

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИСПЫТАНИЕ
НАСОС-РЕГУЛЯТОРА НР-30АР

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1995

(1995)

Составители: Е.А.Вакулич, Д.Г.Жуков,
А.Е.Жуковский, М.Ф.Майко, Е.Ю.Мор-
двинцев, К.А.Нападов, В.А.Шабашо-
вов

УДК 621.452

Автоматизированное испытание насос-регулятора
НР-30АР: Метод. указания к лаб.работе /Самар.
гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Е.А.Вакулич,
Д.Г.Жуков, А.Е.Жуковский, М.Ф.Май-
ко, Е.Ю.Мордвинцев, К.А.Нападов,
В.А.Шабашов. Самара, 1995. 63 с.

Содержат описание конструкции и работы агрега-
та НР-30АР, испытательного стенда, системы измере-
ний, технологии проведения испытания и алгоритмов
обработки результатов.

Предназначены для студентов, изучающих курс
"Испытания агрегатов и двигателей". Подготовлены
на кафедре АСЭУ.

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

Рецензент В.Н.Михнович

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ	5
2. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ	6
2.1. Назначение и функции насос-регулятора НР-30АР	6
2.2. Работа агрегата на установившихся режимах	7
2.3. Работа агрегата на переходных режимах	II
3. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД	18
3.1. Общие характеристики стенда и требования к системам	18
3.2. Устройство и принципы работы топливной системы ..	19
3.3. Агрегаты гидравлической системы	20
3.3.1. Расходный бак	20
3.3.2. Подкачивающий насос	21
3.3.3. Кран включения НБ810-50	22
3.3.4. Фильтр тонкой очистки 8Д2. 966.50 I-05	22
3.3.5. Радиотовары (тип 62)	22
3.3.6. Пульт управления	23
3.3.7. Энергоблок стенда	24
3.3.8. Измерительный комплекс стенда	25
4. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ	25
4.1. Информационное обеспечение	28
4.2. Выбор первичных преобразователей	30
4.2.1. Измерение температуры	30
4.2.2. Измерение давления	32
4.2.3. Измерение расхода	33
4.2.4. Измерение частоты вращения	33
4.2.5. Измерение угла поворота	34
4.2.6. Измерение пульсаций давления	34
4.3. Выбор промежуточных преобразователей	34
4.3.1. Термопреобразователь напряжения	34
4.3.2. Генератор синусоидальных напряжений	35
4.3.3. Промежуточные преобразователи для датчиков давления	35
4.3.4. Промежуточные преобразователи для турбинных датчиков расхода и тахомет- рических датчиков частоты вращения	35

4.3.5. Промежуточный преобразователь для угла поворота сектора газа.....	36
4.3.6. Промежуточные преобразователи для каналов измерения пульсаций давления...36	36
4.4. Коммутатор аналоговых сигналов и аналого- цифровой преобразователь	37
4.5. Выбор ЭВМ для системы	37
4.6. Структурная схема системы	38
4.7. Алгоритмы обработки информации	39
4.7.1. Измерение расхода	39
4.7.2. Измерение скорости вращения	39
4.7.3. Алгоритм определения равновесных оборотов	40
4.8. Требования к составу программного обеспече- ния	41
4.9. Реализация программного обеспечения	41
4.9.1. Программа тарировки датчиков	43
5. СНЯТИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОС-РЕГУЛЯТОРА	44
6. СНЯТИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОС-РЕГУЛЯТОРА	47
7. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ	48
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	50
ПРИЛОЖЕНИЕ	51

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Традиционные технологии испытаний и настройки сложных агрегатов гидродвигательных систем авиационной техники построены на следующих принципах:

1. На основании опыта экспериментальной отработки агрегата, накопленного в процессе проектирования, КБ - разработчик выдает на серийный или ремонтный завод гидравлические характеристики отдельных узлов и даже каналов агрегата, размеры и параметры упругих элементов (пружин, мембран и т.д.), другую информацию, характеризующую работу агрегата.

2. Назначаются режимы проведения испытаний для контроля и настройки каждого из узлов, определяющие множество характеристик агрегата. В некоторых случаях проводимое при этом препарирование агрегата и систем стендового оборудования может создать условия для деформации самих контролируемых параметров и выходных характеристик (пульсационные и вибрационные спектры, разгонные характеристики и т.п.).

3. Регистрация большого количества измерений и их обработка возложена на операторов, т.е. возможно проявление субъективизма оценок.

Таким образом, оператор вынужден устанавливать на стенде до 100 различных режимов испытания и регистрировать на каждом режиме от 5 до 10 измерений. Отсюда неизбежны большие затраты времени и ресурсов при отсутствии гарантии точности и качества результатов испытания.

Подобный поток информации сравним с информацией на МСРП-64 (магнитная система регистрации параметров), так называемом "черном ящике", которая позволяет анализировать состояние систем самолета Ту-154 и является явно избыточной для автономного агрегата.

Гидродвигательные агрегаты, например, регуляторы дозировки топлива типа НР-30 выполняют на авиадвигателях значительное количество

во функций, таких как запуск на земле и в воздухе, обеспечение темпа изменения режима работы двигателя, поддержание установившихся (статических) режимов в полете и на земле, ограничение режимов, защиту двигателя от перегрузок и т.п. Отсюда — сложность их конструкции, значительное число узлов, подлежащих настройке, каждый из которых выполняет преимущественно автономную функцию.

Однако результатом функционирования всех этих узлов и агрегата в целом является изменение или поддержание главного параметра — расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания двигателя. Поэтому достаточно создать на стенде условия, близкие к эксплуатационным и зарегистрировать расход топлива через агрегат.

При наличии у агрегата дополнительных функций — выдача команд в другие системы, распределение топлива по контурам камеры сгорания и т.д. — устанавливаются соответствующие измерения для оценки этих дополнительных функций опять же без вмешательства во внутренние системы агрегата.

2. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ

2.1. Назначение и функции насос-регулятора НР-30АР

Насос-регулятор НР-30АР является основным агрегатом системы автоматического регулирования и обеспечивает дозировку топлива в камеру сгорания двигателя в зоне как прямой, так и обратной тяги. Агрегат получает привод от ротора высокого давления (ВД).

Агрегат НР-30АР обеспечивает:

повышение давления и автоматическую дозировку подачи топлива в камеру сгорания двигателя на всех режимах работы;

питание всех агрегатов системы регулирования топливом высокого давления;

плавное увеличение подачи топлива в двигатель при его запуске в зависимости от давления за компрессором;

поддержание заданного постоянного расхода топлива в диапазоне ручного регулирования от режима малого газа (МГ) до начала автоматической работы (НАР);

поддержание заданной частоты вращения ротора в диапазоне автоматического регулирования выше НАР до режимов ограничения;

совместно с агрегатом ЦР-2ВР дозировку подачи топлива в процессе разгона двигателя в зависимости от частоты вращения ротора ВД и давления за компрессором;

плавное уменьшение подачи топлива при сбросе газа в соответствии с временной характеристикой гидрозамедлителя;

распределение дозированного топлива между контурами форсунок;

ограничение максимально допустимой температуры газов;

ограничение степени сжатия за счет уменьшения подачи топлива в двигатель;

совместно с агрегатом ЦР-1ВР ограничение максимальной частоты вращения ротора низкого давления (НД);

ограничение режима максимальной обратной тяги;

останов двигателя.

2.2. Работа агрегата на установившихся режимах

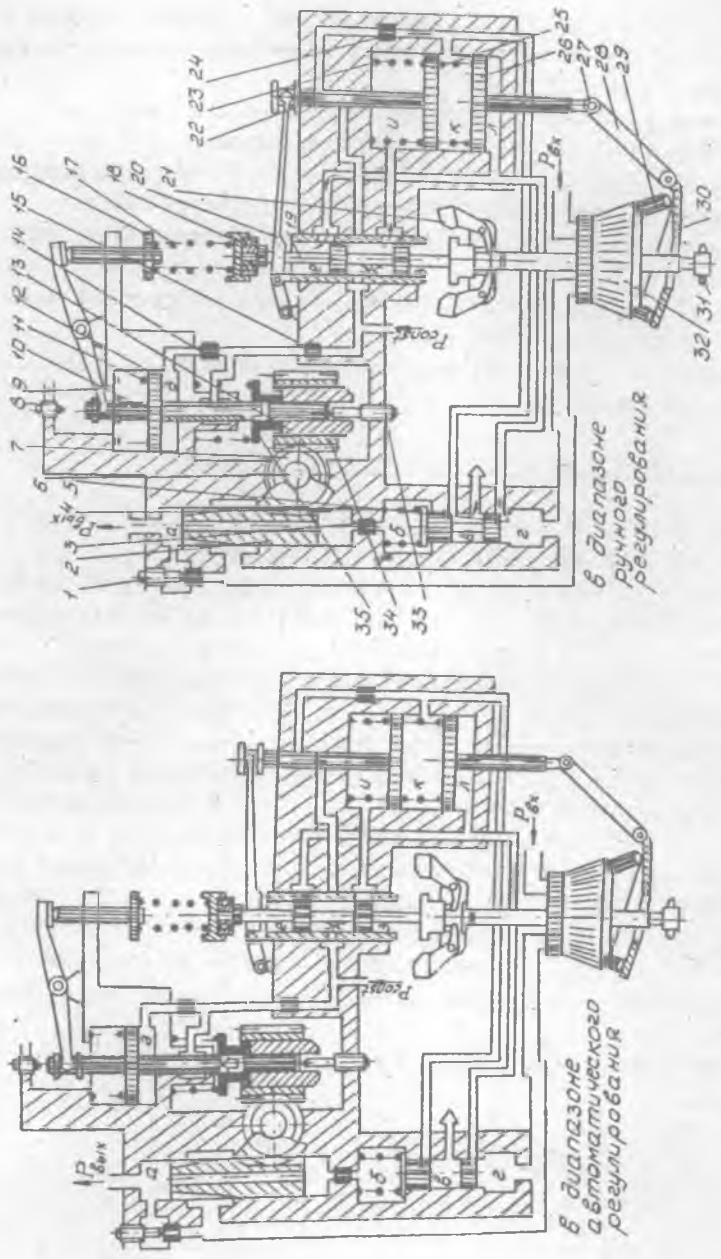
В НР-30АР имеются регуляторы: постоянной подачи топлива ($G_T = const$) и физической частоты вращения ротора ВД ($n_{\text{ВД}} = const$).

Регулятор $G_T = const$ работает в диапазоне режимов ВД от МГ до частоты вращения ротора ВД 9700 об/мин (НАР) и на режимах обратной тяги (диапазон ручного регулирования), а регулятор $n_{\text{ВД}} = const$ от частоты НАР 9700 об/мин до взлетного режима (диапазон автоматического регулирования). Регуляторы $G_T = const$ и $n_{\text{ВД}} = const$ включены параллельно и воздействуют на один общий сервомотор. Координацию работы регуляторов и условия правильной блокировки выполняет в НР-30АР механизм объединенного управления (рис. 1). Он включает в себя валик 6 РУД с двумя зубчатыми колесами, иглу дроссельного крана 2 и гидроза-медлитель двустороннего действия, который осуществляет связь между РУД и пружиной центробежного регулятора 17.

Регулятор $G_T = const$ непрямого действия включает: дроссельный кран с иглой 2, чувствительный элемент - клапан постоянного перепада давлений (КПД) 5 и сервомотор издромного регулятора частоты вращения 26, 27.

Рассмотрим принцип действия регулятора постоянной подачи топлива. Из формулы

$$G_T = \mu_{\text{оп}} F_{\text{оп}} \sqrt{2\rho_r \Delta P_{\text{оп}}} \quad (2.1)$$



Р и с. 1. Механизм объединенного управления НР-30АР

где $\mu_{др}$ - коэффициент расхода топлива через дроссельный кран (ДК);

$F_{др}$ - площадь проходного сечения ДК, однозначно определяемая положением РУД;

ρ_T - массовая плотность топлива;

$\Delta P_{др}$ - перепад давлений на ДК,

следует, что при поддержании $\Delta P_{др} = const$ можно обеспечить постоянную подачу топлива к форсункам. С другой же стороны, при $\Delta P_{др} = const$ только РУД будет определять расход топлива в камеру сгорания. На этом принципе и работает регулятор $G_T = const$. Действительно, в диапазоне ручного регулирования на любом установившемся режиме работы двигателя золотник 5 занимает равновесное положение, показанное на рис. 1. В этом случае через проточку золотника 5 осуществляется слив из межпоршневой полости К, в которую она поступает через дроссельный пакет 24 от КПД, а нижний пояс перепускает в полость Л сервопоршня 26 топливо из магистрали высокого давления. На сервопоршне устанавливается перепад давлений, необходимый для удержания наклонной шайбы 30 в положении, при котором подача достаточна для поддержания $\Delta P_{др} = const$. Чувствительный элемент регулятора - золотник 5 будет стремиться поддерживать перепад на дроссельном кране постоянным с необходимой точностью и статической погрешностью, не превышающей 0,05 МПа, так как из уравнения равновесия золотника

$$P_2 F = P_a F + P_{пр} \quad \text{или} \quad \Delta P_{др} = \frac{P_{пр}}{F}, \quad (2.2)$$

где P_2 - давление перед ДК,

P_a - давление за ДК,

$P_{пр}$ - усилие затяжки пружины КПД,

следует, что при $P_{пр} = const$ выполняется и $\Delta P_{др} = const$. Однако золотник 5 является также управляющим элементом сервомотора, в то время как ДК представляет собой элемент настройки. Рассмотрим далее работу регулятора $G_T = const$ при поддержании равновесного режима, а также работу регулятора по достижении частоты вращения ротора ВД 9700 об/мин, т.е. при переходе работы НР-30АР на диапазон автоматического регулирования.

При переводе РУД от середины площадки малого газа (СПМГ) до рис-ки НАР золотник 5 ДК опускается вниз. При этом происходит уменьшение

ΔP_{op} и исходное равновесие нарушается. Под действием силы затяжки пружины 4 золотник 5 опускается вниз, уменьшая слив из полости К, одновременно дросселируя поступление топлива в полость Л, что воздействует на сервопоршень наклонной шайбы 26 и переводит наклонную шайбу 30 на больший угол. Производительность насоса растет, ΔP_{op} увеличивается до заданной (1,0 МПа) величины, а золотник 5 занимает равновесное положение. Так как увеличилась площадь дросселя, то в соответствии с выражением (2.1) выросла подача топлива в камеру сгорания и частота вращения ротора ВД. Так происходит перенастройка регулятора.

Одновременно малая шестерня валика 6 перемещает вверх рейку 13 с муфтой 35 гидрозамедлителя. Однако пружина 17 не меняет своей затяжки, так как муфта не препятствует сливу из отверстий штока 10 топлива от дроссельного пакета 15. Под действием пружины 11 шток 10 остается на упоре регулировочного винта НАР 33, и регулятор $n_{BA} = const$ сохраняет настройку, соответствующую частоте 9700 об/мин, и остается выключенным на всем диапазоне ручного регулирования.

В зоне риска НАР потребный расход топлива обеспечивается в условиях $\Delta P_{op} < 1,0$ МПа, что обеспечивается профилировкой иглы и втулки ДК, и регулятор $G_T = const$ выключается из работы. Далее работу поддерживает регулятор $n_{BA} = const$. При переводе РУД от риска НАР до СИМГ процесс идет аналогично.

