

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

Ю.М. Морозов

**ВОЗДУШНЫЙ ВИНТ И РЕГУЛЯТОР
ПОСТОЯННЫХ ОБОРОТОВ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ
САМОЛЕТА АН-2**

Учебное пособие

САМАРА 2002

УДК 629. 735.3.083

Воздушный винт и регулятор постоянных оборотов силовой установки самолета Ан-2: Учеб. пособие/ Ю.М. Морозов; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2002. 28 с.

ISBN 5-7883-0196-3

В учебном пособии рассмотрены устройство и работа системы "воздушный винт — регулятор оборотов" силовой установки самолета Ан-2.

Пособие предназначено для студентов факультета "Инженеров воздушного транспорта" Самарского аэрокосмического университета при изучении конструкции самолета Ан-2 и выполнении практических работ в процессе учебно-производственной практики на учебном аэродроме университета. Подготовлено на кафедре "Эксплуатация летательных аппаратов и двигателей".

Ил. 16.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева

Рецензенты: Б. Д. Д а н и л о в, Е. П. Ж и л ь н и к о в

ISBN 5-7883-0196-3

© Самарский
государственный
аэрокосмический
университет, 2002

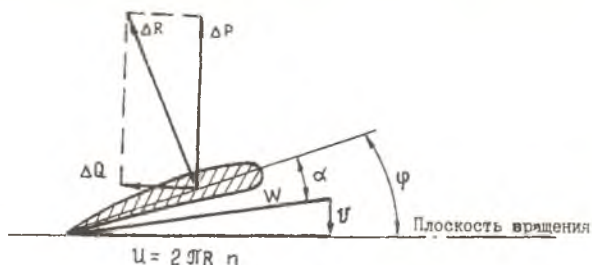
СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные сведения о воздушном винте и регуляторе постоянных оборотов	4
2. Устройство воздушного винта АВ-2 и регулятора оборотов Р-9 СМ-2	13
3. Совместная работа в/винта и регулятора оборотов	18
3.1. Работа системы при равновесных оборотах	19
3.2. Работа системы при увеличении фактических оборотов выше равновесных	21
3.3. Работа системы при уменьшении фактических оборотов ниже равновесных	23
Контрольные вопросы	25

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗДУШНОМ ВИНТЕ И РЕГУЛЯТОРЕ ПОСТОЯННЫХ ОБОРОТОВ

Воздушный винт силовой установки самолета служит для создания тяги, т.е. является движителем, преобразующим крутящий момент на валу двигателя в силу, перемещающую самолет относительно воздушной среды.

Основными элементами конструкции воздушного винта (далее в/винт) являются лопасти и втулка. Лопасти крепятся к втулке, которая устанавливается на вал в/винта, связанный через редуктор с коленчатым валом двигателя. При вращении в/винта лопасти обтекаются потоком воздуха и в каждом сечении лопасти, как и на крыле самолета, возникает элементарная аэродинамическая сила ΔR (рис. 1), осевая составляющая которой ΔP является тягой, а составляющая в плоскости вращения ΔQ — силой сопротивления вращению в/винта.



Р и с. 1. Треугольник скоростей и аэродинамические силы, действующие в сечении лопасти: u — окружная скорость; v — поступательная скорость (скорость полета); W — результирующая (истинная) скорость обтекания элемента лопасти

Составляющие аэродинамической силы ΔR по аналогии с крылом можно представить выражениями

$$\Delta P = C_p \Delta S \frac{\rho W^2}{2}, \quad (1)$$

$$\Delta Q = C_x \Delta S \frac{\rho W^2}{2}, \quad (2)$$

где C_p и C_x — соответственно коэффициенты тяги и вредного сопротивления, зависящие, при прочих равных условиях, от угла атаки α ;

ΔS — проекция площади элемента лопасти на плоскость хорд;

$\rho W^2 / 2$ — скоростной напор.

Угол атаки α определяет положение сечения лопасти относительно вектора результирующей (истинной) скорости потока W ; положение сечения лопасти относительно плоскости вращения определяет угол установки φ . Из треугольника скоростей следует, что при

— $V = 0$ $\alpha = \varphi$;

— $\varphi = \text{const}$ и $n = \text{const}$ с увеличением скорости полета угол атаки уменьшается, а с уменьшением скорости полета — увеличивается;

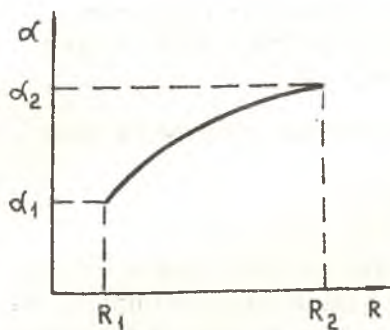
— $\varphi = \text{const}$ и $V = \text{const}$ с ростом оборотов в/винта угол атаки увеличивается, при снижении оборотов — уменьшается. Воздушные винты, у которых угол установки лопастей при работе не изменяется, получили название в/винтов фиксированного шага.*

Недостатком в/винтов фиксированного шага является зависимость угла атаки лопастей, а следовательно и тяги в/винта, от скорости полета и частоты вращения в/винта (при $N_e = \text{const}$). Поэтому в/винт фиксированного шага обеспечивает работу лопастей с углами атаки, близкими к наивыгоднейшему только при определенном сочетании скорости полета и частоты вращения.

*Шаг в/винта — это расстояние, которое он прошел бы при ввинчивании его в твердую среду. Шаг зависит от угла установки: с увеличением угла установки шаг возрастает, при уменьшении — уменьшается. Поэтому наряду с термином "угол установки" часто употребляется выражение "шаг в/винта".

По этой причине и для уменьшения вредного сопротивления в/винта при отказе двигателя в полете в силовых установках самолетов используются в/винты изменяемого шага (ВИШ).

Из треугольника скоростей (рис. 1) также следует, что при одинаковых углах установки всех сечений лопасти угол атаки возрастает по мере удаления сечения от оси вращения, т.к. с увеличением радиуса окружная скорость возрастает, а поступательная остается постоянной (рис. 2). Эпюра распределения элементарных сил тяги по размаху лопасти в этом случае представлена на рис. 3,а.



