной чувствительности индикатора;

произвести отчет измеряемой величины. Измеряемая величина равна сумме отчетов по шкалам переключателя «ОТСЧЕТ» и переменного резистора «ОТСЧЕТ», умноженной на соответствующий множитель.

Подключение датчиков к измерителю емкости Е7-4 показано на рис. 10.

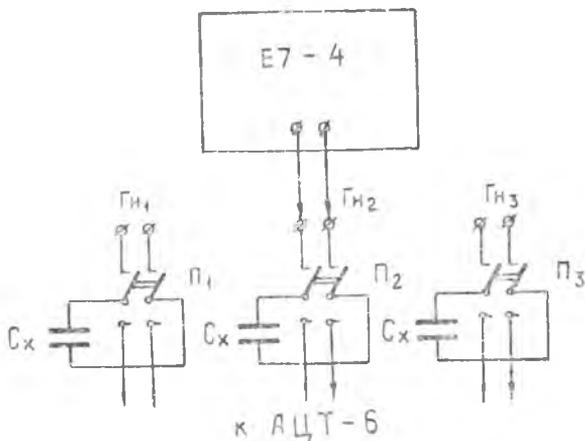


Рис. 10. Схема электрических подключений датчиков к измерительному мосту Е7-4 и блоку топливомера из комплекта АЦТ-6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Снятие экспериментальной характеристики $C_x = f(X)$ датчика ДК-10:

замерить электрическую емкость незаполненного топливом датчика ДК-10, подключив универсальный измерительный мост Е7-4 к правым гнездам 4, включив расположенный под ними соответствующий тумблер 11 на лицевой панели стенда (см. рис. 7);

изменяя уровень топлива в стакане датчика ДК-10 с шагом 20 мм, замерить значения электрической емкости датчика прибором Е7-4. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

X									
$C_{x \text{ изм}}$									
$C_{x \text{ теор}}$									
ΔC_x									

Примечания: 1. Нулевой уровень отсчитывается от нижнего торца датчика, 2. Предельный верхний уровень заполнения не должен доходить 15 мм до нижней поверхности фланца датчика.

2. Снятие зависимости $C_x = f(t^\circ)$ датчика ДПЕ-5;

подключить измерительный мост Е7-4 к левым гнездам 4 степ-да, включив соответствующий переключатель 14;

замерить значение электрической емкости «сухого» датчика ДПЕ-5;

заполнить стакан датчика топливом, включив насос и соответствующий кран;

замерить значение электрической емкости запаренного датчика;

обеспечить непрерывную циркуляцию топлива через датчик, открыв занорный вентиль 19 и включив измеритель температуры тумблером 16;

зафиксировать исходное значение температуры топлива и значение емкости датчика ДПЕ-5;

включить выключателем 15 систему нагрева топлива в расходном баке — при этом загорится сигнальная лампа 5;

замерить значения электрической емкости датчика при повышении температуры топлива в стакане через каждые 5°C. Результаты замеров занести в табл. 2.

Таблица 2

$t_0, ^\circ\text{C}$									
C_x									
ΔC_x									

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! Запрещается повышать температуру топлива при отсутствии циркуляции. Предельно допустимая температура +50°C.

Примечание: $\Delta C(t) = C_x(t_0) - C_x(t)$.

3. Получение тарировочной зависимости показаний топливомера от уровня топлива в датчике ДК-10 системы АЦТ-6:

получить от преподавателя задание на тарировку. В задании указывается максимальное значение топлива в баке самолета при максимальном уровне топлива в датчике ДК-10;

заполнить правый стакан *11* топливом до верхнего допустимого уровня (на 15 мм ниже фланца датчика), открыв вентиль *20* и включив тумблер *17* насоса перекачки;

установить переключатели *14* датчиков ДК-10 в нижнее положение (подключение датчиков к блокам БИ измерения количества топлива);

включить источник питания топливомера (преобразователь 115 В, 400 Гц), установив тумблер *12* в верхнее положение. Проверить включение по загоранию сигнальной лампы *4* и пилацию характерного звука работы преобразователя. Через одну минуту включить топливомер выключателем *13*;

проверить работоспособность топливомера поочередным нажатием на кнопки «И» и «Р», расположенные на передней панели указателя топливомера: при нажатии кнопки «И» стрелки указателя должны установиться на нулевых значениях шкалы прибора; при нажатии на кнопку «Р» стрелки указателя перемещаются в сторону максимальных значений шкалы;

слить топливо из стакана правого датчика ДК-10 и установить стрелку с индексом «И» на нулевую отметку шкалы прибора вращением ручки потенциометра с индексом «ПУН» на блоке измерения *2* (правый блок БИ10-14Т);

заполнить топливом стакан датчика ДК-10 до требуемого уровня;

вращением потенциометра «МАКС» правого блока *2* топливомера (блок БИ10-14Т) установить стрелку «П» указателя на заданное преподавателем значение количества топлива в баке;

уменьшая уровень топлива в стакане *11* (при выключенном насосе) крапом *20*, зафиксировать с помощью мерной линейки *10* его значения, соответствующие положению стрелки указателя топливомера на отметках шкалы через равные отрезки (500 или 1000 делений);

повторить измерения при заполнении датчика топливом, для чего при открытом крапе *20* включить тумблером *17* насос перекачки топлива. Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Показания топливомера, G							
Прямой ход, X, мм							
Обратный ход, X, мм							

4. Определение разности уровней топлива в датчиках ДК-10 при срабатывании автомата выравнивания системы АЦТ-6.

