

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ МГУ

**АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Издательство Московского университета, 1985 г.

МГУ
им.
М. В. ЛОМОНОСОВА



ИНСТИТУТ
МЕХАНИКИ

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Под редакцией **Г.Г.Черного,**
А.И.Зубкова,
Ю.А.Панова

Издательство Московского университета, 1985 г.

Аэродинамические установки Института механики МГУ. / Под ред. Г.Г.Черного, А.И.Зубкова, Ю.А.Панова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985, 44 с.

В книге дается описание аэродинамического комплекса НИИ механики МГУ. Комплекс состоит из 14 аэродинамических труб и установок, которые в целом охватывают диапазон изменения чисел Маха от 0,01 до 10 и чисел Рейнольдса от 10^4 до 10^8 (в расчете на 1 м). Комплекс позволяет моделировать условия полета летательных аппаратов различного назначения от малых высот до больших, движение наземного транспорта и аэродинамику промышленных и жилых районов.

В книге приводятся технические данные каждой установки, ее назначение, схема и фотография. Перечисляется вспомогательное и приборное оборудование.

Авторами разделов являются:

ГАУ; А-3	-	А.И.Зубков, Ю.А.Панов, А.И.Глаголев,
А-3К, А-3В	-	А.И.Зубков, Ю.А.Панов,
А-7	-	А.И.Швец,
А-8	-	М.П.Фалуни, Г.С.Ульянов,
А-11	-	Ю.А.Панов, Г.Е.Худяков, О.М.Кузнецов,
АР-1	-	В.И.Рождественский,
А-6; А-10А; А-1У; А-2У; А-3У; А-4У	-	Г.Е.Худяков, Г.А.Романенко.

Книга предназначена для научных сотрудников, работающих в области аэромеханики и газовой динамики, и студентов, специализирующихся в этих областях.

РЕЦЕНЗЕНТЫ: канд. физ.-матем. наук
Н.Н.ПИЛЮГИН,
канд. техн. наук
Г.И.ШОЛОМОВИЧ

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР о строительстве нового здания Московского университета с научно-исследовательскими институтами на Ленинских горах в конце 50-х годов в НИИ механики МГУ начал создаваться комплекс аэродинамических установок.

При разработке и создании некоторых из аэродинамических установок использовался передовой опыт и достижения ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского.

В процессе эксплуатации аэродинамические комплексы непрерывно совершенствовались, аэродинамические установки модернизировались, оснащались приборным оборудованием, разрабатывались и внедрялись новые методы исследований, измерительные системы с автоматизацией сбора и обработки результатов измерений с помощью ЭВМ.

В аэродинамическом эксперименте применяются как традиционные методы исследований, такие, как дренаж моделей, методы масляных покрытий, калориметры, приборы Теплера, так и новые методы, основанные на применении термоиндикаторов, легкоплавких материалов, сверхскоростной кино- и фотоаппаратуры, лазерной и акустической техники, газоанализаторов и т.д.

Аэродинамический комплекс Института механики МГУ состоит из 14 аэродинамических установок. Из них — одна установка ГАУ — гиперзвуковая аэродинамическая труба с подогревателем воздуха омического типа и с четырехступенчатым эжектором. Установка имеет ресивер, рассчитанный на работу от баллонной станции в 20,0 МПа. Две ступени эжектора работают от баллонов высокого давления (20,0 МПа) и две ступени от баллонов низкого давления (1,2 МПа). Установка уникальна по своим параметрам, она позволяет получать при больших числах Маха (до 10) большие числа Рейнольдса (до $5 \cdot 10^6$ 1/м). Шесть установок обеспечивают сверхзвуковые и околосвуковые режимы. Одна установка (А-3В) используется для изучения истечения высокотемпературных реагирующих струй газа и струй разных газов в вакуум и для обеспечения отсоса газа из рабочих частей сверхзвуковых установок. Сверхзвуковые установки ГАУ и А-3 имеют также систему подвода высокого давления