Р и с. 2. Характер изменения углов атаки α сечений лопасти по радиусу в/винта R при постоянном по размаху угле установки: R_1 — корневое сечение лопасти; R_2 — концевое сечение лопасти

Наиболее эффективно в/винт преобразует крутящий момент двигателя в тягу при работе всех сечений лопасти с одинаковым углом атаки, близким к наиболее выгодному. Равенство углов атаки по размаху лопасти обеспечивается за счет геометрической крутки лопастей, при которой с увеличением радиуса угол установки сечений лопасти

уменьшается. При этом корневое сечение лопасти (рис. 4) имеет максимальный, а концевое сечение — минимальный установочные углы.

За счет геометрической крутки все сечения лопасти работают с одинаковыми углами атаки, а элементарные силы тяги равномерно распределены по размаху лопасти (рис. 3, б). В результате не только возрастает сила тяги лопасти P_d , но и уменьшается изгибающий момент в корневом сечении за счет уменьшения плеча силы P_d (рис. 3).

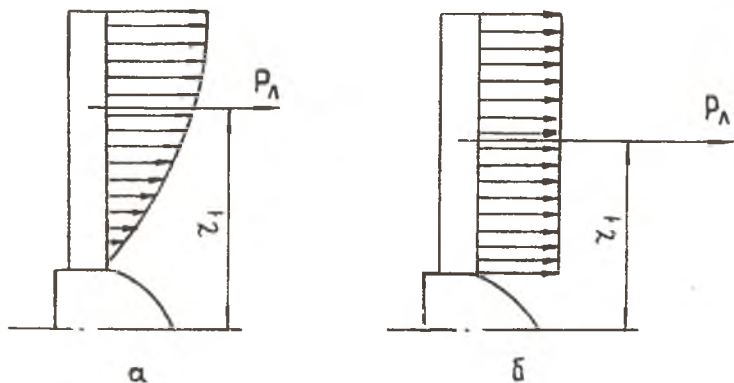
Установившийся (равновесный) режим работы двигателя ($n = \text{const}$) соответствует равенству эффективной мощности двигателя N_e мощности, поглощаемой в/винтом $N_{в.в.}$:

$$N_e = N_{в.в.} \quad (3)$$

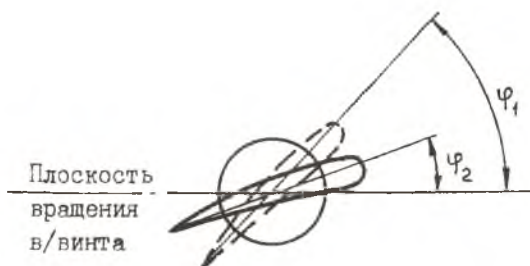
Выразив мощность через крутящий момент и частоту вращения, получим

$$M_{кр} n_{к.в} = M_{в.в} n_{в.в}, \quad (4)$$

где соответственно $M_{кр}$ и $M_{в.в}$ — крутящий момент коленчатого вала и момент сопротивления вращению в/винта; $n_{к.в}$ и $n_{в.в}$ — обороты коленчатого вала и в/винта.



Р и с. 3. Эпюра элементарных сил тяги ΔP по размаху лопасти: а - без геометрической кривки; б - с геометрической кривкой



Р и с. 4. Схема расположения корневого и концевых сечений при геометрической кривке лопасти: φ_1 - угол установки корневого сечения; φ_2 - угол установки концевых сечения

Если обороты в/винта выразить через обороты коленвала, то условием установившегося режима работы двигателя будет соблюдение равенства

$$M_{\text{кр}} i = M_{\text{в.в}}, \quad (5)$$

где i — степень редукции редуктора двигателя, равная 11/16.

Крутящий момент на валу двигателя $M_{\text{кр}}$ зависит от подачи топлива в цилиндры двигателя, т.е. положения дроссельных заслонок карбюратора, а момент сопротивления вращению в/винта равен (рис. 5)

$$M_{\text{в.в}} = \sum Q_{\text{л}} r, \quad (6)$$

где $Q_{\text{л}}$ — равнодействующая элементарных сил сопротивления лопасти;

r — радиус точки приложения $Q_{\text{л}}$;

i — число лопастей в/винта.

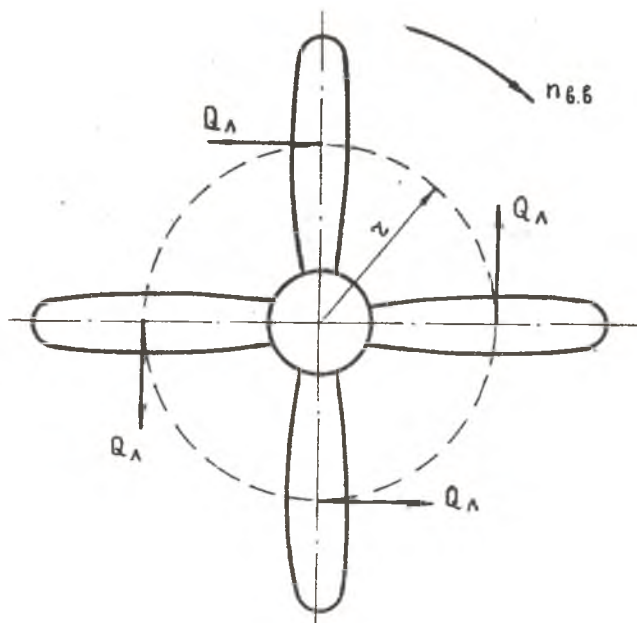
Равнодействующая элементарных сил сопротивления лопасти

$$Q_{\text{л}} = C_{\text{х.л}} S \frac{\rho W^2}{2}, \quad (7)$$

при постоянных W и шаге в/винта зависит от высоты полета и температуры атмосферного воздуха, т.к. они определяют плотность воздуха