Аналогично работает регулятор в режиме обратной тяги. Отличие состоит в том, что ΔP_{op} поддерживается при помощи Т-образных профилированных пазов на игле ДК.

Регулятор $n_{BA} = const$ с точностью 50 об/мин поддерживает заданный режим. Основными элементами регулятора физической частоты вращения ротора ВД являются (см. рис. 1):

центробежный маятниковый чувствительный элемент 21;

"следящая пара" - золотник 18 и гильза 19;

пружина 17;

механизм обратной изохромной связи (рычаг второго рода 20, связывающий гильзу 19 с поршнем 25 через золотник 22);

дроссельный пакет 24, определяющий быстродействие изодрома;

сервопоршень 26 наклонной шайбы 30.

Принцип действия регулятора основан на сравнении настройки пружины 17, которую она получает через гидрозамедлитель при перемещении РУД с усилием, развиваемым чувствительным элементом 21.

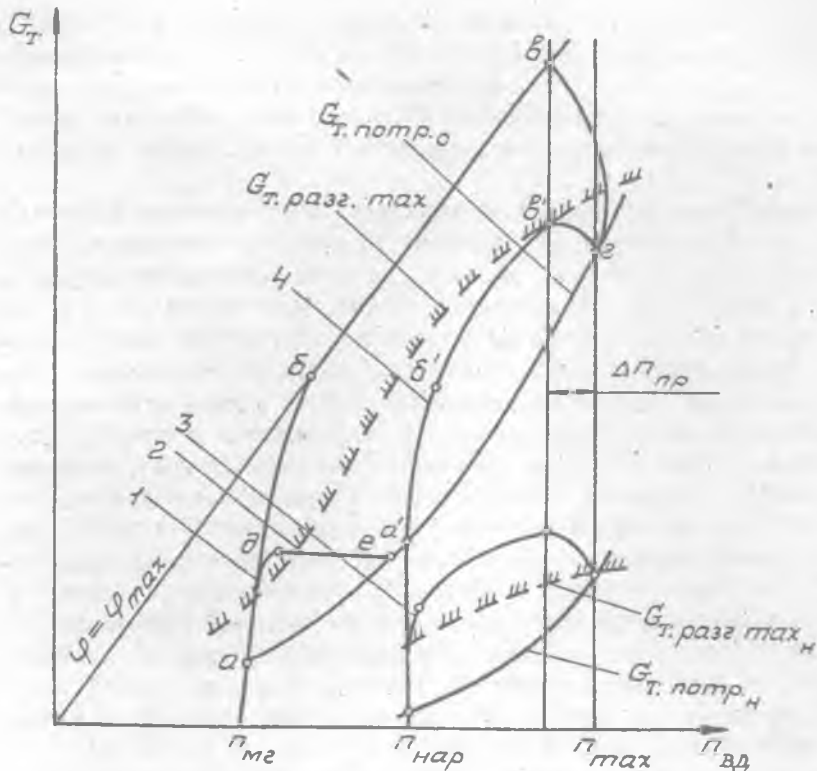
На любом установившемся режиме полета золотник 18 занимает относительно гильзы 19 нейтральное положение, другие элементы также находятся в равновесии.

Золотник 22 разобьщает полость К с каналами высокого и низкого давления; золотник клапана 5 находится на нижнем упоре и герметизирует полость К; в полостях И и Л устанавливается перепад давлений, удерживающий в равновесии сервопоршни 25 и 26 наклонной шайбы 30; качающийся узел обеспечивает потребный для заданной частоты ротора ВД расход топлива.

Рассмотрим работу регулятора в процессе восстановления возникшего отклонения. С падением $n_{вд}$ золотник 18 смещается относительно гильзы вниз, в результате чего давление в полости И увеличивается, а в полости Л уменьшается. Это приводит к перемещению поршней 25 и 26 вниз, так как полость К представляет собой в этот момент замкнутую полость с фиксированным объемом, и наклонная шайба 30 переводится на увеличение подачи. Произойдет увеличение частоты вращения, и золотник 18 начнет перемещаться вверх. Гильза 19 под действием рычага 20, перемещающегося по часовой стрелке, начнет свое движение вниз, навстречу золотнику 19, и займет относительно него нейтральное положение, в результате чего давления в полостях Л и И выравняются, а поршни двинутся в разные стороны, восстанавливая заданную частоту. Поршень 25 вновь будет прикрывать канал золотника 22, перелуфтившего топливо в полость К и увеличившего ее объем, и в конце процесса герметизирует канал подвода в полость К. Гильза 19 с золотником 18 займут исходное положение, за исключением поршня 26, так как объем межпоршневой полости К изменится. Для исключения забросов по температуре на золотнике 22 выполнен упор, который совместно с дроссельным пакетом 24 за счет гидросопротивления замедляет движение сервопоршня. При самопроизвольном увеличении $n_{вд}$ регулятор работает аналогично.

2.3. Работа агрегата на переходных режимах

При быстром (1...2 с) перемещении РУД от СПМГ до ПГ на режиме прямой тяги происходит полное открытие дозирующей иглы ДК, падение перепада давлений на ней, значительное смещение золотника КПД, что вызывает резкое перемещение сервопоршня на увеличение подачи топлива в двигатель (кривая I, рис. 2). В точке "δ" шайба устанавливается на упор максимальной производительности и расход топлива соответствует располагаемой производительности насоса. В точке "β" регулятор $n_{вд} = const$ с некоторым предварением $\Delta n_{пр}$ к частоте настройки n_{max}



Р и с. 2. Изменение подачи топлива по частоте вращения ротора ВД при разгоне двигателя

начнет уменьшать подачу топлива до требуемой величины. В зоне от СПМГ до НАР регулятор $G_T = const$ в короткий отрезок времени почти при постоянной частоте увеличивает подачу топлива до восстановления перепада давления на проссельном кране (отрезок "а-δ" кривой 2), а затем при постоянной подаче топлива происходит рост $n_{ВД}$ (отрезок "δ-ε" кривой 2). Далее при резком перемещении РУД от НАР до ПГ происходит смещение золотника 18 вниз (см. рис. I), что вызовет увеличение подачи топлива (отрезок "а'-δ'" кривой 4). После постановки поршня 25 на упор (точка "δ'") увеличение подачи замедляется (отрезок "δ'-δ'"). На-

чая с момента ("б"), регулятор уменьшает подачу и выводит двигатель на максимальный режим ($n_{вд} = const$).

Таким образом, разгон ротора ВД собственно регулятором осуществляется со значительным превышением располагаемой подачи топлива над максимально допустимой величиной и сопровождается опасным забросом T^* . Поэтому в НР-30АР введены гидрозамедлитель и автомат разгона.

Гидрозамедлитель двустороннего действия замедляет темпы перенатяжки пружины I7 (рис. 3) постоянной жесткости, а это означает, что скорость перемещения поршня I2 гидрозамедлителя будет равна скорости изменения частоты вращения, заданной регулятором $n_{вд} = const$. Однако в этом случае требуется корректировка переменных характеристик замедлителя по режимам полета, что в свою очередь ухудшает приемистость двигателя. Поэтому для получения оптимальной характеристики приемистости вводится автомат разгона (АР).

Автомат разгона корректирует подачу топлива в соответствии с уравнением

$$G_T = \kappa n_{вд} P_{к.кор}^* \quad (2.3)$$

где κ — коэффициент пропорциональности;

$n_{вд}$ — частота вращения ротора ВД;

$P_{к.кор}^*$ — скорректированное давление воздуха.

Автомат разгона последовательно включен в систему каналов основного топлива насоса НР-30АР. Подача топлива АР будет корректироваться одновременно путем изменения площади проходного сечения дозирующей иглы 3 и перепадом давлений на ней $\Delta P_{а.и.}$, причем площадь изменяется пропорционально $P_{к.кор}^*$, а $\Delta P_{а.и.}$ пропорционально квадрату частоты вращения ротора ВД. АР состоит из:

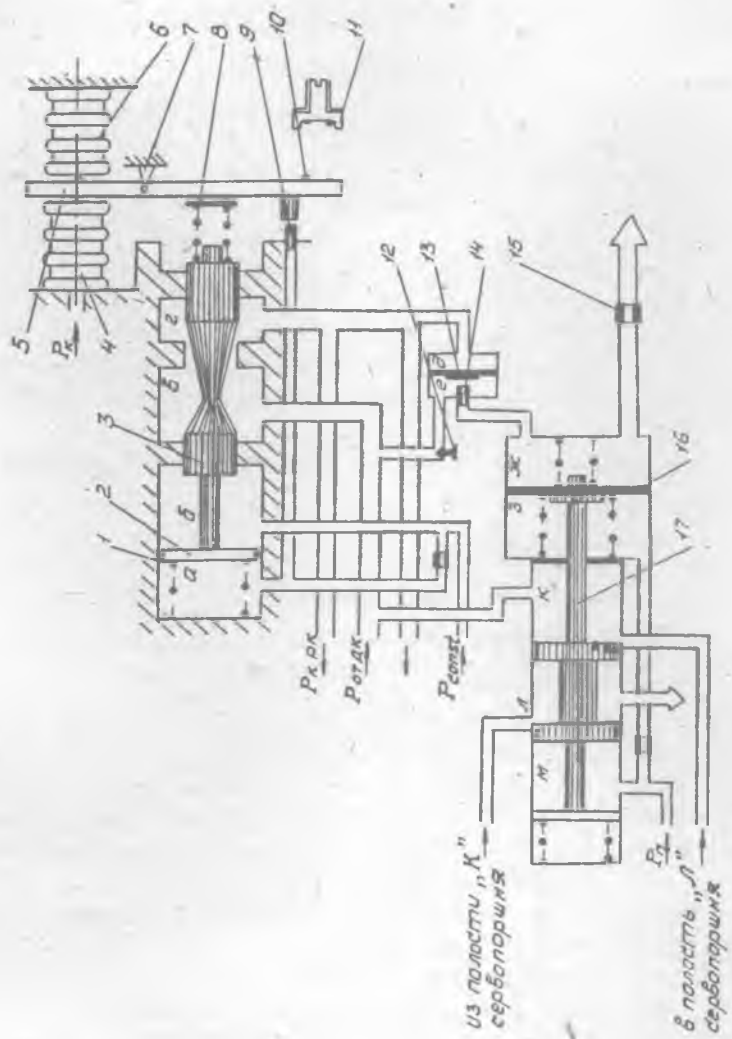
дозировочной иглы 3 с поршнем 2, пружинами I и 8, демфера I8;

механизма изменения площади (4-II);

механизма поддержания $\Delta P_{а.и.}$ (I2-I7).

На установившихся режимах работы клапан 9 устанавливает в камерах "а" и "б" перепад давлений топлива, необходимый для удержания иглы 3 в нужном положении, т.е. при определенной площади.

Необходимый перепад давлений $\Delta P_{а.и.}$ обеспечивается механизмом поддержания перепада давления: регулируемый I2 и постоянный I5 жиклеры; мембрана нулевого перепада I3 с клапаном I4; клапан поддержания $\Delta P_{а.и.}$



Р и с. 3. Схема гидроизмерителя

с мембраной 16 и золотником 17 воздействуют на сервомеханизм наклонной шайбы.

На мембрану 16 КПД АР со стороны камеры 3 действует сила пружины и сила давления P_n , пропорциональная квадрату частоты вращения ротора ВД, подводимой через жиклер от ЦР-2ВР, а со стороны камеры Ж — пружина и давление топлива, пропорциональное $\Delta P_{дн}$ на игле 3. Пропорциональность достигается следующим образом. Перепад давления на игле 3 равен перепаду на регулируемом жиклере 12, так как перепад давлений между камерами "б" и "г" поддерживается клапаном 14, равным для "е" и "д" соответственно. Из камеры топливо через клапан 14 подается к жиклеру 15. А так как коэффициенты расходов и площади проходных сечений для жиклеров 12 и 15 равны, то и перепады давления на них пропорциональны. За жиклером 15 присутствует постоянное давление слива, и можно утверждать, что давление перед жиклером 15 (или в камере Е) пропорционально перепаду давлений на жиклере 12. Итак, на регулируемом жиклере 12 поддерживается перепад, равный перепаду на игле 3, что определяет пропорциональность перепада $\Delta P_{дн}$ давлению в камере Ж мембраны 16, а значит и по отношению к давлению в полости 3, в которую подведено давление P_n .

Если давление в полости Ж увеличится, то прогиб мембраны сдвинет золотник 17, который вскроет канал подвода топлива высокого давления из полости К под сервопоршень наклонной шайбы и слива топлива из межпоршневой камеры через проточку Л.

Теперь рассмотрим работу АР НР-30АР при даче приемистости двигателю на режиме прямой тяги с МГ до НАР. При резком (1...2 с) смещении РУД от СИМГ до НАР произойдет смещение иглы 2 ДК регуляторов (см. рис. 1) $G_T = \text{const}$ и $n_{вд} = \text{const}$ вниз и золотник 5 КПД сядет на упор, вызывая перераспределение давлений в полостях Ж и З; наклонная шайба быстро переместится в сторону максимальной производительности. В результате резко возрастет перепад давлений на игле 3 АР (рис. 3). Произойдет смещение золотника 17 влево и соединение канала высокого давления с нижней камерой сервомеханизма, а также слива с межпоршневой камерой. Поэтому быстрое перемещение наклонной шайбы на увеличение подачи будет приостановлено.

С ростом $n_{вд}$ будут расти давление за компрессором и давление топлива P_n . С увеличением давления за компрессором сильфон 4 расширится и повернет рычаг 5 на прикрытие канала 9, стравливающего топливо из камеры "а". Дозирующая игла 3 АР начнет перемещаться вправо

со скоростью, обусловливаемой пропускной способностью демпфера 16, увеличивая подачу топлива в камеру сгорания. Одновременно в процессе разгона перепад на игле 3 AP растет пропорционально росту давления P_n , так как золотник 17 AP смещается вправо, уменьшая подачу топлива высокого давления в камеру I сервомеханизма и уменьшая слив из межпоршневой камеры K. Наклонная шайба изменяет скорость перемещения в сторону увеличения подачи.

На установившемся режиме работы давление P_n в полости 3 выше, чем в полости Ж, и золотник 17 AP разобщает канал подвода и слива от сервомеханизма, не оказывая влияния на наклонную шайбу. С другой стороны, рычаг 5 AP повернется на открытие клапана 9, и на поршне 2 установится перепад давления, определяющий равновесное положение дозирующей иглы 3 AP.

Таким образом, при $n_{BA} = 9700$ об/мин AP отключится, а поддержит заданный режим регулятор $n_{BA} = const$.

При даче преимуществ от ИГ до ПГ САР (ИР-30АР) работает аналогично; корректирует подачу топлива AP, а гидрозамедлитель не влияет на его работу.