в рабочие части. Оригинальная сверхзвуковая установка А-3К имеет прозрачные боковые стенки, что дает возможность изучать на ней, например, движение и дробление капель жидкости, начиная от ресивера с дозвуковыми скоростями и кончая рабочей частью с плоскопараллельным сверхзвуковым потоком. Две установки (А-6 и А-10А) представляют собой дозвуковые аэродинамические трубы непрерывного действия. Труба А-6 имеет сечение рабочей части в виде эллипса с осями 2 и 4 м. Эти трубы широко используются для исследования аэродинамики различных наземных транспортных средств и сооружений. Четыре установки – малые дозвуковые аэродинамические трубы, используемые в основном для проведения общего и специального практикума по аэромеханике для студентов Ш и IУ курсов механико-математического факультета Московского университета. Перечень установок и их общие данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

№№ п/п	Установ- ка	Размер рабо- чей части [м]	Диапазон чисел Маха (М)	Диапазон чисел Рей- нольдса (Re) $l = 1 \text{ м}$
1.	ГАУ	0,2	5 + 10	$(0,02 + 12) \cdot 10^6$
2.	А-3	0,2	1,5 + 4	$(12 + 300) \cdot 10^6$
3.	А-7	0,6x0,6	0,7 + 4	$(4,0 + 16) \cdot 10^6$
4.	А-8	0,6x0,6	0,5 + 3	$(2,8 + 17) \cdot 10^6$
5.	А-11	0,25x0,25	0 + 2,5	$(22 + 130) \cdot 10^6$
6.	А-3К	0,08x0,08	2,2 + 3	$(22 + 120) \cdot 10^6$
7.	АР-1	0,09x0,07	1,7 + 3,5	$(222 + 17) \cdot 10^6$
8.	А-6	4 x 2,33	0,01 + 0,25	10^6
9.	А-10А	0,8	0,01 + 0,45	$(0,1 + 1) \cdot 10^6$
10.	А-1У	0,25	0,01 + 0,2	$(0,01 + 0,1) \cdot 10^6$
11.	А-2У	0,125x0,125	0,01 + 0,08	$(0,01 + 0,08) \cdot 10^6$
12.	А-3У	0,4 x 0,125	0,01 + 0,08	$(0,01 + 0,1) \cdot 10^6$
13.	А-4У	0,125x0,125	0,01 + 0,08	$(0,01 + 0,1) \cdot 10^6$

Аэродинамические установки НИИ механики МГУ охватывают диапазон изменения чисел Маха от 0,01 до 10 и чисел Рейнольдса от 10^4 до 10^8 (в расчете на 1 м) и позволяют моделировать условия полета летательных аппаратов, в том числе и сверхзвуковых, от малых высот (взлет, посадка) до больших, свыше 60 км (вход из космоса в атмосферу) (см. рис.1).

Работа аэродинамических установок обеспечивается распределительной и преобразовательной электрическими подстанциями и компрессорной станцией. НИИ механики МГУ располагает двумя баллонными батареями низкого и высокого давления соответственно на 0,8 и 20,0 МПа и емкостью 4250 и 50 м³. Он располагает также двумя регулируемыми генераторами постоянного тока мощностью 2200 кВт (выходное напряжение 0 + 750 В и сила тока 0+3000 А).