$$\rho = \frac{P_{\text{н}}}{R_{\text{в}} T_{\text{н}}} \quad (8)$$

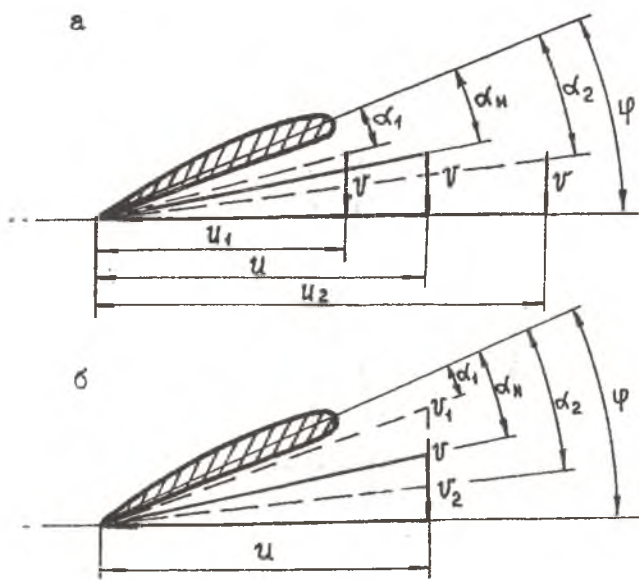
($P_{\text{н}}$ и $T_{\text{н}}$ — соответственно давление и абсолютная температура атмосферного воздуха, $R_{\text{в}}$ — газовая постоянная воздуха). Таким образом, изменение внешних условий (высоты полета и температуры атмосферного воздуха) приводит к изменению момента сопротивления $M_{\text{в.в}}$ — с увеличением высоты полета он уменьшается, а при снижении самолета возрастает. Если $N_{\text{е}} = \text{const}$, то с ростом высоты полета равенство $M_{\text{кр}} i = M_{\text{в.в}}$ будет обеспечиваться на больших оборотах, а при снижении — на меньших.



Р и с. 5. К определению момента сопротивления вращению в/винта

Аналогично изменяются обороты двигателя с в/винтом фиксированного шага при изменении мощности двигателя или скорости полета и постоянных высоте и скорости полета. Так, с увеличением N_e возрастает $M_{кр}$ и равенство $M_{кр} i = M_{в.в}$ обеспечивается при больших оборотах. В этом случае $M_{в.в}$ возрастает, т.к. с ростом оборотов при $V = \text{const}$ увеличивается угол атаки лопастей (рис. 6).

Увеличение скорости полета (при $N_e = \text{const}$) приводит к уменьшению $M_{в.в}$ и росту оборотов, т.к. при этом уменьшается угол атаки (рис. 6). Обороты в этом случае будут возрастать до тех пор, пока угол атаки и $M_{в.в}$ не достигнут прежнего значения. Таким образом, в/винт фиксированного шага не позволяет сохранять постоянными обороты двигателя при изменении мощности двигателя и условий полета.



Р и с. 6. Зависимость углов атаки сечения лопасти от V и n при $\varphi = \text{const}$: а) $V = \text{const}$, $n = \text{var}$; б) $n = \text{const}$, $V = \text{var}$

Максимальному к.п.д. в/винта соответствует работа лопастей с углами атаки, близкими к наивыгоднейшему. Поскольку угол атаки определяется углом установки, скоростью полета и частотой вращения, работе в/винта с максимальным к.п.д. соответствует вполне определенное их сочетание. Так, если (рис. 6) лопасти в/винта работают с наивыгоднейшим углом атаки α_n при угле установки φ , скорости полета V и оборотах n , то при изменении оборотов при $V = \text{const}$ или скорости полета при $n = \text{const}$ соответствующие им новые углы атаки будут больше или меньше наивыгоднейшего. Для обеспечения работы в/винта с наивыгоднейшим углом атаки на новых оборотах или скорости полета необходимо изменить угол установки лопастей (шаг в/винта). Так (см. рис. 6), при неизменной скорости полета и увеличении оборотов необходимо уменьшить, а при уменьшении оборотов — увеличить шаг в/винта. Таким образом, чтобы обеспечить работу в/винта с максимальным к.п.д., каждой скорости полета должны соответствовать определенные обороты, которые необходимо поддерживать постоянными при измене-

нии внешних условий. Эту задачу выполняет система "винт-регулятор постоянных оборотов", в которой регулятор постоянных оборотов (РПО) является командным, а механизм изменения шага — исполнительным элементом системы. В качестве исполнительного элемента системы "винт-регулятор" в силовой установке самолета Ан-2, как и в большинстве других, используется гидравлический механизм, расположенный во втулке в/винта. При отказе механизма управления угол установки лопастей определяется действием моментов от собственных центробежных и аэродинамических сил лопастей. На рис. 7 и 8 представлены схемы, поясняющие механизм возникновения этих моментов.

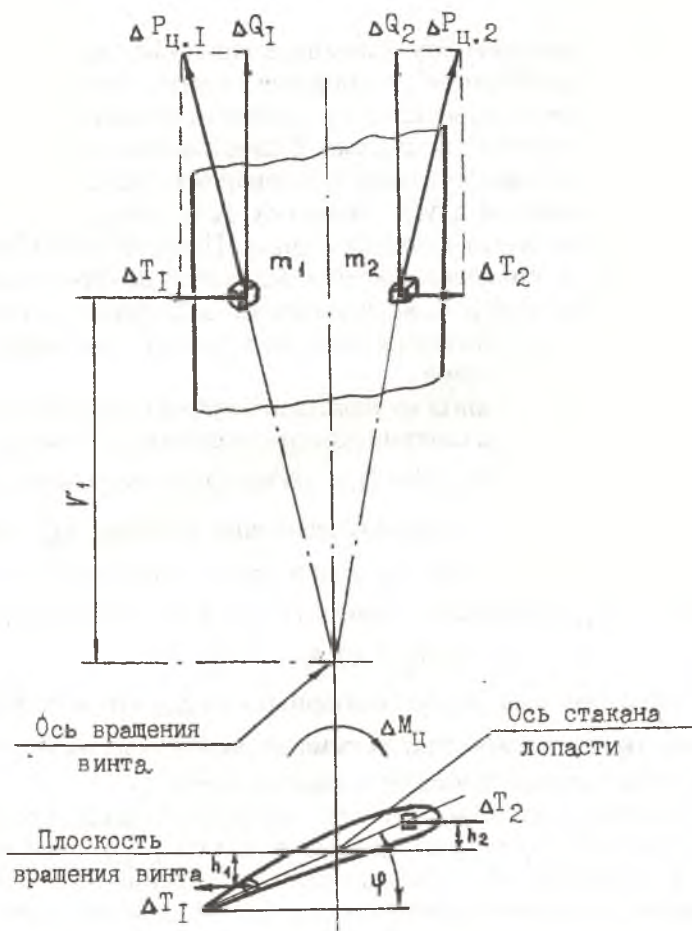
При вращении в/винта на лопасти действуют центробежные силы. Если в произвольном сечении лопасти выделить два элементарных объема массой m_1 и m_2 (рис. 7), то на них действуют центробежные силы $\Delta P_{ц.1}$ и $\Delta P_{ц.2}$, осевые составляющие которых ΔQ растягивают лопасть, а составляющие в плоскости вращения ΔT создают момент $\Delta M_{ц}$, стремящийся повернуть лопасть на уменьшение φ :

$$\Delta M_{ц} = \Delta T_1 h_1 + \Delta T_2 h_2. \quad (9)$$

Результирующая всех элементарных сил ΔQ стремится оторвать лопасть от втулки в/винта, а сумма элементарных моментов $\Delta M_{ц}$ стремится уменьшить угол установки лопасти.