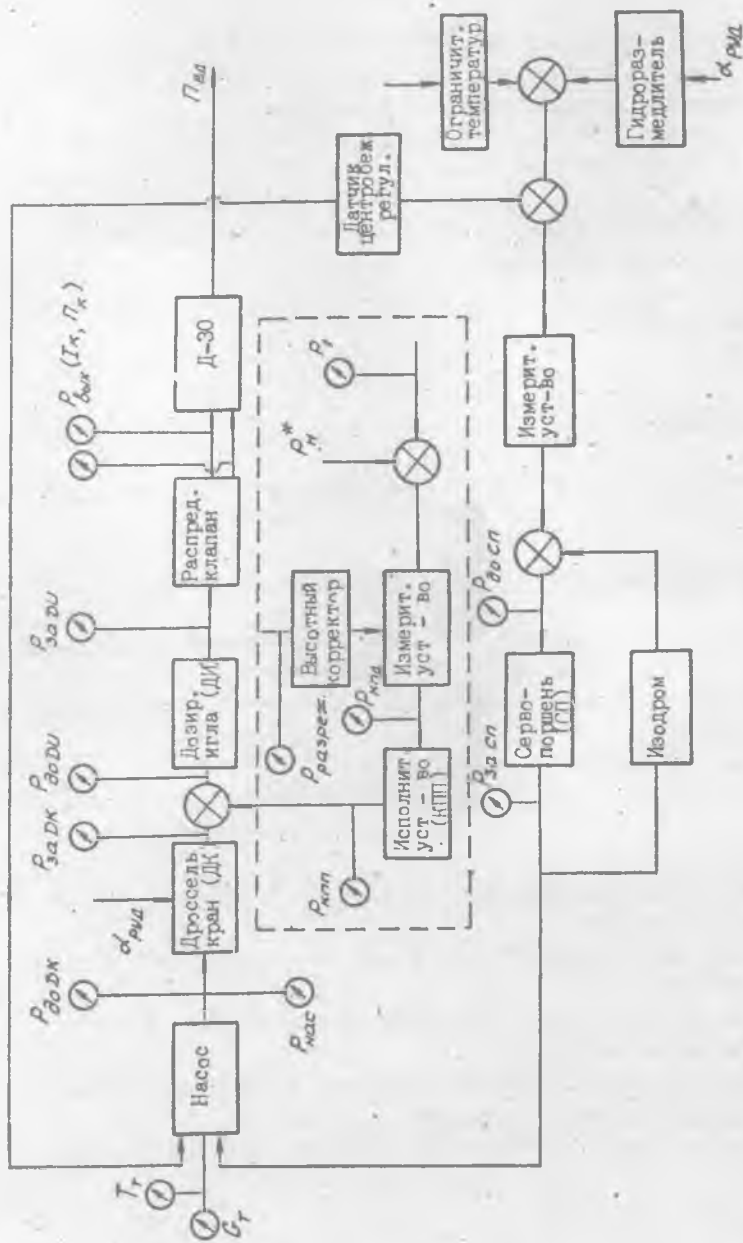
Во время разгона ротора при $n_{BA} = 9400$ об/мин ИР-2ВР автоматически произведет закрытие ЗПВ, поворот лопаток ВНА КВД в рабочее положение и установку ЗОВ в положение "Отбор воздуха от 5-й ступени КВД".

Сброс газа двигателя осуществляется уменьшением подачи топлива до значений, лежащих ниже подачи на установившихся режимах. Эти функции выполняет гидрозамедлитель насос-регулятора ИР-30АР. При переводе РУД от ПГ до НАР не происходит интенсивного снижения подачи топлива, так как регулятор $n_{BA} = const$ снижает перепад давлений на ДК со скоростью, обусловленной срабатыванием гидрозамедлителя.

Колесо 7 (см. рис. 1) опускает рейку 13 и муфту 35, увеличивая слив из штока 10. Слив из камеры "д" больше подвода от пакета 15 "прямого хода", и поршень 9 перемещается вниз со скоростью, обусловленной пакетом 14 "обратного хода". Таким образом, перенастройка пружины 17 идет в заданном темпе и подача снижается замедленно.

Обеспечение вышеизложенных функций в пределах, оговоренных техническим заданием на агрегат, требует его настройки, которая заключается в подборе соответствующих пружинных пакетов и начального натяжения пружин по всему тракту движения топлива через агрегат.

Традиционная технология испытания и настройки агрегата требует при этом большого количества измерений по топливному тракту (рис.4),



Р и с. 4. Состав измерений параметров агрегата HP-30AR при традиционной технологии

проводимых на стационарных режимах работы агрегата. В результате имеем большую трудоемкость и недостаточную точность настройки, особенно на переходных режимах, которые вообще не проверяются.

Нетрудно заметить, что все настроечные элементы в конечном итоге влияют на расход через регулятор давления топлива в контурах и на скорость изменения этих параметров при переходных режимах. Автоматизация измерений и программное изменение хотя бы частоты вращения вала привода регулятора позволит ограничиться измерением только выходных параметров агрегата с контролем настройки как на стационарных, так и на переходных режимах работы.

3. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Стенд предназначен для испытания агрегатов, требующих один привод: насосов, регуляторов, систем насос-регуляторов и т.д.

3.1. Общие характеристики стенда и требования к системам

- 1) Рабочая жидкость - керосин Т-1, ТС-1 ГОСТ 10227-86.
 - 2) Температура рабочей жидкости не более 80°C.
 - 3) Температура окружающей среды не выше плюс 35°C. относительная влажность не более 80%.
 - 4) Мощность привода энергоблока 70 кВт;
 - 5) Диапазон частоты вращения привода стенда от 300 до 6000 об/мин.
 - 6) Чистота рабочей жидкости на входе в объект не грубее 9-го класса по ГОСТ 17216-71.
 - 7) Напряжение в сети постоянного тока электромагнитных клапанов и электроприводов 27 ±2,7 В.
 - 8) Размещение трубопроводов обеспечивает свободный доступ к регулировочным элементам.
 - 9) Трубопроводы между агрегатами должны иметь не более трех стыбов, радиусы изгибов не менее 0,1 м.
 - 10) Приборы и рукоятки должны быть снабжены четкими и понятными надписями, поясняющими их функциональное назначение.
- II) Приборы на панели группируются по признакам их функционального назначения.

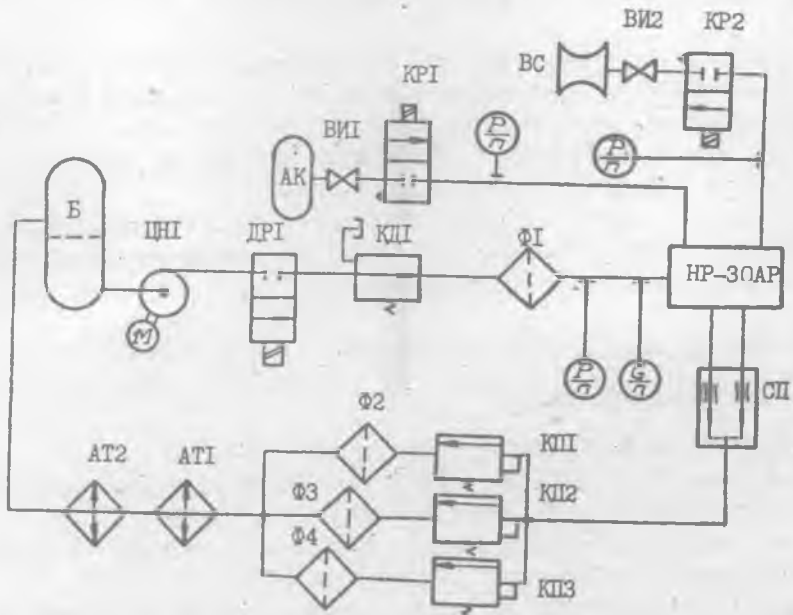
12) Воздух, подводимый к вакуумным полостям объекта испытаний, должен быть сухим и чистым. Тонкость фильтрации до 40 мкм. Точка росы минус 25°С.

13) Подвески всех стрелочных приборов должны исключать влияние вибрации силовой части стенда на показания приборов.

14) Заправка топлива в бак должна производиться через фильтры с тонкостью фильтрации не более 10 мкм.

3.2. Устройство и принципы работы топливной системы

Топливная система (рис. 5) стенда предназначена для хранения, очистки, охлаждения и подачи рабочей жидкости к испытываемому агрегату на всех режимах работы.



Р и с. 5. Схема принципиальная основных магистралей стенда при испытании HP-30AP

Топливная система состоит: из бака с рабочей жидкостью; подкачивающих насосов центробежного типа; фильтров; дроссельных кранов; клапана постоянного давления; блока измерения расхода; блока теплообменников (радиаторов); ручных кранов; трубопроводов соединения всех узлов и агрегатов, перечисленных выше.

Для испытания НР-30АР дополнительно используется имитатор гидравлического сопротивления форсунок камеры сгорания (первый и второй контуры).

Рабочая жидкость (Т-1 или ТС-1) из расходного бака поступает к подкачивающим насосам (насосу). Центробежный насос подкачки подает топливо через перекрывной электромагнитный кран и датчик измерения расхода на вход испытуемого насос-регулятора. Давление рабочей жидкости на входе насос-регулятора регулируется и поддерживается редуктором, а контроль осуществляется с помощью манометра или датчика давления.

От испытуемого объекта рабочая жидкость через имитатор контуров форсунок поступает в блок очистки и далее через коллектор и вентили к общему коллектору. Затем жидкость разделяется на три ветви, конструктивно выполненные одинаково. В каждой ветви установлены двойные блоки фильтров с тонкостью очистки 5 мкм и пропускной способностью 250 л/мин. Далее жидкость через коллектор поступает в расходный бак. Регулирование температуры жидкости осуществляется изменением количества воды, проходящей через теплообменник.

3.3. Агрегаты гидравлической системы

3.3.1. Расходный бак

Требования и рекомендации к конструкции гидробака:

резервуар должен быть сконструирован так, чтобы в нем обеспечивался отстой жидкости и не было ее потерь;

ввод жидкости в резервуар должен проходить без вспенивания и завихрения (ниже уровня жидкости). На вводном канале рекомендуется ставить сетку, которая дробила бы струю жидкости, уменьшая тем самым завихрения;

если откачка жидкости происходит подкачивающими насосами, как в нашем случае, то дренажное отверстие 2...5 мм необходимо иметь, и, в свою очередь, дренажные трубки должны иметь фильтры для исключения загрязнения извне;

самой рациональной является такая форма бака, которая отличается от цилиндрической малым весом и компактностью.

На основании перечисленных выше требований применен цилиндрический бак из стали 30ХГСА ГОСТ 1542-71 и имеющий емкость 200 ±5 литров. Предусмотрены уровнемеры для контроля уровня рабочей жидкости в баке. Расходный бак может выдержать давление до 2 МПа и установлен в верхней части стенда. Крепится к швеллерам каркаса посредством косынок, приваренных к стенкам бака.

3.3.2. Подкачивающий насос

Снизу к расходному баку крепятся подкачивающие насосы типа ЭЦН-Т, создающие необходимое давление подкачки для нормальной работы агрегатов (насос-регулятора НР-30АР). ЭЦН-Т относится к типу центробежных электроприводных агрегатов.

Привод ЭЦН-Т осуществляется от электродвигателя постоянного тока, смонтированного заодно с насосом. Питание осуществляется от выпрямительного устройства ВУ 42/70 или ВУ-2 через кабель и штепсельный разъем.

Технические данные ЭЦН-Т:

привод от двигателя МВ - 1000 БЗ;

ток постоянный 27 В;

рабочая жидкость: керосин Т-1 или ТС-1 ГОСТ 10227-86;

режимы работы: ослабленный, основной, форсированный;

температура окружающей среды при эксплуатации от -50°C до +60°C;

допустимое просачивание жидкости в дренаже не более 0,5 см³/ч.

Параметры ЭЦН-Т на разных режимах представлены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

Режим работы	Производительность, см ³ /с	Потребляемая мощность, Вт	Давление на выходе, МПа	Напряжение питания, В
Ослабленный	1500	≤ 39	> 0,065	27
Основной	2250	≤ 62	≥ 0,070	27
Форсированный	15000	≤ 82	> 0,175	27

3.3.3. Кран включения Н58ГО-50

Предназначен для обеспечения удобства обслуживания стенда при изменении его структуры или замене отдельных агрегатов, т.е. выполняет функции обычного запорного крана.

Кран состоит из корпуса, двойного клапана тарельчатого типа с эксцентриковым механизмом, штуцеров подвода и отвода жидкости и флажка. Перекрытие потока жидкости осуществляется поворотом флажка крана. Поворот флажка крана в любую сторону на 90° закрывает отверстия прохода жидкости.

Рабочий диапазон температур окружающей среды: $-40^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$. Рабочее давление до 20 МПа.

3.3.4. Фильтр тонкой очистки 8ДЖ.966.50I-05

Предназначен для очистки жидкости. Состоит из корпуса, фильтроэлемента и уплотнительных колец. Корпус служит для крепления фильтра и размещения в нем комплектующих деталей и состоит из стакана, который вворачивается в головку, и головки. Герметичность обеспечивается кольцом из резины и кольцом из фторопласта.

На головке выполнены входной и выходной штуцеры. Фильтроэлемент с толщиной очистки до 5 мкм представляет собой гофрированный цилиндр со стальным каркасом внутри. Цилиндр выполнен из латунной сетки, к внешней стороне которой крепится металлическая ткань, служащая фильтром. Гофрированный цилиндр имеет на концах фланцы, крепящиеся к корпусу фильтра.

Рабочая жидкость поступает через входной штуцер в полость цилиндра и далее через сетку — на выходной штуцер.

Технические данные:

максимальное рабочее давление 22 МПа;

перепад давления $\Delta P \leq 0,02$ МПа при расходе 60 л/мин и $T_{\text{жид}} = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.3.5. Радиаторы (тип 62)

Предназначены для охлаждения рабочей жидкости. Относятся к радиаторам водомасляного типа. Конструктивно это цилиндр из стали 30ХГСА ГОСТ 1542-71 с двумя крышками, крепящимися болтами. Подвод и отвод воды осуществляется штуцерами, расположенными на боковой поверхности ци-

цилиндра. Подвод и отвод рабочей жидкости осуществляется через штуцеры верхней крышки радиатора. Проходя теплообменник, рабочая жидкость через коллектор сливается в бак.

Технические данные:

эксплуатационный диапазон температур $+10^{\circ}\text{C} \dots +110^{\circ}\text{C}$;

рабочее давление 0,3 МПа.

3.3.6. Пульт управления

Пульт управления - это рабочее место оператора, оснащенное средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием, где осуществляется его трудовая деятельность.

Пульт управления (ПУ) предназначен для дистанционного управления работой гидростенда, установления необходимых режимов работы стенда и объекта испытаний, контроля основных параметров при работе стенда.

ПУ имеет следующий структурный состав:

манометрический блок;

управляющая стойка;

набор частотомеров ЧЗ-24;

набор блоков питания;

трубопроводы, провода;

арматура.