Для определения характеристик работы автомата выравнивания (блока БЦС4-2Т из комплекта АЦТ-6) необходимо:

заполнить топливом правый стакан датчика ДК-10 до уровня топлива в стакане левого датчика ДК-10;

подключить датчики ДК-10 к блокам БИ10-14Т топливомера, установив переключатели 14 (см. рис. 7) в нижнее положение;

при включенном источнике питания включить топливомер и блок автомата выравнивания (выключатели 13 и 22) и через 2...3 мин. проверить работоспособность автомата выравнивания:

нажать на кнопку «ПРОВЕРКА», расположенную на передней панели блока, и проверить его работоспособность по загоранию сигнальных ламп «ВЫКЛ. НАСОСОВ» и «ПРОВЕРКА»;

проверить положение стрелок «Л» и «П» топливомера, которые должны находиться на одной отметке шкалы указателя. В случае несоответствия в показаниях топливомера необходимо подрегулировать положение стрелки «Л» вращением оси потенциометра «МАКС» на левом блоке БИ-10-14Т;

изменяя положение уровня топлива в правом стакане по загоранию сигнальной лампы «ВЫКЛ. НАСОСОВ», зафиксировать разницу в показаниях топливомеров;

при дальнейшем изменении уровня топлива в правом стакане зафиксировать разницу в показаниях топливомера, при которой произойдет включение двух сигнальных ламп «ВЫКЛ. НАСОСОВ».

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Построить графическую зависимость $C_x(X)$ датчика ДК-10 по экспериментальным точкам.

2. Методом наименьших квадратов, используя стандартную программу на ЭВМ «Электроника БЗ-28», определить значения коэффициентов уравнения регрессии и коэффициент корреляции ρ .

3. Вычислить значения абсолютной погрешности нелинейности по формуле

$$\Delta C = C_{x \text{ изм}} - C_{x \text{ теор}},$$

где $C_{x \text{ теор}}$ — значение емкости датчика, вычисленное по уравнению регрессии.

4. Определить максимальную относительную погрешность нелинейности характеристики датчика по формуле

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{\Delta C_{\text{max}}}{C_{\text{max теор}}} \cdot 100\%,$$

где $C_{\text{max теор}}$ — значение емкости заполненного топливом датчика,

5. Построить экспериментальную зависимость $C_{\max}(t, ^\circ\text{C})$ для датчика ДПЕ-5.

6. Вычислить значение диэлектрической проницаемости для топлива, применяемого в лабораторной работе, по формуле

$$\epsilon_r = \frac{C_{\max}}{C_0}.$$

7. Вычислить значение температурного коэффициента изменения диэлектрической проницаемости топлива по формуле

$$\alpha_\epsilon = \frac{\Delta C_\epsilon}{C_{\max} \Delta t}$$

и сравнить полученное значение со значением α_ϵ для топлива Г-1.

8. Определить величину приведенной погрешности датчика ДПЕ-5 при изменении температуры топлива на 120°C :

$$\gamma_{\Delta t} = \alpha_\epsilon \Delta t.$$

9. Построить графическую зависимость показаний топливомера от уровня топлива при увеличении и уменьшении уровня в датчике ДК-10. Определить погрешность топливомера в абсолютных единицах измерения количества топлива путем вычисления разницы между значениями показаний топливомера при увеличении и уменьшении уровня топлива. Определить приведенную погрешность

$$\gamma_{\text{н}} = \Delta G_{\text{н}} / 2 G_{\text{н}}.$$

10. Вычислить максимальную приведенную погрешность топливомера:

$$\gamma_{\text{т}} = \sqrt{\gamma_{\text{н}}^2 + \gamma_{\Delta t}^2},$$

где $\gamma_{\Delta t} = \alpha_\epsilon \Delta t$ для интервала температур топлива 120°C .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы и конструкция емкостных датчиков уровня.
2. Принцип работы топливомера.
3. Назначение окон различной конфигурации на поверхности цилиндрических электродов датчиков уровня.
4. Проанализируйте уравнение преобразования датчика с электродами в виде цилиндров и плоских пластин.
5. Способы повышения чувствительности емкостных датчиков.
6. Назначение элементов стенда для исследования характеристик емкостных датчиков уровня.
7. Назначение и принцип работы автомата выравнивания.
8. Основные погрешности измерения количества топлива.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Принципы работы топливомера и автомата выравнивания.
2. Принципиальная схема лабораторной установки.
3. Таблицы результатов измерений и расчетных параметров.
4. Графики экспериментальных зависимостей.
5. Расчетные формулы и результаты вычислений.
6. Выводы по работе. В выводах указать вид зависимостей $C_x(X)$, $C_x(t)$, $G_T(X)$, их аналитические выражения, параметры автомата выравнивания и величины погрешностей топливомера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боднер В. А. Авиационные приборы. — М.: Машиностроение, 1969, — 467 с.
2. Браславский Д. А. Приборы и датчики летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1970. — 392 с.
3. Михайлов О. Н., Козлов Н. М., Гергель Ф. С. Авиационные приборы. — М.: Машиностроение, 1977. — 416 с.
4. Авиационные приборы и измерительные системы / Под ред. В. Г. Воробьева. — М.: Транспорт, 1981. — 391 с.
5. Самолет Ту-154 (часть II) — М., Машиностроение, 1976. — 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы	1
Порядок выполнения работы	1
Общие сведения	1
Уравнение преобразования емкостного датчика уровня топливомера	2
Погрешности емкостного датчика уровня	5
Принцип измерения количества топлива	7
Автомат выравнивания	10
Интерполяция экспериментальных данных мето- дом наименьших квадратов	11
Описание экспериментальной установки	12
Технологические указания к выполнению работы	15
Обработка результатов измерений	18
Контрольные вопросы	19
Содержание отчета	20
Литература	20