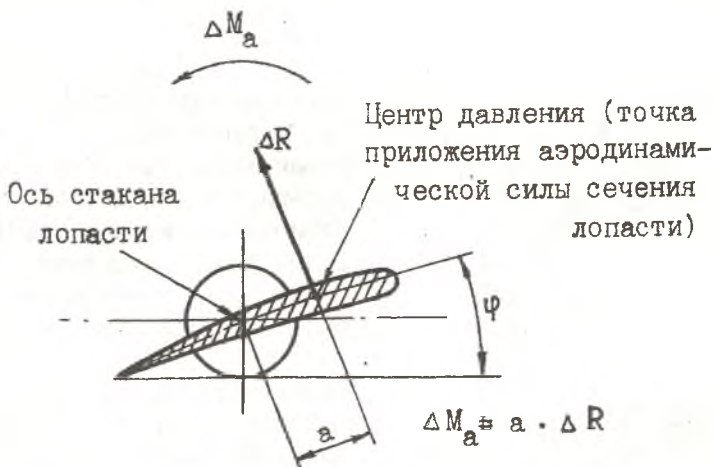
При обтекании лопасти потоком воздуха в каждом ее сечении возникает элементарная аэродинамическая сила ΔR , приложенная в центре давления (рис. 8). Вследствие несовпадения центра давления с осью, относительно которой происходит поворот лопасти при изменении углов установки (ось стакана лопасти), аэродинамическая сила ΔR создает момент ΔM_a , действующий на увеличение установочного угла. Таким образом, суммарный момент M_a от аэродинамических сил R противоположен по направлению моменту от центробежных сил лопасти.

Момент от аэродинамических сил лопасти значительно меньше момента от центробежных сил, поэтому в случае отказа в полете системы "винт-регулятор" лопасти в/винта будут уменьшать установочный угол, что приведет к увеличению оборотов и снижению тяги. Это опасно, особенно на взлете, т.к. может сделать дальней-



Р и с. 7. Схема образования момента от собственных центробежных сил лопасти

ший полет невозможным. Чтобы избежать самопроизвольного уменьшения шага винта при отказах в полете системы "винт-регулятор" на лопасти в/винта устанавливают противовесы — груз, закрепленный при помощи рычага у основания лопасти (рис. 9). Составляющая центробежных сил противовеса N , лежащая в плоскости вращения в/винта, создает момент $M_{пр}$, действующий на увеличение углов установки лопасти. Массу противовеса, длину рычага и расположе-



Р и с. 8. Схема образования момента от аэродинамических сил лопасти

ние противовеса относительно лопасти выбирают таким образом, чтобы на оборотах 1700-1900 об/мин обеспечивалось равенство

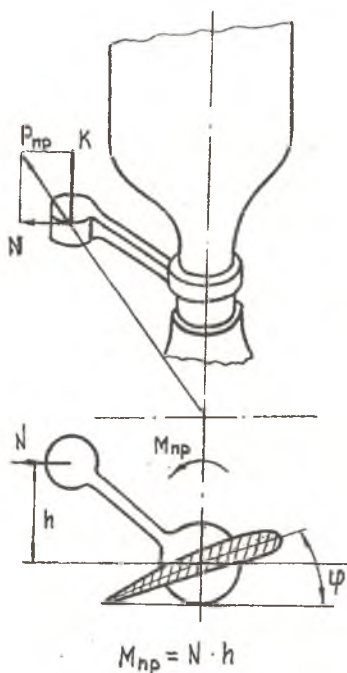
$$M_a + M_{пр} = M_{ц}. \quad (10)$$

В этом случае при отказе в полете системы "винт-регулятор" лопасти в/винта под действием моментов от центробежных сил противовесов, собственных центробежных сил лопастей и момента от аэродинамических сил будут устанавливаться на такие углы установки, при которых сохраняются обороты 1700-1900 об/мин. При работе двигателя на этих режимах тяга достаточна для продолжения полета.

2. УСТРОЙСТВО ВОЗДУШНОГО ВИНТА АВ-2 И РЕГУЛЯТОРА ОБОРОТОВ Р-9 СМ2

Основными элементами конструкции винта (рис. 10) являются: корпус (втулка) 1; четыре лопасти 2 с противовесами 3; детали цилиндропоршневой группы 4, 5, 6 и кривошипно-шатунного механизма 7, 8.

Корпус стальной имеет четыре гнезда для установки стаканов лопастей и ступицу со шлицами, которой винт устанавливается на носок вала винта. Центрирование втулки относительно вала винта 9 осуществляется при помощи двух конусных колец 10, а



Р и с. 9. Схема образования момента от центробежных сил противовеса

крана и внутренней поверхности гнезд втулки выполнены канавки, в которые при сборке винта помещаются стальные шарики. Через шарики на корпус передаются центробежные и аэродинамические силы и обеспечивается возможность поворота стакана относительно гнезда втулки. Поворот стаканов осуществляется кривошипно-шатунным механизмом, преобразующим поступательное перемещение поршня в поворот стакана. Он состоит из штока, закрепленного на поршне цилиндропоршневой группы, шатуна и пальца стакана, эксцентрично расположенного относительно его оси и выполненного за одно целое с ним. На стакан каждой лопасти при помощи кронштейна с хомутом устанавливается противовес.