Основные блоки ПУ:

манометрический блок - служит для отражения информации о давлении рабочей жидкости в различных точках гидростенда. Состоит из шести манометров, которые помещают в защитный кожух, лицевая сторона которого закрыта бронестеклом. Подводящие трубопроводы также помещены в кожух;

управляющая стойка представляет собой панель, на которой смонтированы:

органы управления и контроля работы тиристорного преобразователя ТП4-500/460-Н-2;

устройство запуска двигателя АИР-90 L;

устройство регулирования частоты вращения двигателя АИР-90 L;

устройство контроля охлаждения мультипликатора;

приборы контроля температуры и давления масла системы охлаждения мультипликатора;

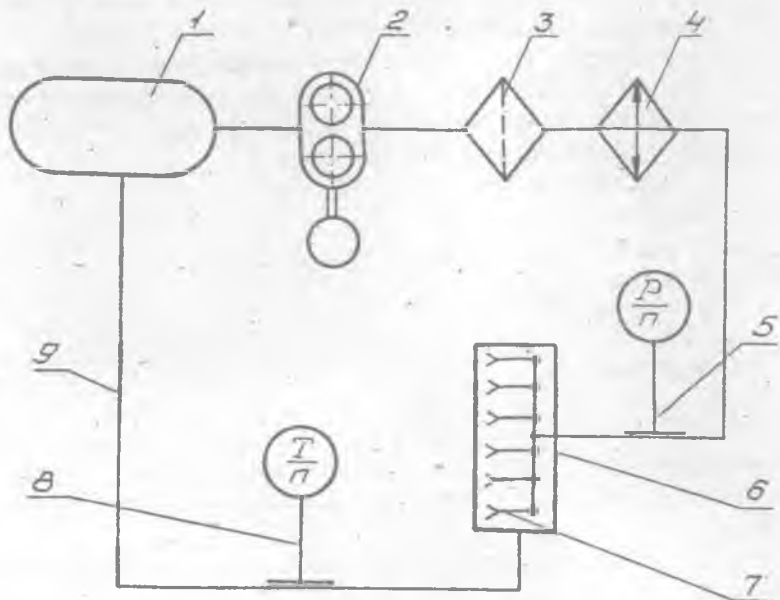
приборы системы защиты от перегрева подшипников мультипликатора;

органы управления работой расходомеров;
органы управления работой подкачивающих насосов ЭЦН-Т.

3.3.7. Энергоблок стенда

Энергоблок состоит из электропривода с изменяемой частотой вращения и мультипликатора с передаточным числом 4, 6.

Для смазки и охлаждения мультипликатора (рис. 6) предусмотрен маслонасос, приводимый во вращение отдельным электродвигателем. Предусмотрена также релейная система защиты.



Р и с. 6. Схема охлаждения мультипликатора: 1 - расходный бак(масло); 2 - шестеренный насос; 3 - фильтр; 4 - радиатор; 5 - манометр; 6 - картер мультипликатора; 7 - форсунки; 8 - датчик температуры; 9 - трубопроводы и арматура

В переходнике, предназначенном для монтажа насос-регулятора и других объектов испытаний, установлены датчики частоты вращения индукционного типа.

Масло из расходного бака через фильтр и теплообменник масляной помпой подается к картеру мультипликатора, где подводится через форсунки и подшипники к зубчатым колесам. Далее масло отводится из картера в расходный бак. Процесс охлаждения контролируется датчиком температуры и манометром.

3.3.8. Измерительный комплекс стенда

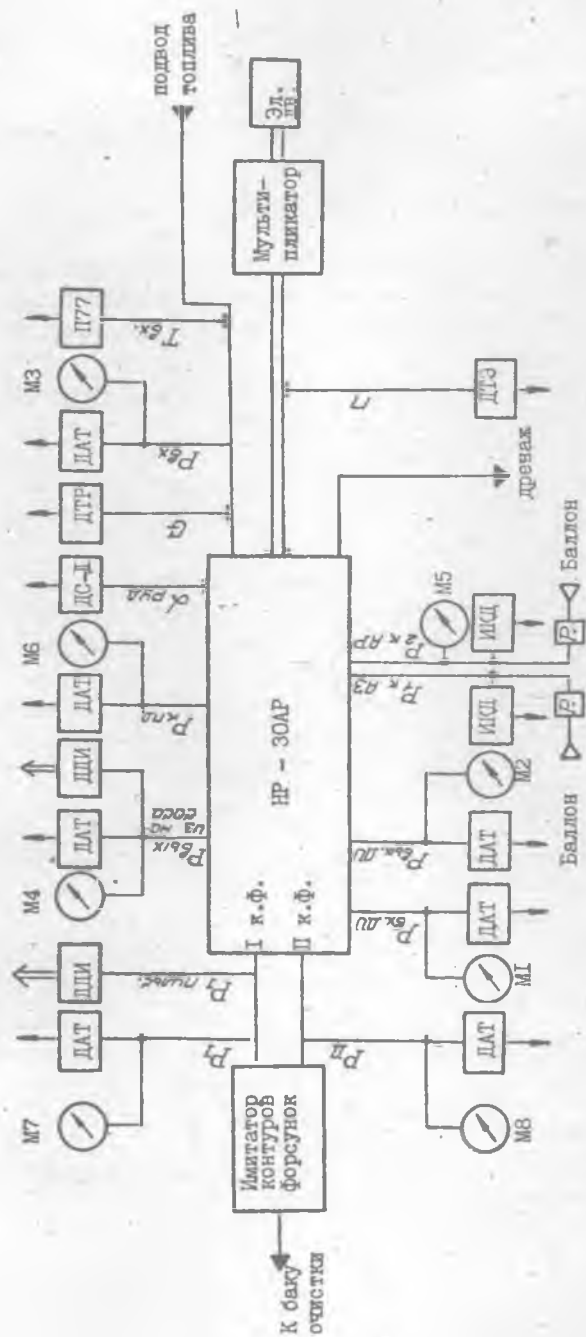
Измерительный комплекс предназначен для измерения и регистрации статических и динамических параметров при проведении испытаний НР-30АР. На стенде проводят измерения следующих параметров (рис. 7):

- давление на входе в насос-регулятор ($P_{вх}$) ;
- давление на выходе качающего узла насос-регулятора ($P_{вых}$) ;
- давление на входе ДИ ($P_{вх.д.и}$) ;
- давление на выходе ДИ ($P_{вых.д.и}$) ;
- давление на выходе I-го контура форсунок (P_I) ;
- давление на выходе 2-го контура форсунок (P_{II}) ;
- давление КПД ($P_{кпд}$) ;
- давление на входе автомата запуска (воздух) ($P_{аз}$) ;
- давление на автомате приемистости (воздух) ($P_{ар}$) ;
- расход рабочей жидкости через насос-регулятор (G_T) ;
- скорость вращения вала насос-регулятора (n) ;
- температуру топлива на выходе из насос-регулятора ($T_{вх}$) ;
- пульсации на выходе качающего узла насос-регулятора ($P_{вых}$) ;
- пульсации на выходе I-го контура форсунок ($P_{пульс}$) ;
- угол поворота РУД ($\alpha_{руд}$) .

4. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для того, чтобы создать действительно универсальную систему автоматизированных испытаний агрегатов и систем, необходимо рассмотреть вопрос испытаний в достаточно общей постановке. Рассмотрим перечень работ, которые можно выделить при формировании общего алгоритма процедуры испытаний:

- разработка методики испытаний объекта;
- создание условий испытаний объекта;
- сбор информации о поведении объекта в ходе испытаний;
- обработка информации после испытаний;



Р и с. 7. Схема подключения датчиков и манометров при динамических испытаниях НР-30АР

принятие решения о состоянии объекта в рамках поставленных задач испытаний.

Раздел "Разработка общей методики испытаний" не может быть комплексно автоматизирован из-за сложности. Автоматизации подвергаются некоторые технические стадии подготовки: поиск справочной информации; подготовка чертежной и текстовой документации и т.д. Из общего круга можно выделить вопрос использования модели объекта для оптимизации методики испытаний.

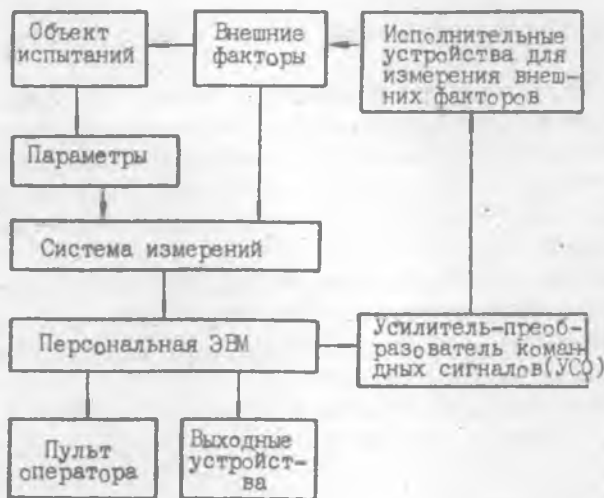
Применительно к объектам пневмогидросистем (ПГС) создание условий для испытаний обеспечивается стендовым оборудованием. Для испытания однородных типов объектов по сходным методикам задача полной автоматизации вполне реализуема (рис. 8).

В общем случае "Сбор информации о поведении объекта в ходе испытаний", т.е. получение информации и измерений набора характеристик как объекта, так и внешних условий, не представляет трудностей. Обычно реализация затруднена большой трудоемкостью создания программного обеспечения измерений, регистрации и обработки, а также вопросов метрологического обеспечения.

Процесс "Обработки информации" хорошо поддается автоматизации при наличии предложенного алгоритма обработки. Как правило, используются процедуры усреднения, фильтрации, вычисления спектральных, переходных и передаточных характеристик, требуется вывод результатов в табличной или графической форме. Обработка может вестись как в темпе эксперимента, так и после завершения испытаний.

К вопросу "Процесс принятия решений" отнесем выработку условий безопасности выполнения испытаний и решение об их проведении (продолжении). Эти решения постоянно принимает оператор-испытатель в ходе испытаний. Возможна здесь автоматизация, например, контроля за параметрами. Решения принимаются на основе обработанной информации о ходе испытаний и касаются они поведения объекта для простых ситуаций (нахождение параметров в допусках).

В итоге отметим, что достаточно уверенно автоматизируются процессы создания условий испытания и их управления, процессы обработки информации, т.е. наиболее реально проводить автоматизацию системы контроля, управления и измерения испытательного стенда для проведения испытания насос-регулятора НР-30АР как частного случая ПГС.



Р и с. 8. Функциональная блок-схема системы

4.1. Информационное обеспечение

Разрабатывать программу для системы, содержащей два-три манометра и два-три крана не всегда разумно. Оценку границы можно делать, применив информационный подход к проблеме измерения, обработки и управления.

Измерительная система характеризуется скоростью передачи информации, которую можно оценить исходя из требуемой точности измерения процесса по формуле

$$V = \sum_{i=1}^N F_{\max i} \log_2(100/\delta_i), \quad (4.1)$$

где V – скорость передачи информации, бит/с;

N – число измеряемых параметров;

δ_i – относительная погрешность измерения i -го параметра, %;

$F_{\max i}$ – частота опроса i -го параметра, Гц.

По аналогичной формуле оценивается и скорость передачи информации системой управления.

Для человека-оператора характерна скорость регистрации количественной информации на уровне 30...100 бит/с (т.е. запись одного показания с точностью 1% за 1 секунду). Из этого следует, что решение вопроса автоматизации приобретает смысл при большом числе параметров в условиях стационарных режимов испытаний либо для нестандартных режимов даже при малом числе параметров, причем, чем выше скорость передачи информации, тем важнее вопрос автоматизации.

При проведении испытания агрегатов топливной автоматики (насос-регулятор НР-30АР) должно быть обеспечено проведение проверки соответствия выходных параметров агрегата ТУ на поставку или ТЗ на изделие при соблюдении условий по внешним факторам:

- давление топлива на входе в агрегат;
- противодавление топлива на выходе из эквивалента форсунок;
- температура топлива на входе в агрегат;
- давление окружающей среды.

Параметры задаются широким диапазоном, и точность измерений определяющего значения здесь не имеет. Агрегат должен обеспечить расход топлива на контрольных точках статической характеристики (7 точек) с точностью 1%.

Точность установки частоты вращения входного вала должна соответствовать $\pm 1\%$; давление P_2 к автоматическому разгону (АР) 2% до давления 6 кг/см² и 1% при давлении выше 6 кг/см²; давление P_n устанавливается с точностью 2%. Точность измерения давления в контурах P_I и P_{II} $\pm 2\%$.

При даче приемистости и сбросе отклонение расходной характеристики на оси t (времени) должно быть $\pm 10\%$, а по оси задаваемых параметров: n , $P_{2\text{ар}}$, P_n должно быть $\pm 5\%$. К измерению этих же параметров сводятся операции по настройке обратной тяги, автомата запуска, ограничителей, которые мы рассматривать не будем.

Таким образом, поток требуемой для регулировки агрегата и подлежащей анализу информации сводится к измерению расхода, давлений в контурах P_I и P_{II} , и времени.

По существующей методике испытаний задействовано 24 измеряемых параметра, включая время. Если исключить четыре фактора, задаваемых раз и навсегда, и четыре, предлагаемых по новой методике, то избыточно анализируемый поток идет с 16 параметров, что в конечном итоге

сказывается на процессе регулировки, снижает качество испытаний насос-регулятора НР-30АГ.

4.2. Выбор первичных преобразователей

Переход к автоматизации измерений и обработке их результатов связан с использованием специальных первичных преобразователей, обеспечивающих возможность автоматической регистрации и преобразования результатов измерения в цифровую форму, удобную для ввода в ЭВМ.

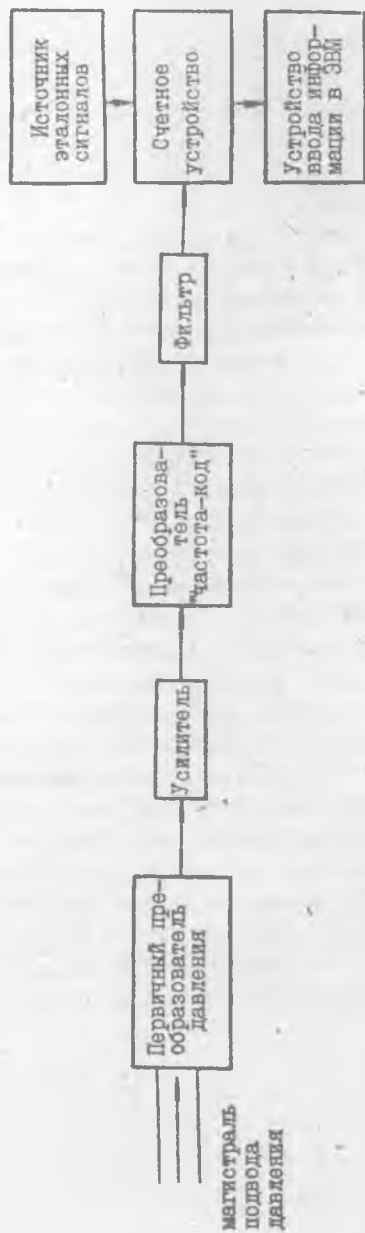
Таковыми преобразователями являются электрические устройства (датчики). Но для их использования в автоматической системе необходимо создание специального измерительного канала, в который должны войти: усилитель, чтобы сигнал можно было передавать на достаточно большое расстояние к ЭВМ; второй преобразователь, который переведет показания первичного преобразователя в соответствующий код, пригодный для введения в ЭВМ.

Перед вводом в ЭВМ сигнал от первичного преобразователя должен пройти фильтр для исключения помех, которые возникают при одновременной работе других электрических агрегатов. Измерительный канал должен включать блок - источник эталонных сигналов для проведения перед каждым циклом снятия показаний автоматической тарировки.

Схема измерительного канала представлена на рис.9 для канала измерения давления. При выборе первичных преобразователей предпочтение отдавалось датчикам, которые работают в действующих ПГС самолетов и имеют большую наработку в эксплуатации.