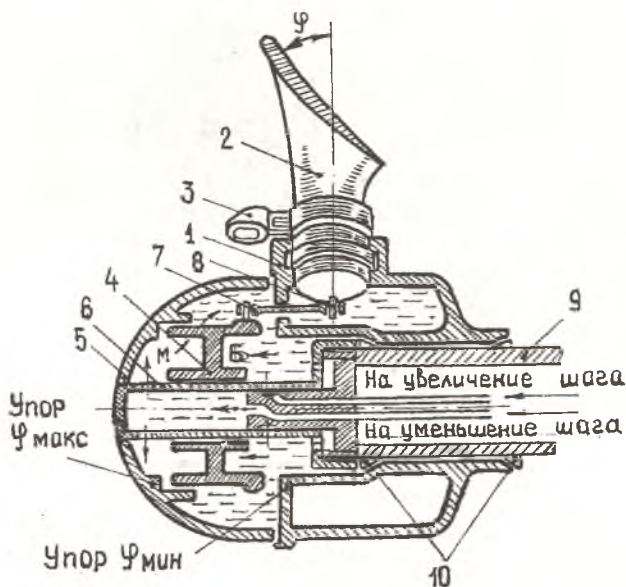
Регулятор Р-9 СМ2 автоматически управляет шагом в/винта при изменении мощности двигателя, высоты или скорости полета. Регулятор состоит из трех узлов: силовой части, чувствительного эле-

крепление — при помощи гайки, наворачиваемой на носок вала винта.

Внутри втулки расположены детали цилиндропоршневой группы, которые образуют две изолированные друг от друга полости — большого Б и малого М шага. При работе в эти полости от РПО подводится масло под давлением.

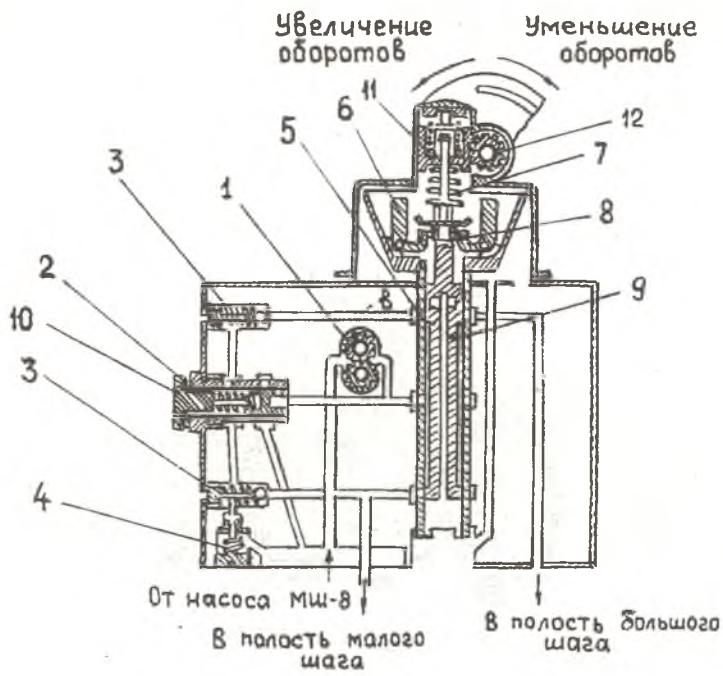
Поршень через кривошипно-шатунный механизм связан со стаканами лопастей и при своем перемещении под давлением масла, подводимого в ту или иную полость, поворачивает стаканы и связанные с ними лопасти винта. Со стаканом лопасть соединяется при помощи специальной упорной резьбы, нарезанной по внутреннему диаметру стакана. Верхняя часть стакана имеет три продольных прорези для обжатия стакана специальным хомутом, что обеспечивает надежную фиксацию лопасти в стакане. На наружной поверхности ста-

мента (центробежного регулятора) и механизма ручного управления регулятором.



Р и с. 10. Схема устройства вента АВ-2: 1 - корпус; 2 - лопасть; 3 - противовес; 4 - поршень; 5 - цилиндр; 6 - труба маслопровода; 7 - шатун; 8 - палец стакана; 9 - носок вала вента; 10 - конусное кольцо

Силовая часть предназначена для создания давления масла, подводимого от регулятора в полости большого и малого шага втулки в/винта. Она включает в себя (рис. 11) шестеренчатый маслонасос 1, редукционный клапан 2, два шариковых клапана 3 и перегрузочный (предохранительный) клапан 4. Чувствительный элемент — центробежный регулятор реагирует на отклонение фактических оборотов от заданных (равновесных) и управляет подачей масла от силовой части регулятора в полости большого и малого шага. Центробежный регулятор состоит из валика 5, приводимого во вращение от коленчатого вала двигателя. Верхняя часть вала выполнена в виде колокола, в котором установлены два "Г"-образных грузика. Центр масс грузиков расположен выше оси крепления грузиков к колоколу, поэтому центробежные силы грузиков стремятся развернуть их от оси вращения. Этому пре-



Р и с. 11. Схема устройства регулятора Р-9 СМ2: 1-маслонасоса; 2-редукционный клапан; 3-шариковый клапан; 4-перегрузочный клапан; 5-валик; 6-"Г"-образные грузики; 7-пружина; 8-шарикоподшипник; 9-золотник; 10-пробка; 11-зубчатая рейка; 12-шестерня валика ручного управления

пятствует сила упругости конической пружины 7, нижний торец которой через внутреннюю обойму шарикоподшипника 8 воздействует на короткое плечо "Г"-образных грузиков. Таким образом, равновесие золотника 9, установленного внутри валика, определяется величиной осевой составляющей центробежных сил грузиков и силой упругости конической пружины. На равновесных оборотах эти силы равны и золотник занимает относительно валика такое положение, при котором буртики золотника перекрывают подачу масла от регулятора в полости большого и малого шага. При отклонении фактических оборотов от заданных равновесие золотника нарушается и масло от регулятора подводится в полость большого или малого шага.