4.2.1. Измерение температуры

Для измерения температуры используем медный термопреобразователь сопротивления (ТСМ), который стандартизирован (ГОСТ 6651-84) и работает в диапазоне температур $-50...+200^{\circ}\text{C}$ (что и определяет его выбор) с точностью $\pm 2\%$, имея практическую линейную характеристику. В диапазоне $0...100^{\circ}\text{C}$ сопротивление изменяется на $39,1 \text{ Ом}$, а напряжение на $195,5 \text{ мВ}$ (для датчика П77).



Р и с. 9. Схема измерительного канала

4.2.2. Измерение давления

В установившемся режиме работы в идеализированной модели давление в различных точках стабильно, а его изменение наблюдается только при переходных (динамических) процессах. Однако реально давление носит пульсующий характер. В подавляющем числе экспериментов ведется измерение среднего значения давления, и лишь при специальных (диагностических) испытаниях изучаются пульсации.

Для измерения давления (среднего давления) выбраны индуктивные датчики специальной конструкции для преобразования пульсаций давления. Это датчики ДАТ (ДАТ1...ДАТ700), перекрывающие диапазон требуемых измерений от 0,02 до 80 МПа. Принцип действия основан на изменении магнитной проницаемости сердечника при смещении якоря, соединенного с гибкой мембраной в полости замера. Требуемая точность измерения достигается для таких датчиков питанием одной из катушек источником синусоидальных напряжений с частотой 400 Гц (специальная блок-схема задающего генератора с автоподстройкой частоты и стабилизацией амплитуды). Каждый датчик питается от задающего генератора через отдельный усилитель мощности. Основная погрешность порядка 3...4%.

Измерение абсолютного давления воздуха, подводимого к автомату запуска и разрядки в барокамере решено производить с помощью измерительных комплексов давления типа ИКД-27. В комплекс входят: датчик, генератор питания и согласующее устройство, совмещенные в единой конструкции. Это явилось важным моментом в выборе данного первичного преобразователя. Основная погрешность комплекса не превышает + 3%.

Реализация требуемой по ТУ точности достигается индивидуальной тарировкой каналов измерений давлений с занесением в память ЭВМ, а также спецмерами, способствующими снижению потока дестабилизирующих факторов, воздействующих при испытании на первичные преобразователи.

Так, для снижения пульсаций давления в районе нахождения мембраны преобразователя в тракте подвода рабочего тела к датчику устанавливается промежуточный трубопровод с диаметром 1 мм и длиной 1 м, обладающий значительным волновым сопротивлением. Его параметры выбраны экспериментально.

4.2.3. Измерение расхода

Наиболее полно отвечает современным требованиям турбинный расходомер, представляющий собой участок трубопровода с чувствительным элементом – крыльчаткой. Обороты крыльчатки преобразуются в электрический сигнал переменного тока, частота которого пропорциональна измеряемому расходу.

В идеальном случае, без учета сил сопротивления, уравнение преобразования имеет вид

$$G = \frac{f}{B} \quad (4.2)$$

где G – расход, л/с;

f – частота, Гц;

B – градуировочный коэффициент, л/л.

Реальная градуировочная характеристика, с учетом сил сопротивления, имеет зону нечувствительности и через начало координат не проходит.

$$G = a + bf, \quad (4.3)$$

где a – смещение характеристики, л/с;

b – градуировочный коэффициент, л.

В нашем случае требуемый диапазон измерений перекрывается тремя датчиками ТДР-7, ТДР-10 и ТДР-13 (от 0,03 до 100 л/с). Эти датчики просты в конструкции, надежны и имеют высокую точность измерения (до 0,5%), особенно при совмещении их с преобразователями "частота-код".

4.2.4. Измерение частоты вращения

Наиболее целесообразно в нашем случае применить тахогенераторный датчик с частотным выходом. Это позволяет существенно упростить тракт преобразования "скорость вращения-код". Для измерения частоты вращения главного привода агрегата применим тахометрический электромагнитный датчик типа ДТЭ (ДТЭ-2).

4.2.5. Измерение угла поворота

Для измерения угла поворота сектора газа в нашем случае выбран сельсинный датчик ДС-III от самолетного измерителя ИП-2I. Сельсинные датчики более надежны, чем потенциометрические, но требуют более сложную схему согласования. Основная погрешность ДС-III не превышает $\pm 0,6$ градусов до углу поворота оси ДС-III.

4.2.6. Измерение пульсаций давления

Измерение пульсаций давления производилось в двух точках агрегата (см. рис. 7). Основные требования к измерению динамических параметров:

выходное напряжение $\pm 1,0$ В;

число разрядов 8+1 (знак);

частота опроса 8 кГц;

динамичность измерения 40% отсчетов на канал с возможностью программного уменьшения в 2,4 раза.

4.3. Выбор промежуточных преобразователей

Промежуточные преобразователи служат для преобразования параметров первичных преобразователей или унифицированных сигналов в унифицированный сигнал постоянного тока 0...5 мА или постоянного напряжения 0...10 В.

В связи с широким выбором интегральных преобразователей "напряжение-код" с диапазоном 0...10 В примем для нашей системы унифицированный сигнал в виде напряжения.

4.3.1. Термопреобразователь напряжения

В рабочем диапазоне температур (0...100°C) ТСМ обладают практически линейной характеристикой. В качестве промежуточного преобразователя будем использовать датчик П77 с сопротивлением при $T = 0^\circ\text{C}$ 100 Ом. Для него максимально допустимый ток, при котором отсутствует дополнительный нагрев термопреобразователя 5 мА. В диапазоне 0...100°C сопротивление изменяется на 39,1 Ом. При этом изменение напряжения составляет 195,5 мВ.

Измерительная схема для датчика должна обеспечивать его пита -

ние стабильным током 5 мА, а также независимые регулировки нуля и чувствительности (коэффициента усиления нормализующего усилителя). Эти задачи решены в схеме при помощи трех интегральных усилителей, скомпонованных в единый блок в УСО. Малый дрейф нуля обеспечивается применением прецизионных интегральных усилителей К140УД7. Стабильность усиления обеспечивается применением в схеме блока резисторов типа С2-13 или С5-22.

4.3.2. Генератор синусоидальных напряжений

Для питания индуктивных датчиков типа ДАТ, сельсинных датчиков угла поворота ДС-11Г требуется источник синусоидального напряжения с частотой 400 Гц. Это решается использованием задающего генератора с автоподстройкой частоты и стабилизированной амплитуды. Каждый датчик питается от задающего генератора (ЗГ) через отдельный усилитель мощности, обеспечивающий эффективную развязку каналов. Конструктивно ЗГ и усилители оформлены в виде блоков УСО.

4.3.3. Промежуточные преобразователи для датчиков давления

Для унификации сигнала канала измерения давлений требуется линейное детектирование выходного сигнала датчика ДАТ. Для этого в системе используются фазовые детекторы коммутационного типа на микросхемах К590КН2. Спорный сигнал на фазовые детекторы подается от задающего генератора (УСО).

Фильтрация выходного сигнала обеспечивается активным фильтром типа Сайлент-К третьего порядка.

Измерительный комплекс давления ИКД-27 не требует специальных согласующих схем и имеет выходной сигнал, близкий к унифицированному (0...8 В).

4.3.4. Промежуточные преобразователи для турбинных датчиков расхода и тахометрических датчиков частоты вращения

Из различных способов преобразования "частота-код" выбран с помощью ЭВМ способ измерения периода с последующим преобразованием в код, соответствующий расходу или частоте вращения. Частотный сигнал с меняющейся амплитудой на выходе ТДР и ДТЭ преобразуется с помощью формирователей в последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой,

соответствующей уровню логической единицы. Преобразователь "период-код" имеет четыре канала и конструктивно внесен в блок УСО. Далее через коммутатор сигнал поступает на счетчик, который формирует временной интервал. Этот временной интервал измеряется традиционным преобразователем "время-код", по выходному сигналу счетчика которого ЭВМ вычисляет расход в л/час и частоту вращения главного привода в об/мин.

4.3.5. Промежуточный преобразователь для угла поворота сектора газа

Питание датчика угла поворота ДС-ПГ производится по отдельному каналу от задающего генератора (400 Гц) по схеме, аналогичной каналам датчиков ДАТ.

Трансформаторное включение сельсина дает на выходе три сигнала, меняющихся по синусоидальному закону в функции угла поворота и сдвинутых по фазе на 120 град. Все три сигнала необходимы также при измерениях угла в диапазоне 0...360 град. В нашем случае максимально измеримый угол не превышает 60 (53,5 град). Поэтому достаточно использовать лишь один выходной сигнал, для получения которого пригодна схема с линейным коммутационным детектором, применяемая в канале измерения давления. Схема конструктивно оформлена в блок УСО.

Если установить датчик так, чтобы при $\alpha = 0^\circ$ $U_{\text{вых}} = 0$, то угол поворота рычага $\alpha_{\text{рыч}}$ вычисляется на ЭВМ по формуле

$$\alpha = \arcsin \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{max}}} \quad (4.4)$$

4.3.6. Промежуточные преобразователи для каналов измерения пульсаций давления

Частота опроса каждого канала (8 кГц или 125 мкс на измерение) не позволяет использовать ЭВМ для прямой адресации канала и ввода данных. Сравнительно низкая требуемая точность (8 разрядов) позволяет применять быстродействующие интегральные АЦП типа К1113П1, К572ПВ3, К572ПВ4 с временем преобразования соответственно 30, 32 и 15 мкс.

Для ускорения работы устанавливается буферное ОЗУ на полный объем информации. ОЗУ адресуется автономным счетчиком. После заполнения

буфера ОСУ, оно переводится в режим чтения на пониженной частоте смены адреса и информация через порт ввода пересылается в ЭВМ.

4.4. Коммутатор аналоговых сигналов и аналого-цифровой преобразователь

В системе используется интегральный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) типа К572ПВ1. Это 12-разрядный АЦП подразрядного уравновешивания с диапазоном 0...10 В. Входное сопротивление АЦП определяется входным сопротивлением выносного интегрального компаратора и может быть весьма высоким (до нескольких МОм). Высокое входное сопротивление АЦП позволяет использовать в качестве коммутатора аналоговых сигналов интегральные МОП-ключи типа К590КН6. Это 8-канальные коммутаторы со встроенным дешифратором. Четыре микросхемы К590КН6 образуют 32-канальный коммутатор с сопротивлением замкнутого ключа, не превышающем 100 Ом.

Наличие нескольких свободных каналов коммутатора позволяет создать эффективную систему коррекции характеристик всего измерительного тракта за счет эталонных сигналов.

Непосредственное адресное управление от ЭВМ коммутацией отдельного канала позволяет организовать практически любой порядок опроса каналов, что особенно важно на первом этапе создания системы при наборе статистических данных.

4.5. Выбор ЭВМ для системы

Компьютер должен обладать открытой архитектурой, достаточным быстродействием, объемом памяти и развитым программным обеспечением. Перечисленным требованиям вполне удовлетворяют машины типа IBM PC/AT, для которых имеется широкий ассортимент ЦАП и АЦП.

Выбор конкретных моделей преобразователей зависит от характеристик измеряемых и управляемых процессов. К ним относятся:

- число параметров;
- частотные свойства параметров;
- точность измерения (управления).

Указанные характеристики преобразователей можно обобщить в одну — скорость преобразования информации. Оптимальным выбором является равенство скоростей потоков измерительной и управляющей информации

со скоростью преобразования АЦП и ЦАП, причем величина этого потока должна быть в 10...20 раз ниже средней производительности компьютера. Для IBM PC/AT 286 с тактовой частотой 12 МГц ожидаемая скорость ввода/вывода составит 100...300 кбайт/с.

4.6. Структурная схема системы

Вся преобразующая часть системы за исключением первичных преобразователей может представлять собой одну или несколько плат, вставляемых в свободные посадочные места в корпусе ЭВМ и подключаемых непосредственно к ее внутренней шине. Такое построение обеспечивает максимальное быстродействие и простоту реализации.

Однако такой структуре свойственны недостатки:

небольшое число плат, встраиваемых в ЭВМ;

сравнительно небольшая мощность источника питания ЭВМ, ограничивающая мощность, которую могут потреблять платы;

неблагоприятная для измерительных плат среда в корпусе ЭВМ (высокий уровень помех, плохие температурные условия и т.д.).

Эти недостатки устраняются в структуре, состоящей из двух блоков:

ЭВМ и связанного с ней кабелями каркаса-расширителя.

В каркасе вставлено пять субблоков, каждый из которых предназначен для обслуживания определенных типов датчиков, кроме того, размещен задающий генератор на частоту 400 Гц и блок питания. Последний блок УСО представляет собой аналого-цифровой преобразователь. От него отходит кабель к ЭВМ. Такая конструкция позволяет упростить наладку и ремонт субблоков и всего блока УСО, повышает надежность работы системы испытания.

Система автоматизации работает с тремя группами датчиков, входные сигналы которых различными способами преобразуются в цифровой код. К первой группе относятся низкочастотные датчики типа ДАТ, ИКД, ДС-II, П77, выходные сигналы которых после усиления и предварительной обработки в согласующих устройствах преобразуются в цифровой код общим блоком АЦП в режиме временного разделения каналов.

4.7. Алгоритмы обработки информации

4.7.1. Измерение расхода

Ранее считалось, что для измерения расхода в системе используются турбинные датчики расхода типа ТДР.

Импульсы с крыльчатки датчика поступают на измеритель временных интервалов, где с дискретностью 10 с производится измерение четырех следующих подряд периодов сигнала ТДР. Код N , соответствующий длительности четырех периодов сигнала ТДР вводится в ЭВМ, которая вычисляет расход в л/ч по формуле

$$G = 3600 \left(a + \frac{b \cdot 10^5}{N} \right), \quad (4.5)$$

где a, b — градуировочные коэффициенты для конкретного датчика ТДР (хранятся в памяти ЭВМ).

4.7.2. Измерение скорости вращения

Измерение скорости вращения агрегата проводится с помощью датчика ДТЭ, который выдает один импульс на один оборот главного привода агрегата.

Измерение периода этого сигнала также производится цифровым методом с дискретностью 10 с. При этом длительность в секундах одного оборота будет

$$T = N \cdot 10^{-5}, \quad (4.6)$$

где N — код, полученный в счетчике измерителя.

А частота вращения в об/мин

$$n = \frac{60 \cdot 10^5}{N}. \quad (4.7)$$

Вторую группу составляют датчики с частотным выходом типа ТДР. Выходной сигнал этих датчиков преобразуется в цифровой код путем пересчета. К третьей группе можно отнести высокочастотные датчики типа ДДМ, выходной сигнал каждого из которых преобразуется в цифровой код с помощью отдельного быстродействующего АЦП, которые конструктивно оформлены в блок 4АНЧ. Буферная память на выходе АЦП позволяет повы-

сить частоту опроса этих датчиков до 8...10 кГц при 4096 отсчетах на канал.

Измерение остальных параметров (давления, температуры, угла поворота) производится непосредственно по градуировочной характеристике соответствующего датчика (после индивидуальной тарировки, хранящейся в памяти ЭВМ).

4.7.3. Алгоритм определения равновесных оборотов

При снятии с помощью ЭВМ статической характеристики "расход-обороты" отдельного рассмотрения требует алгоритм определения равновесных оборотов.

Начало автоматической работы (НАР) характеризуется спадом давления после достижения максимального значения.

ЭВМ реализует следующую последовательность действий:

1. Устанавливается угол РУД, соответствующий НАР.
2. Плавно увеличиваются обороты агрегата.
3. Производится измерение давления.
4. Запоминается значение давления.
5. Процесс (п.2-4) повторяется. Новое значение давления запоминается в том случае, если оно превышает предыдущее значение.
6. Процесс (п. 2-5) повторяется до тех пор, пока очередное значение давления не станет меньше максимального на 0,3 МПа.
7. Начинается уменьшение числа оборотов ступенями по 10 об/мин с выдержкой времени на каждой ступени, необходимой для срабатывания гидрозамедлителя.
8. Производится измерение давления.
9. Вновь уменьшаются обороты агрегата.
10. Измеряется давление и сравнивается с предыдущим значением.
11. Процесс (п. 7-10) повторяется до тех пор, пока три следующих подряд отсчета давления будут отличаться между собой не более, чем на 0,05 МПа. Число оборотов, соответствующее последнему значению давления, и принимается за равновесное.
12. Измеряется расход, соответствующий равновесным оборотам.

4.8. Требования к составу программного обеспечения

Программное обеспечение должно давать возможность реализации методики испытаний путем соответствующего управления работой системы измерения и системы управления стендом. Так как существуют различные методики испытаний, то можно говорить лишь об особенностях реализации программного обеспечения для конкретных случаев, выдвигая при этом только общие требования.

В состав программного обеспечения должны входить:

программа тестирования аппаратуры, служащая для отладки и контроля стендового оборудования;

программа тарировки (калибровки) измерительных каналов;

одна или несколько программ для проведения универсальных измерений и управлений ходом испытаний, работающих в диалоговом режиме и позволяющих в любой момент произвести основные измерения управляющих воздействий;

программы, разработанные для конкретных методик испытаний, в достаточной степени выполняющие испытания автономно.

Уточнить требования к различным частям программного обеспечения возможно только при наличии определенности в составе систем измерения и управления стенда и конкретной методики проведения испытаний. Однако вполне реально разработать несколько основополагающих подходов для типовых вариантов измерений.

4.9. Реализация программного обеспечения

Программирование операций ввода/вывода для ЦАП и АЦП остается трудоемким и оптимально реализуемым лишь на языке "Ассемблер". Этим процедурам и их разработке мы и уделим внимание:

Как уже отмечалось, измеряемые параметры могут быть статическими (не изменяющимися в течение измерения) и динамическими. По способу модуляции информации параметры делятся на амплитудно- и частотно-модулированные. Рассмотрим особенности измерения всех указанных параметров.

Измерение амплитудных статических параметров больших трудностей не вызывает и обычно выполняется либо путем однократного измерения, либо усреднением результатов нескольких замеров. Особенностью данной программы является непосредственное накопление сумм в темпе измерения, что экономит память, требуемую для буфера данных. Вторая особенность

в высокой эффективности, так как все действия выполняются над целыми числами. По сравнению с однократным измерением этот способ значительно снижает погрешности и повышает точность.

Измерение частотных статических параметров более сложно, так как необходимо выполнять анализ сигнала. Здесь возможны два решения.

Во-первых, можно записывать в буфер весь массив измеренных сигналов и затем его анализировать, что требует значительных затрат памяти ЭВМ. Во-вторых, можно распознавать начало периодов процесса и записывать в буфер номер цикла измерения, который связан со временем. Эта программа в отличие от прямой записи в буфер данных, содержит дополнительные операции проверок и суммирования и при своей эффективности все же требует буфера данных, что является недостатком.

Наиболее сложным моментом является реализация программы, способной выполнять измерение как амплитудных, так и частотных параметров с настройкой вида параметра на каждом канале АЦП в ходе работы. Традиционный подход здесь не эффективен. Здесь используют программу с самомодифицирующимся кодом процедуры измерения, что достигается, во-первых, линейной моделью кода с отсутствием переходов к подпрограммам, и, во-вторых, отсутствием постоянных проверок признака данных. Основная идея — перенос программных фрагментов, обеспечивающих измерение параметров нужного вида на соответствующем канале, в свободное место памяти с последующим добавлением фрагмента программы для следующего канала, далее — аналогично для всех каналов АЦП. Это способ прогрессивен и универсален.

Измерение динамических параметров принципиально отличается от измерения статических лишь тем, что каждое измеренное значение записывается в буфер данных. Реализация таких программ проще, чем для статических методов, и программа вполне подходит для измерения частотно-модулированного параметра.

При смешанном измерении статических и динамических величин возможны два случая. В первом — поочередное измерение этих величин, что просто реализуется. Во втором — использование самомодифицирующейся программы, как было рассмотрено ранее.

Для одновременного процесса измерения и управления испытанием подходит любой из указанных выше вариантов. Однако при наличии обратных связей цепи управления лучше использовать вариант с последовательной работой во времени программных блоков измерения и управления. При этом блок управления содержит фрагмент, производящий измерения регулируемых параметров для обеспечения обратных связей.

4.9.1. Программа тарировки датчиков

В качестве примера решения программного обеспечения рассмотрим программу статической тарировки датчиков. Она обеспечивает автоматизированный расчет коэффициентов передаточной характеристики измерительной цепи "первичный преобразователь - вторичный преобразователь АЦП-ЭВМ". Программа допускает использование только амплитудно-модулированной информации. В качестве передаточной характеристики принимается линейная модель вида

$$y = ax + b, \quad (4.8)$$

где y - значение измеряемого параметра в физических величинах;

x - измеренное целью значение;

a - угловой коэффициент;

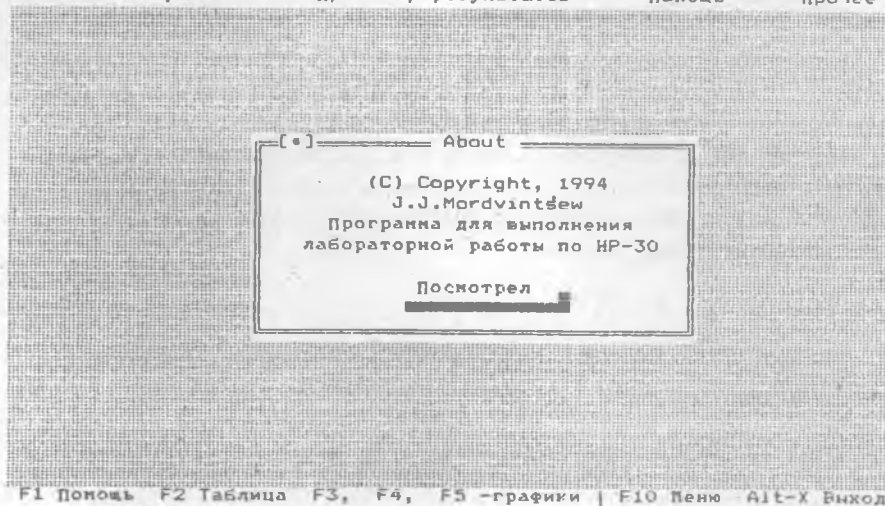
b - смещение.

Процесс тарировки заключается в многократном измерении величины x для известных y с последующей обработкой массива полученных пар значений (x, y) с целью линейной аппроксимации передаточной характеристики.

Внешний вид стартового окна соответствует стилю *Turbo Vision*.

Все функции программы доступны через систему верхнего меню с выпадающими подразделами.

Раздел "Тарировка" содержит подраздел "Измерение", выбор которого обеспечивает выход в диалоговое окно "Процесс тарировки", в котором выполняется тарировка. Подраздел "Параметры АЦП", вызывая окно "Параметры ввода канала", позволяет установить число отсчетов, номер тарированного канала, чувствительность и точность АЦП. Раздел "Результаты" позволяет просмотреть коэффициенты тарировки (пункт "Коэффициенты"); вывести график (пункт "График") и таблицу тарировки (пункт "Таблица"). Раздел "Прочее" в пункте "О программе" выводит стандартное окно "About". В пункте "Цвета" вызывается соответствующее диалоговое окно для установки цветов графики и типа дисплея.



Р и с. 10. Внешний вид стартового экрана программы

5. СНЯТИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОС-РЕГУЛЯТОРА

Статическая характеристика насос-регулятора (рис. П1-П6 приложения) – это зависимость расхода топлива на выходе из агрегата от оборотов на установившихся режимах работы. Каждая точка установившегося режима работы насос-регулятора имеет свои определенные параметры.

Снятие статической характеристики насос-регулятора осуществляется следующим образом:

1. Выбирается пункт меню "Настройка параметров на МГ" (рис. П1а), в окне "Начало работы" задается название файла, в котором сохраняются результаты измерений (рис. П2). Имя набирается по-латински и состоит не более, чем восьми букв или цифр без пробелов.

2. На стенде устанавливаются в соответствии с ТУ следующие параметры:

Выполнение работы	Просмотр результатов	Помощь	Прочее
Выполнить всю работу			
Настройка параметров на МГ Статическая характеристика Динамическая характеристика			
Продолжить прерванный пункт			

а)

Выполнение работы	Просмотр результатов	Помощь	Прочее
	Таблица	F2	
	График статич. характеристики	F3	
	График дин. характ. по времени	F4	
	График дин. характе. по оборотам	F5	
	Масштаб графика	F6	
	Установка цветов		

б)

Выполнение работы	Просмотр результатов	Помощь	Прочее
		Контекстная F1 Список Shift-F1	

в)

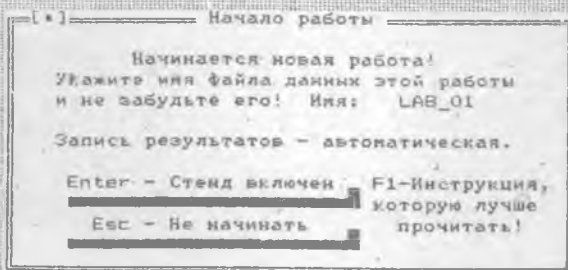
Выполнение работы	Просмотр результатов	Помощь	Прочее
			Выход Alt-X О программе

г)

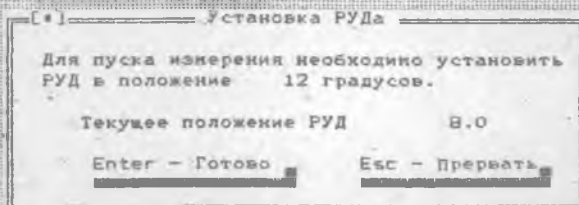
Р и с. II. Система меню программы

- $\alpha_{руд}$ на СПМГ (рис.13);
- $P_{вх} = 0,19...0,21$ МПа;
- $P_1 = 0,25...0,3$ МПа;
- $T_{вх} = 35...45$ С.

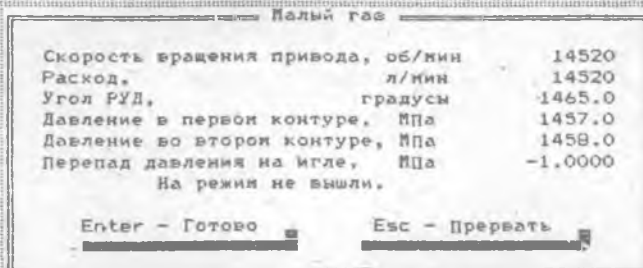
Установка РУД подтверждается нажатием клавиши "Enter" ЭВМ.



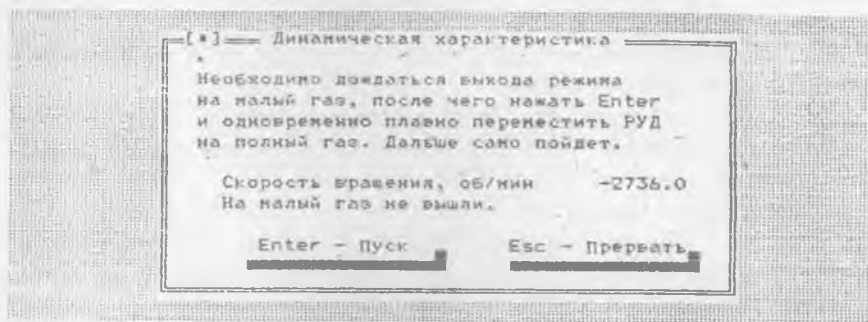
Р и с. 12. Окно начала выполнения работы



Р и с. 13. Окно установки угла РУД



Р и с. 14. Окно измерения параметров малого газа



Р и с. 15. Окно пуска измерения динамической характеристики

3. Автоматически производится установка оборотов стенда, соответствующих МГ, измерение и запись параметров (рис. 14).

4. Выбирается пункт меню "Статическая характеристика" (рис. 11а).

5. По запросу ЭВМ устанавливается РУД в положения, соответствующие точкам характеристики. Установка подтверждается нажатием "Enter" (рис. 13). Установка оборотов, в том числе и равновесных, и измерение параметров производится автоматически.

6. СНЯТИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОС-РЕГУЛЯТОРА

Динамическая (разгонная) характеристика насос-регулятора (рис. П7-П12 приложения) — это зависимость расхода топлива от оборотов двигателя при даче приемистости (быстро, за 1...2 с, перемещения РУД с площадки МГ до взлетного режима). Эта зависимость характеризует избыток подачи топлива над статической (потребной) характеристикой двигателя, необходимый для обеспечения превышения мощности, развиваемой турбиной, над мощностью, затрачиваемой на привод компрессора и агрегатов в процессе разгона двигателя.

Важнейшее требование — обеспечение хорошей приемистости. Приемистость двигателя Д-30, согласно руководству по эксплуатации, равна

7...9с. То есть при переводе РУД с СПМГ до ПГ параметры насос-регулятора должны меняться по определенному закону.

Снятие динамической характеристики насос-регулятора НР-30АР осуществляется следующим образом:

1. Выбирается пункт меню "Динамическая характеристика" (рис.11а).
2. Устанавливается РУД в положение МГ, что подтверждается нажатием клавиши "Enter" компьютера (рис.13).
3. Ожидается автоматический выход стенда на обороты МГ (рис.15), после чего за 1..2 сек РУД переводится в положение ПГ и одновременно нажимается клавиша "Enter" компьютера. Дальнейшее измерение динамической характеристики выполняется автоматически.

7. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Предварительно, во время, отведенное для самоподготовки, студенты самостоятельно знакомятся с данными методическими указаниями, обращая внимание на конструкцию и работу насос-регулятора НР-30АР, испытательного стенда, принципы и подходы к автоматизации испытания.

2. Во вступительном слове преподаватель дает общую характеристику объекта испытаний, стендовых систем (в том числе систем измерения и автоматизации), технику безопасности и отвечает на вопросы студентов.

3. Под руководством преподавателя студенты приводят стенд в рабочее состояние и устанавливают исходный режим, соответствующий режиму "малый газ", после чего управление испытанием переводится на ПЭВМ.

4. С пульта ПЭВМ (в диалоговом режиме) включается в работу алгоритм измерения статической характеристики насос-регулятора и производится ее измерение. По окончании измерения стенд приводится в исходное состояние (малый газ).

5. С пульта ПЭВМ включается в работу алгоритм измерения динамической характеристики регулятора (приемистости).

6. По сигналу готовности РУД за 1..2 с переводится из положения "малый газ" в положение "полный газ". Автоматически привод стенда за 7...9 с переходит с исходной частоты вращения по частоты, соответствующей полному газу. Параллельно производится измерение и регистрация динамической характеристики регулятора. После чего все системы стенда отключаются.

7. Под руководством преподавателя студенты проводят разрегулировку одной из систем регулятора, вращая один из регулировочных винтов и фиксируя количество сделанных оборотов (не более 3), после чего работа повторяется с п. 3 по п.6 и регулировочный винт возвращается в исходное положение.