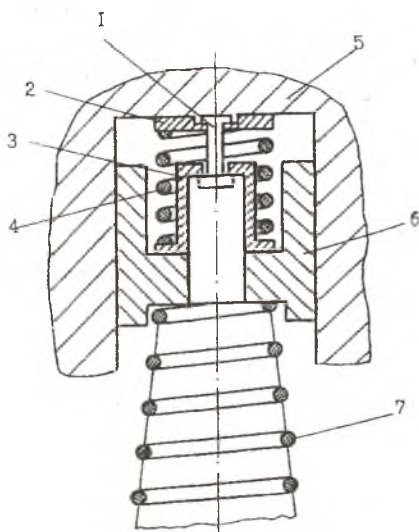
Механизм ручного управления РПО служит для изменения затяжки конической пружины центробежного регулятора, т.е. настройки регулятора на поддержание тех или иных равновесных оборотов. Механизм состоит из цилиндрической втулки 11, на наружной поверхности которой нарезаны зубья (зубчатая рейка), входящей в зацепление с зубьями валика ручного управления 12. Валик через проводку управления связан с рычагом в кабине пилотов, перемещением которого настраивают регулятор на поддержание определенных равновесных оборотов.

Зубчатая рейка за счет трения удерживается неподвижно проводкой управления. При рассоединении валика с рычагом в полете вследствие поломки проводки сила упругости конической пружины переместит зубчатую рейку вверх, что резко снизит затяжку пружины и приведет к настройке регулятора на поддержание низких равновесных оборотов. Вследствие этого тяга в/винта упадет и дальнейшее продолжение полета может стать невозможным. Особенно опасно это на взлете.

С целью исключения самопроизвольного снижения оборотов при рассоединении валика с рычагом в кабине пилотов между зубчатой рейкой и корпусом РПО устанавливается балансирующий пакет. Пакет (рис. 12) состоит из штифта 1, замковой шайбы 2, втулки 3 и пружины 4, установленной в пакет с предварительным натяжением. Верхний торец пружины упирается в замковую шайбу, а нижний — в выступ втулки 3. Такая конструкция балансирующего пакета позволяет перемещаться зубчатой рейке вверх при настройке регулятора на низкие равновесные обороты за счет сжатия пружины 4 усилием от рычага управления в кабине пилотов. При рассоединении валика с рычагом зубчатая рейка под действием конической пружины может переместиться вверх только до упора в торец втулки 3, т.к. сила упругости конической пружины меньше силы упругости пружины 4 балансирующего пакета.

При настройке регулятора на большие равновесные обороты балансирующий пакет вместе с рейкой перемещается вниз, не оказывая никакого влияния на работу РПО, а при настройке РПО на большие обороты сжатие балансирующего пакета происходит за счет усилия, передаваемого от рычага в кабине пилотов. Длина балансирующего пакета подбирается таким образом, что при полностью открытых дроссельных заслонках и рассоединении валика с рычагом в кабине пилотов РПО оказывается настроенным на под-

держание оборотов в пределах 1800-2000 об/мин, и существенного снижения тяги при этом не происходит.

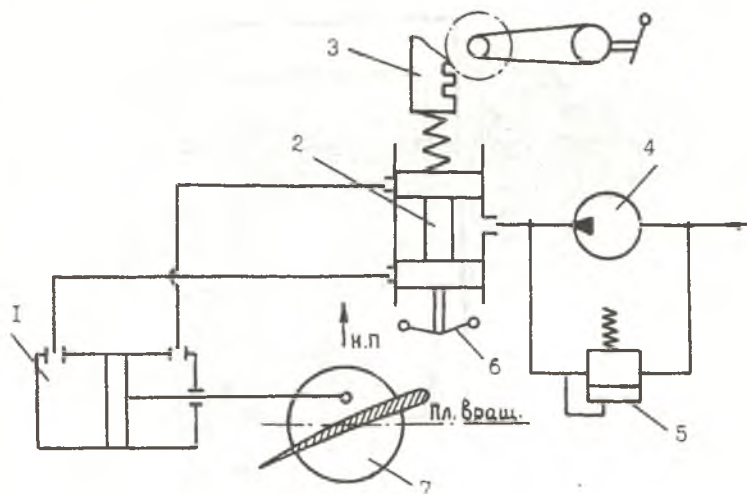


Р и с. 12. Узел центробежного регулятора с балансировочным пакетом: 1 - штифт; 2 - замковая шайба; 3 - втулка; 4 - пружина балансировочного пакета; 5 - корпус регулятора; 6 - зубчатая рейка; 7 - коническая пружина

3. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА В/ВИНТА И РЕГУЛЯТОРА ОБОРОТОВ

В/винт АВ-2 и регулятор оборотов Р-9 СМ2 образуют систему "винт-регулятор", принципиальная схема которой представлена на рис. 13. Регулятор в этой системе является командным органом, управляющим работой исполнительного устройства - гидравлическим механизмом изменения шага. На установившемся режиме (равновесных оборотах) сигнал с командного органа отсутствует и масло в полостях большого и малого шага гидромеханизма заперто золотником регулятора. При отклонении фактических оборотов от равновесных чувствительный элемент (центробежный регулятор) перемещает управляющий золотник РПО, который обеспечивает подачу масла от насоса в полости большого и малого шага гидромеханизма.

Схема совместной работы в/винта АВ-2 с регулятором оборотов Р9-СМ2 на различных режимах представлена в пп. 3.1-3.3.



Р и с. 13. Принципиальная схема системы “винт-регулятор”: 1 - гидромеханизм изменения углов установки лопасти; 2 - золотник РПО; 3-механизм настройки РПО; 4 - насос; 5 - редукционный клапан; 6 - грузики центробежного регулятора; 7 - лопасть воздушного винта

3.1. Работа системы при равновесных оборотах

На равновесных оборотах осевая составляющая центробежных сил грузиков уравнивается силой упругости конической пружины и золотник центробежного регулятора перекрывает каналы подачи масла от насоса регулятора в полости большого и малого шага (рис. 14).

Одновременно буртики золотника перекрывают каналы подвода масла к шариковым клапанам и масло от насоса регулятора подводится только к плунжеру редукционного клапана, пружина которого настроена на поддержание давления за насосом (в зависимости от оборотов двигателя) $10-18 \text{ кгс/см}^2$. Давление поддерживается путем слива масла через редукционный клапан на вход насоса по каналу “к”. На малых оборотах (1500-1600 об/мин) слив масла незначителен или полностью отсутствует, и плунжер редукционного клапана занимает крайнее правое (по схеме) положение. Давление за насосом в этом случае определяется только усилием начальной затяжки

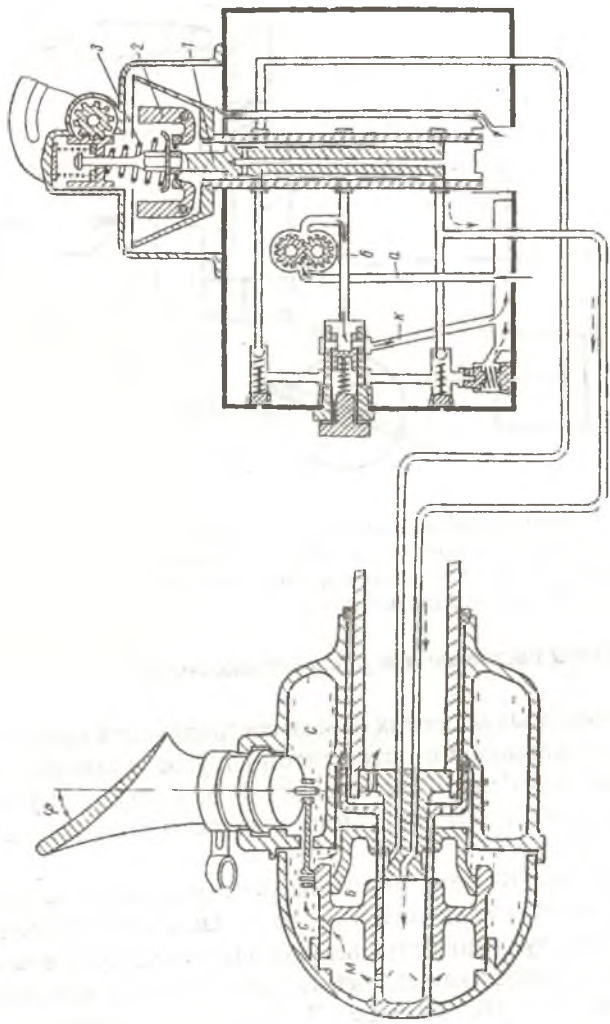


Рис. 14. Схема совместной работы РПО и в/винта на равномерных оборотах: 1 - золотник; 2 - "Г"-образные грузики; 3 - коническая втулка

пружины редукционного клапана и не превышает 10 кгс/см^2 . С ростом равновесных (заданных) оборотов увеличивается производительность насоса регулятора и плунжер редукционного клапана смещается влево, увеличивая слив масла по каналу “к” на вход насоса. Натяжение пружины при этом увеличивается и давление масла за насосом возрастает. На максимальных оборотах плунжер редукционного клапана, сжимая пружину, упирается в шток ограничителя пробки 10 (рис. 11), и давление масла при этом не превышает 18 кгм/см^2 . Максимальное давление масла регулируется положением штока ограничителя путем установки под пробку редукционного клапана шайб различной толщины. Такая конструкция редукционного клапана обеспечивает в случае поломки пружины давление за насосом не более 18 кгс/см^2 , что достаточно для работы механизма изменения шага.

Примечание. На равновесных оборотах буртики золотника не перекрывают поверхность каналы подвода масла в полость большого или малого шага, между ними имеется щель, $0,6-0,85 \text{ мм}$ (отрицательное перекрытие). За счет этого на равновесных оборотах в полости большого (или малого) шага поступает некоторое количество масла для компенсации утечек и обеспечения циркуляции масла с целью прогрева масла во втулке в/винта при длительном полете.

3.2. Работа системы при увеличении фактических оборотов выше равновесных

При увеличении оборотов выше равновесных осевая составляющая центробежных сил грузиков становится больше силы упругости конической пружины и золотник регулятора смещается вверх, открывая своим нижним буртиком слив масла из полости малого шага по каналу “е” (рис. 15) в картер двигателя. Одновременно из кольцевой полости между проточкой золотника и валиком регулятора масло от насоса регулятора поступает в канал большого шага “г” и по каналу “в” - к шариковому клапану. Через шариковый клапан масло по каналу “ж” проходит в пружинную полость редукционного клапана, плунжер которого под действием давления масла и силы упругости пружины смещается вправо, прекращая слив масла за насосом регулятора, - редукционный клапан выключается из работы. Давление масла за насосом при этом возрастает и ограничивается противоперегрузочным клапаном, к которому масло поступает по каналам “п” и “з”. Увеличение давления масла за насосом способствует быстрому переводу лопастей на больший шаг. Перегрузочный клапан ограничивает давление за насосом не выше 25-26