8. Работа по п. 7 может быть повторена для разных регулировочных винтов.

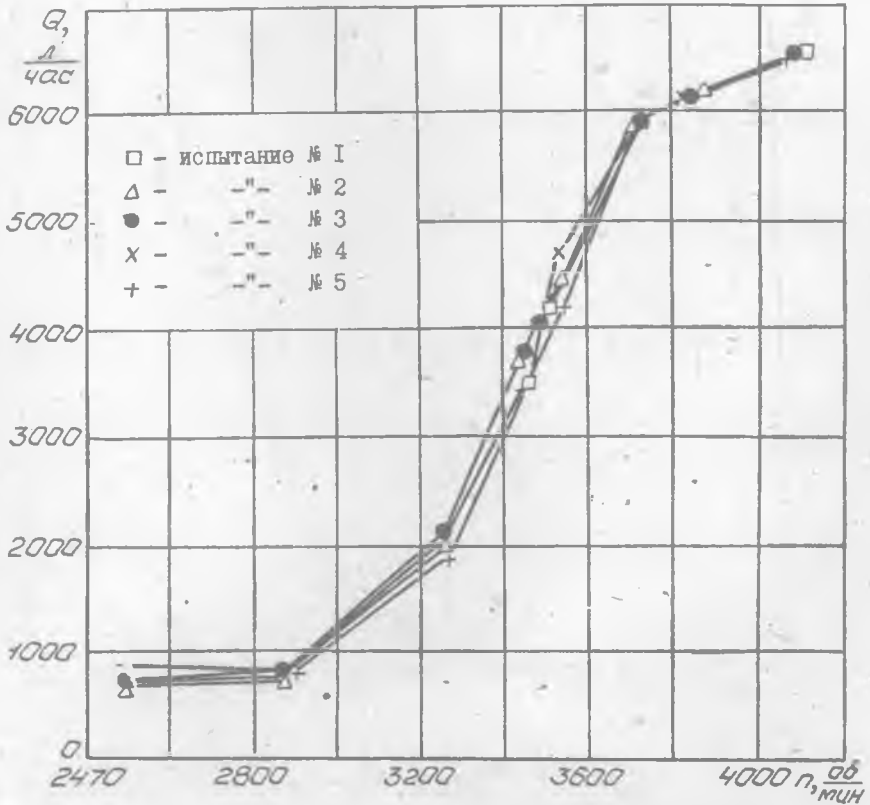
9. По окончании испытаний студенты производят обработку результатов измерений путем построения совмещенных графиков отдельно для статических и динамических характеристик и определяют коэффициенты влияния регулировочных винтов в каждой точке характеристик. Совмещенные графики и таблицы коэффициентов влияния включаются в отчет по работе.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

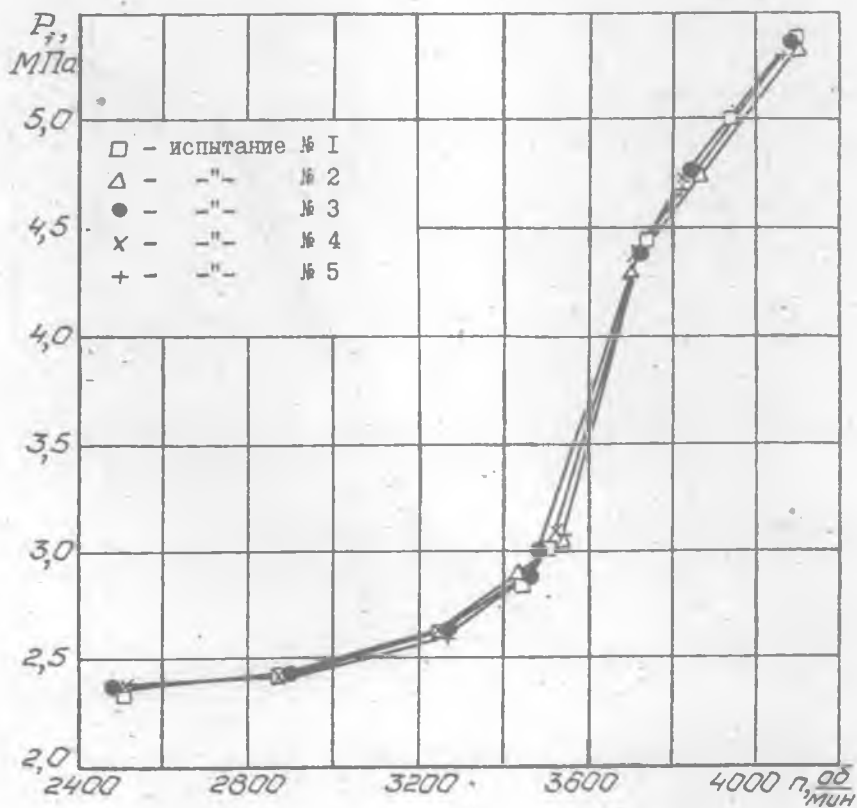
Наличие таблицы коэффициентов влияния по всем регулировочным элементам дает возможность быстро, за 2...3 прохода, отрегулировать новый агрегат, пришедший из сборочного цеха, а также проводить диагностику агрегатов, возвращаемых из эксплуатации.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

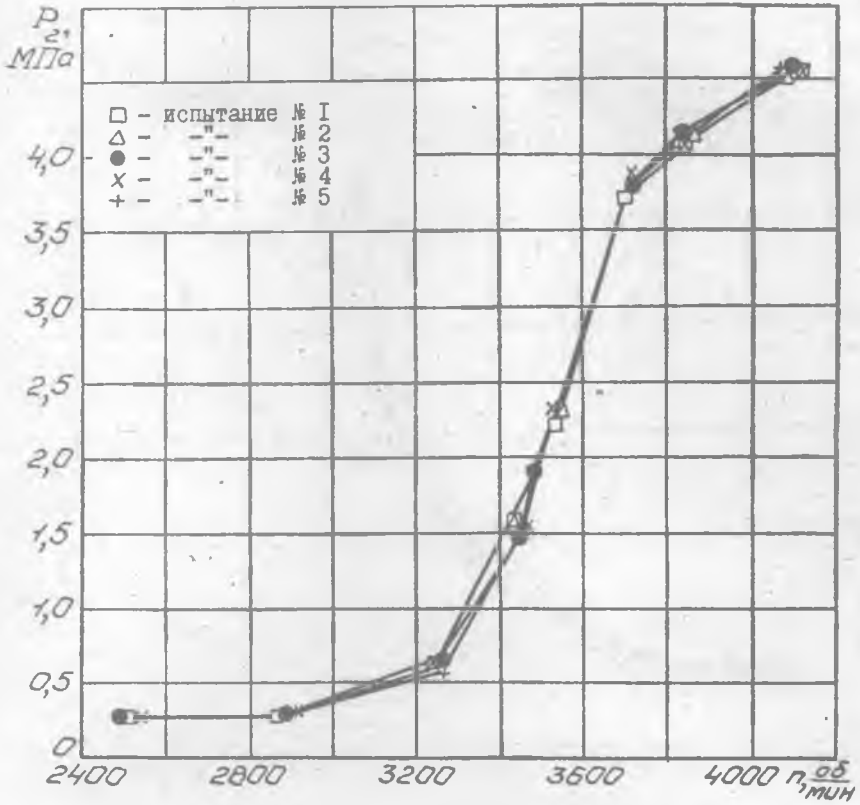
1. Лозицкий Л.П., Иващенко А.А. и др. Авиационный двигатель Д-30 II серии. М.: Машиностроение, 1980. 423 с.
2. Леонтьев В.Н., Сиротин С.А. и др. Испытание авиационных двигателей и их агрегатов. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.
3. Агдатов Р.И., Бехтерев М.М. и др. Автоматизированные испытания в авиастроении. М.: Машиностроение, 1989. 231 с.
4. Техническое описание и руководство по эксплуатации агрегатов ИР-30АР, ЦР-1ВР, ЦР-2ВР. М.: Издание МГА. 1974. 162 с.



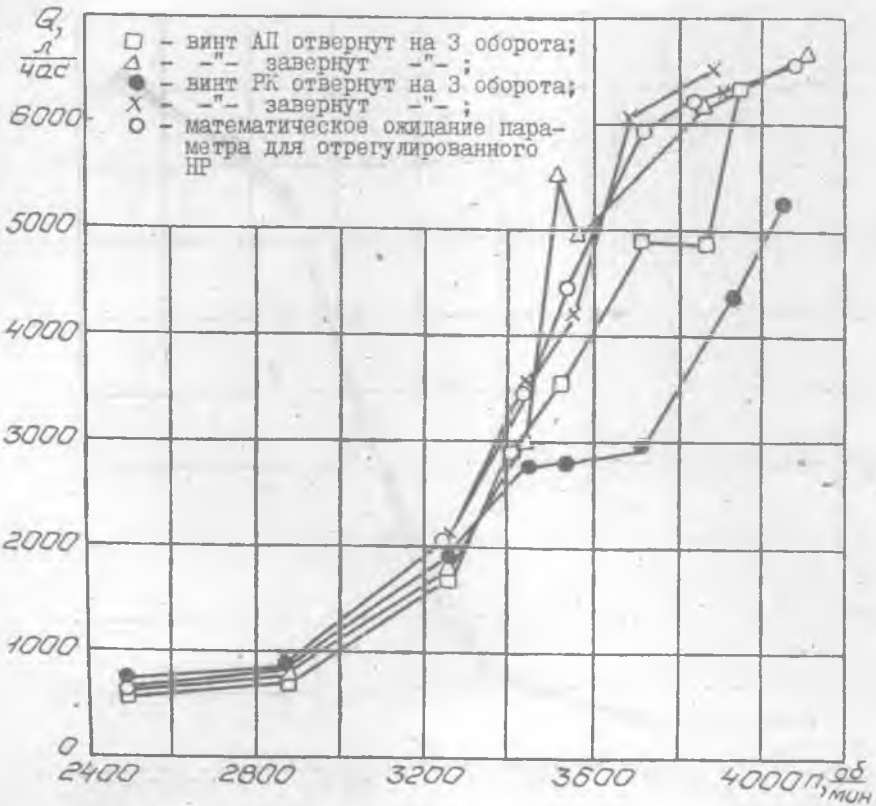
Р и с. П I. Статическая характеристика отрегулированного
HP-30AP



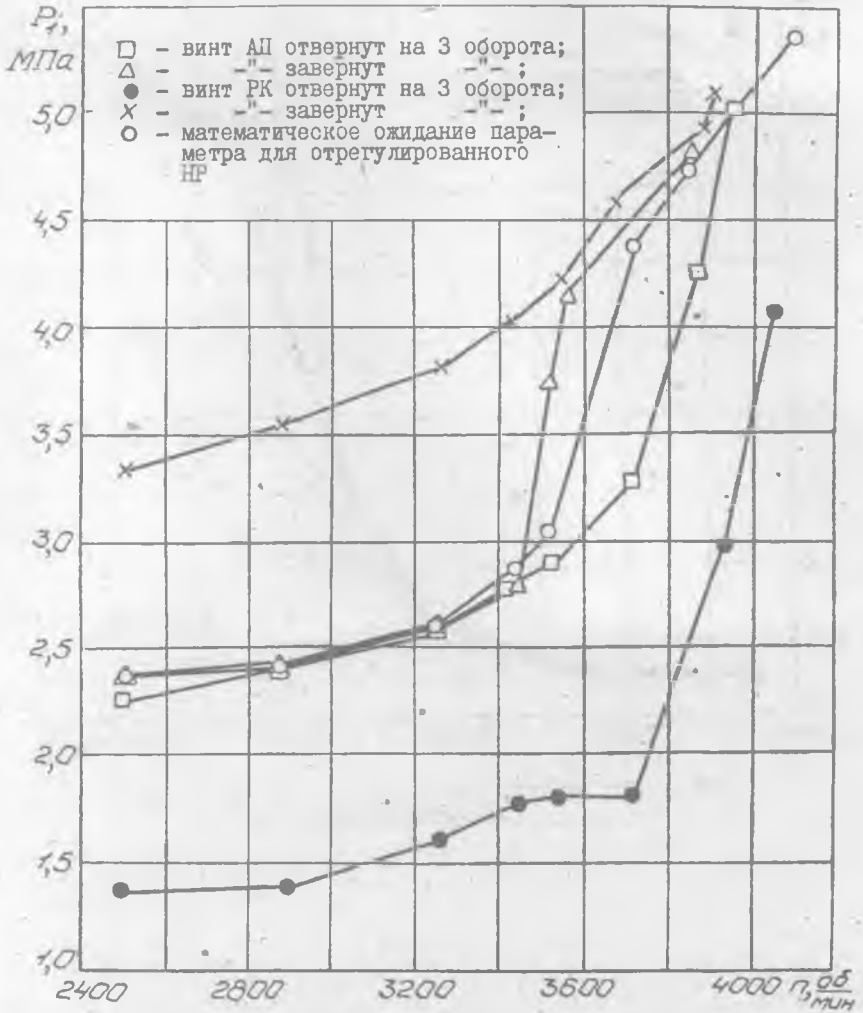
Р и с. 12. Статическая характеристика отрегулированного HP-30AP



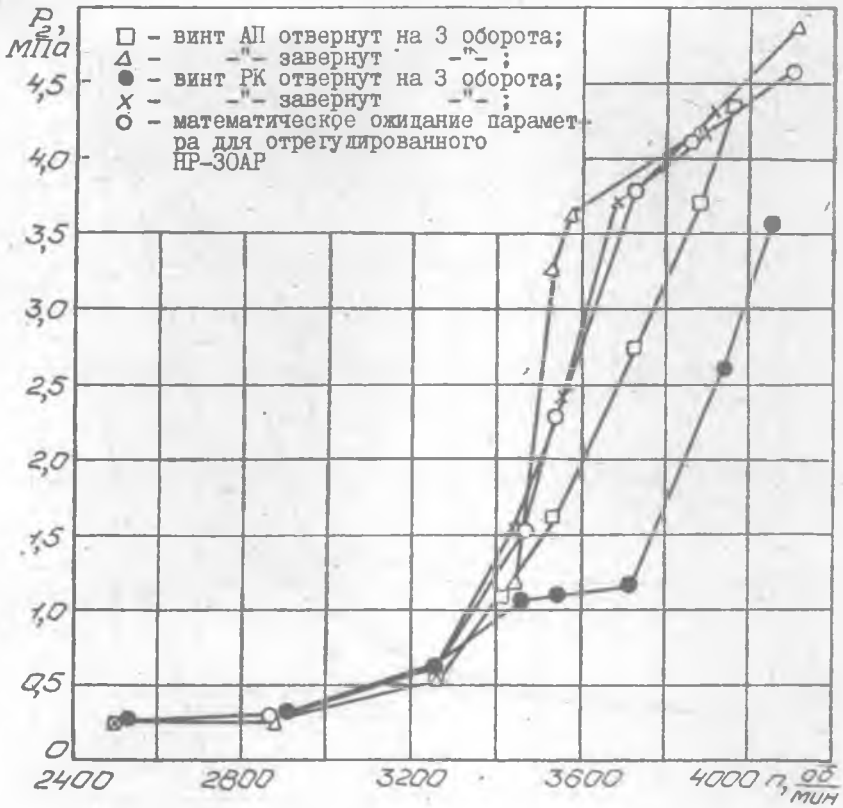
Р и с. ПЗ. Статическая характеристика отрегулированного НР-30АР