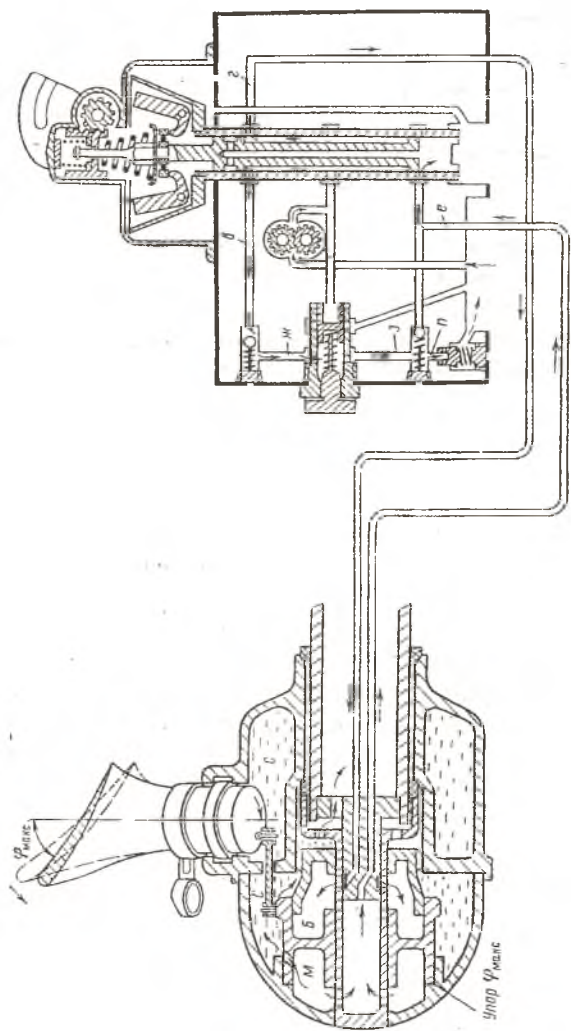


Рис. 15. Схема совместной работы РПО и в/винта при увеличении оборотов

кгс/см². Увеличение шага в/винта приводит к росту момента сопротивления вращению в/винта и при неизменной мощности двигателя к уменьшению оборотов. Центробежная сила грузиков уменьшается, и под действием конической пружины золотник регулятора смещается вниз, перекрывая подачу масла в полость большого шага и слив масла из полости малого шага, давление масла на входе и выходе шарикового клапана выравнивается, под действием пружины шариковый клапан запирает масло в каналах “ж”, “з” и в пружинной полости редукционного клапана. Таким образом, при достижении равновесных оборотов плунжер редукционного клапана остается в крайнем правом положении, а давление за насосом регулятора будет увеличиваться, т.к. канал подачи масла в полость большого шага перекрыт золотником регулятора. Давление за насосом регулятора возрастает до тех пор, пока плунжер редукционного клапана, смещаясь влево, не вытеснит масло из магистралей “ж” и “з” на слив через перегрузочный клапан. При этом давление масла в каналах “ж” и “з” и пружинной полости редукционного клапана упадет, и редукционный клапан вновь окажется настроенным на поддержание давления за насосом в пределах 10-18 кгс/см².

3.3. Работа системы при уменьшении фактических оборотов ниже равновесных

При уменьшении фактических оборотов ниже равновесных осевая составляющая центробежных сил грузиков чувствительного элемента становится меньше силы упругости конической пружины и золотник регулятора смещается вниз (рис. 16). В результате полость большого шага через канал “г”, верхнюю проточку, радиальное и осевое отверстия золотника сообщается со сливом. Одновременно нижний буртик золотника открывает подачу масла от насоса в канал малого шага “е”, а по каналу “д” - к нижнему шариковому клапану и далее в пружинную полость редукционного клапана, выключая его из работы. Давление за насосом возрастает, что приводит к быстрому переводу лопастей на меньшие углы установки, уменьшению момента сопротивления вращению в/винта и увеличению оборотов. С увеличением оборотов возрастает центробежная сила грузиков и золотник возвращается в нейтральное положение, прекращая подачу масла в канал малого шага “е” и слив масла из полости большого шага по каналу “г”. Работа силовой части регулятора при этом аналогична работе при увеличении равновесных оборотов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение геометрической крутки лопастей. С какой целью производится геометрическая крутка?
2. Дайте определение «угол установки», «угол атаки» лопастей. Какие факторы определяют изменение угла атаки лопасти при неизменном угле установки?
3. Какие факторы обуславливают изменение оборотов воздушного винта при неизменных эффективной мощности двигателя и шаге воздушного винта?
4. В чем заключаются недостатки воздушного винта фиксированного шага?
5. Почему при постоянной скорости полета с изменением высоты изменяются обороты воздушного винта фиксированного шага при $N_e = \text{const}$?
6. В чем преимущество воздушного винта изменяемого шага по сравнению с воздушным винтом фиксированного шага?
7. Как следует изменять угол установки лопастей ВИШ для поддержания постоянных оборотов ($N_e = \text{const}$) при:
 - а) увеличении высоты полета;
 - б) увеличении скорости полета?
8. Как влияют на изменение установочного угла лопасти моменты от аэродинамических и собственных центробежных сил лопасти?
9. Каково назначение противовесов, устанавливаемых на лопастях воздушного винта АВ-2?
10. Определить угол атаки сечения лопасти воздушного винта, расположенного на расстоянии $r = 0,7R$ от оси воздушного винта для следующих условий:

а) $V=0$,	$n=900$ об/мин.	$\varphi=2^\circ$;
б) $V=150$ км/час,	$n=1500$ об/мин.	$\varphi=21^\circ$;
в) $V=250$ км/час,	$n=2000$ об/мин.	$\varphi=28^\circ$.

(n - обороты к/вала двигателя; $R=1,8$ м).

Ответ: а) $\alpha=2^\circ$; б) $\alpha=5^\circ$; в) $\alpha=8^\circ$.
11. Определить угол установки сечений лопасти φ , отстоящих от оси воздушного винта на расстояниях, равных 0,3; 0,5; 0,7 и 0,9 радиуса лопасти R , и величину геометрической крутки γ

между сечениями на радиусах от 0,3 до 0,9 R при следующих условиях:

- скорость полета $V=150$ км/час;
- обороты коленчатого вала двигателя $n=1450$ об/мин;
- угол атаки сечений $\alpha=6^\circ$.

Радиус лопасти воздушного винта $R=1,8$ м.

Ответ:	$r=0,3$	$\varphi=42^\circ 30'$
	$r=0,5$	$\varphi=29^\circ 50'$
	$r=0,7$	$\varphi=23^\circ 20'$
	$r=0,9$	$\varphi=19^\circ 50'$

Крутка $\gamma=22^\circ 40'$.

12. Основные элементы конструкции РПО и их назначение.
13. Назначение и состав силовой части РПО.
14. Назначение механизма ручного управления РПО.
15. Назначение балансирующего пакета узла центробежного регулятора РПО.
16. Как отразится на работе системы «воздушный винт-РПО» увеличение затяжки пружины балансирующего пакета?
17. Назначение перегрузочного клапана силовой части РПО.
18. С какой целью редукционный клапан РПО выключается из работы при подаче давления от насоса РПО в магистрали большого и малого шага?
19. Как скажется на работе системы «воздушный винт – РПО» заедание шариковых клапанов в закрытом положении?
20. Опишите работу РПО в случае рассоединения в полете рычага управления воздушным винтом в кабине самолета с механизмом ручного управления центробежным регулятором РПО.
21. Опишите работу системы «воздушный винт – РПО» при увеличении (уменьшении) оборотов воздушного винта выше (ниже) равновесных.

Учебное издание

Морозов Юрий Михайлович

**ВОЗДУШНЫЙ ВИНТ И РЕГУЛЯТОР
ПОСТОЯННЫХ ОБОРОТОВ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ
САМОЛЕТА Ан-2**

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Чегодаева

Подписано в печать 12.04.02 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,62 . Усл. кр.-отг. 1,74 . Уч.-изд. л. 1,75.

Тираж 400 экз. Заказ 43 . Арт. С-15/2002.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С.П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного аэрокосмического
университета им. академика С.П. Королева,
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.