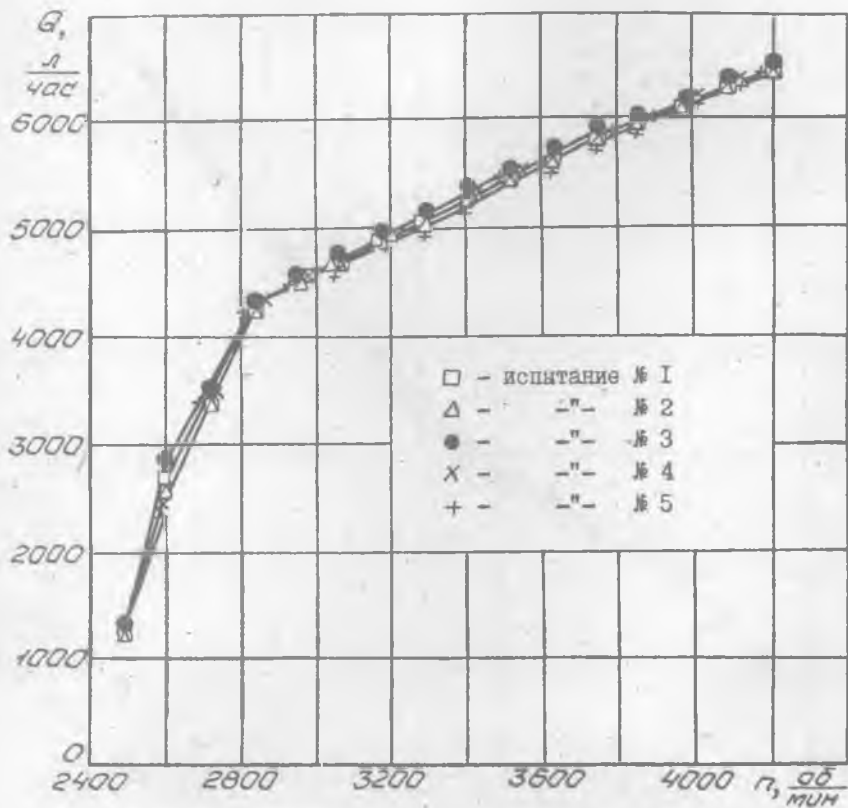
Р и с. П4. Влияние разрегулировок на статическую характеристику насос-регулятора



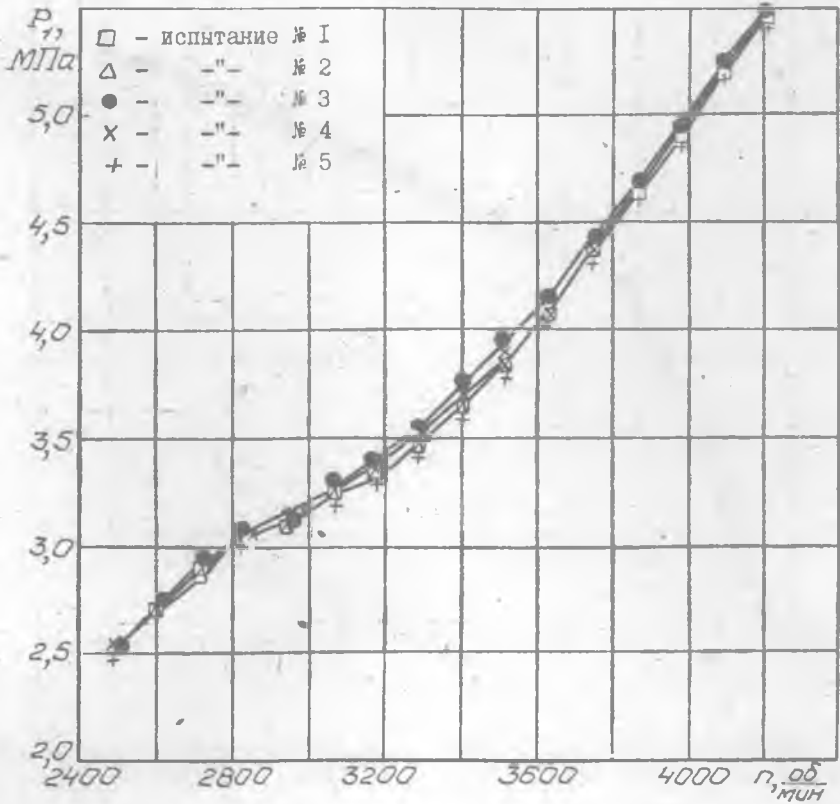
Р и с. №5. Влияние разрегулировок на статическую характеристику насос-регулятора



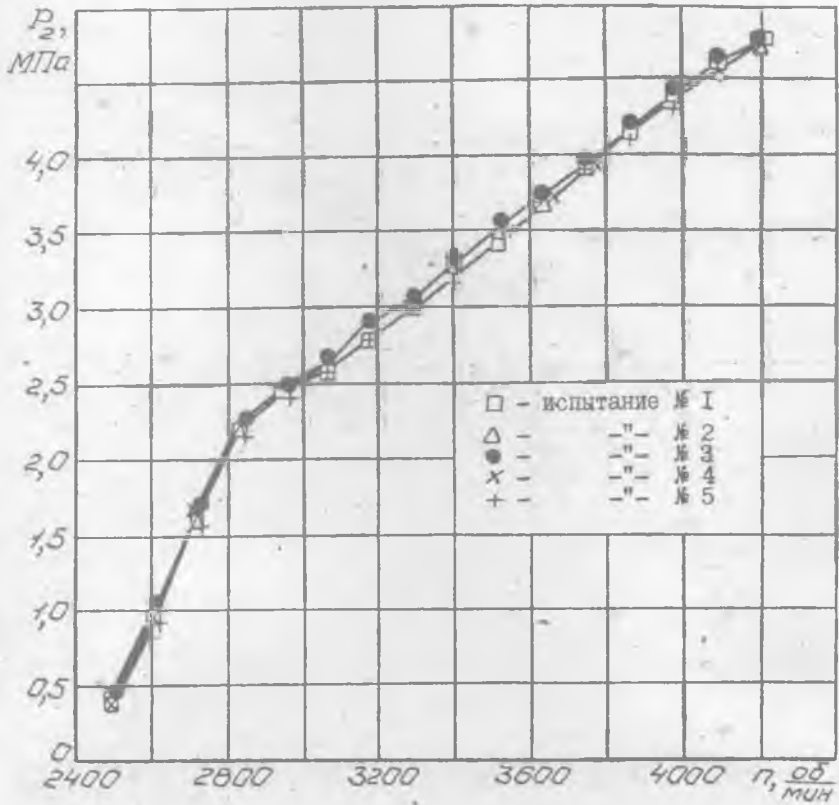
Р и с. 16. Влияние разрегулировок на статическую характеристику HP-30AP



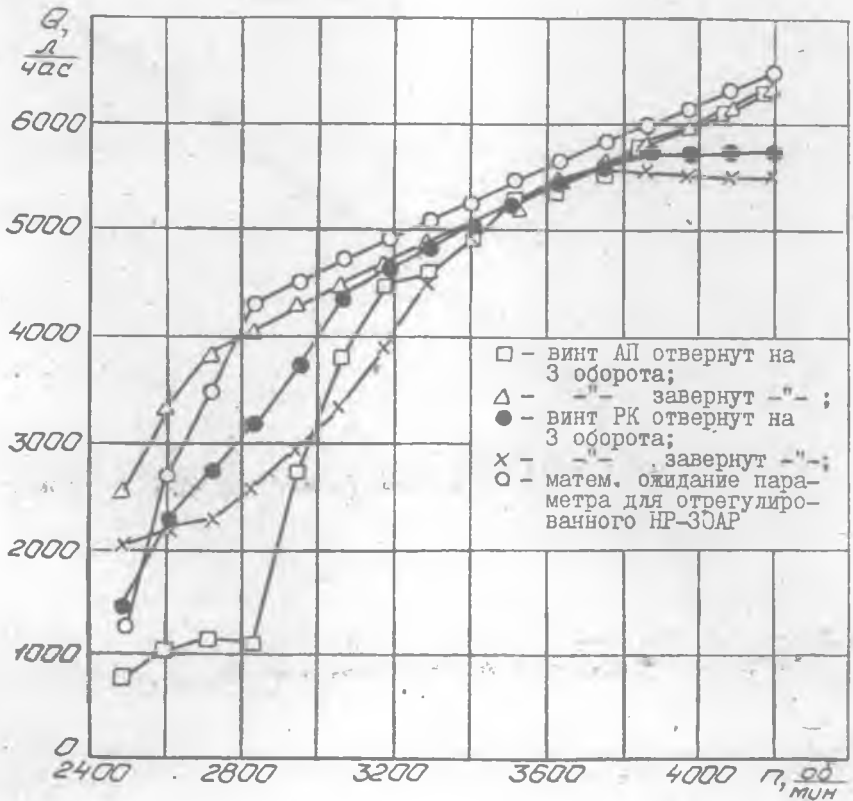
Р и с. П7. Динамическая характеристика отрегулированного НР-30АР



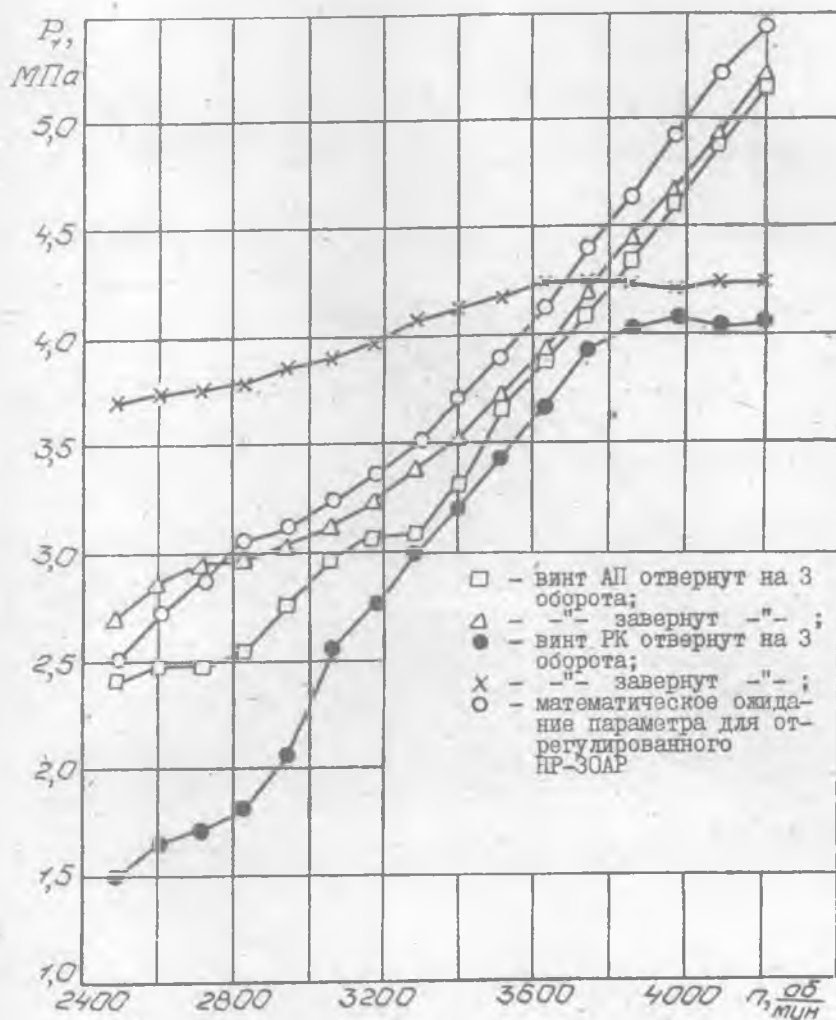
Р и с. П8. Динамическая характеристика отрегулированного НР-30АР



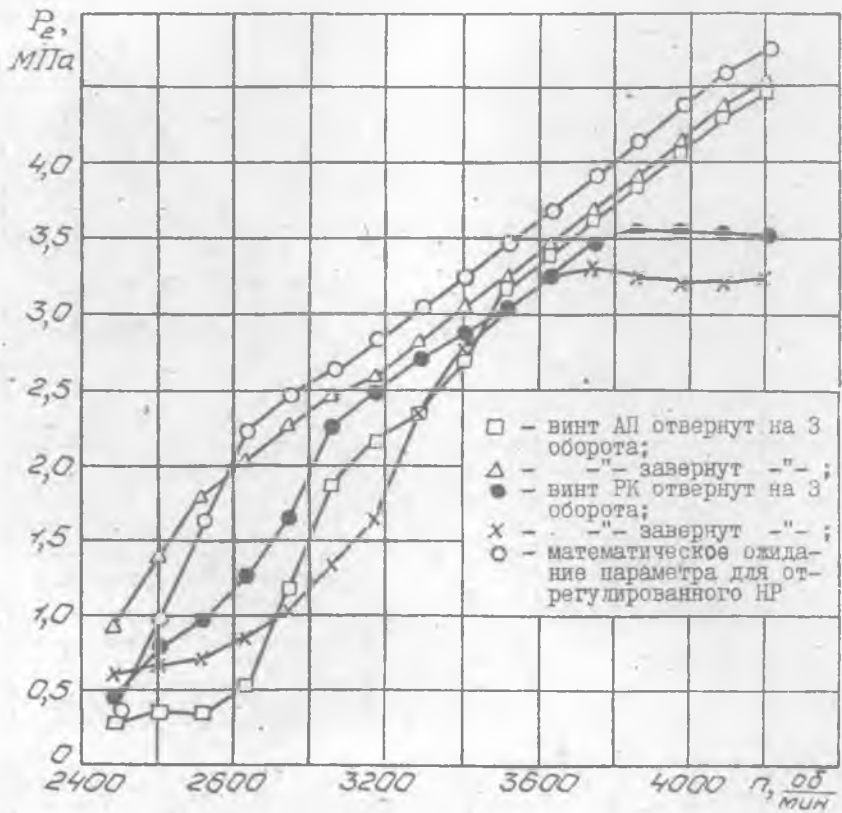
Р и с. П9. Динамическая характеристика отрегулированного НР-30АР



Р и с. П10. Влияние разрегулировок на динамическую характеристику НР-30АР



Р и с. П11. Влияние разрегулировок на динамическую характеристику насос-регулятора



Р и с. П12. Влияние разрегулировок на динамическую характеристику насос-регулятора

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИСПЫТАНИЕ
НАСОС-РЕГУЛЯТОРА НР-30АР

Составители: В а к у л и ч Евгений Алексеевич,
Ж у к о в Дмитрий Геннадьевич,
Ж у к о в с к и й Александр Евгеньевич,
М а й к о Михаил Федорович,
М о р д в и н ц е в Евгений Юрьевич,
Н а п а д о в Константин Александрович,
Ш а б а ш о в Вениамин Анатольевич

Редактор Л.Я.Чегодаева
Техн.редактор Г.А.Усачева
Корректор Н.С.Купринова

Подписано в печать 31.05.95. Формат 60x84^{1/16}

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 3,7. Усл.кр.-отт. 3,8. Уч.-изд.л. 3,7.

Тираж 200 экз. Заказ 295. Арт. С-104/95.

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

Издательство СГАУ.

443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.