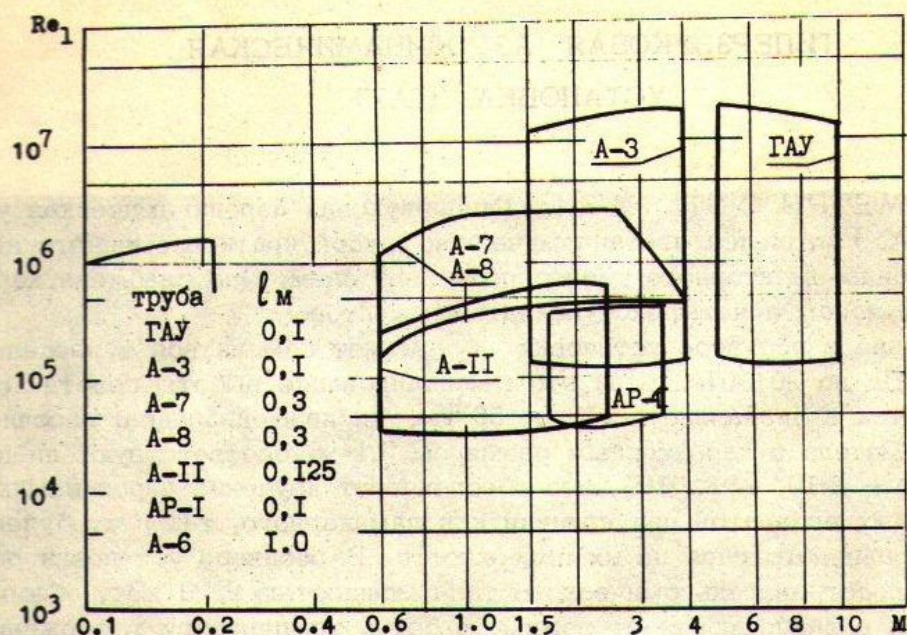


Рис. 1. Область параметров, моделируемых в аэродинамических трубах Института механики МГУ

На аэродинамических установках решаются задачи различного типа: исследуются аэродинамические характеристики летательных аппаратов и наземно-транспортных средств, аэродинамика жилых и промышленных застроек и отдельных сооружений. Изучаются проблемы пространственных отрывных течений, горения в сверхзвуковом потоке, вдува и отсоса массы газа с поверхностей летящих объектов и другие вопросы.

Аэродинамические установки используются в учебном процессе. Студенты механико-математического факультета проходят в экспериментальных лабораториях института общий и специальный практикум по аэромеханике и газовой динамике, знакомятся с работой установок, приборным оборудованием и методами экспериментальных исследований. Студенты, аспиранты и стажеры используют результаты экспериментальных исследований при написании курсовых и дипломных работ и диссертаций.

ГИПЕРЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА (ГАУ)

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Гиперзвуковая аэродинамическая установка (ГАУ) является аэродинамической трубой кратковременного действия баллонно-эжекторного типа с подогревателем. Она снабжена кормовым диффузором и четырехступенчатым эжектором.

Давление в ресивере установки P_0 может изменяться в пределах от 0,2 МПа до 20 МПа. При этом моделирование высоты полета осуществляется в диапазоне от 15 до 55 км. Числа Рейнольдса, рассчитанные для модели с характерным размером 0,1 м, соответствуют диапазону $Re = 2 \cdot 10^4 + 1,2 \cdot 10^7$, что обеспечивает изучение аэродинамики летательных аппаратов при наличии как ламинарного, так и турбулентного пограничного слоя на их поверхности. В ресивере установки расположен подогреватель омического типа мощностью 2200 кВт, обеспечивающий, в зависимости от режима работы, температуру торможения до 1200°C.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки ГАУ представлены на рис. 2,3. Основными узлами установки являются: 1 – трубопровод высокого давления; 2 – форкамера; 3 – подогреватель; 4 – сменные сопла; 5 – рабочая часть; 6 – быстродействующий пневмоввод; 7 – диффузатор; 8 – эжекторы; 9 – камеры смешения; 10 – диффузор; 11 – выхлопная камера; 12 – система подвода высокого давления; 13 – система отсоса газа; 14 – регулировочные и запорные задвижки высокого давления; 15 – регулировочные и запорные задвижки низкого давления.

Управление работой установки, т.е. ее пуск или поддержание необходимого давления и температуры в форкамере, а также в каждой из ступеней эжектора, производится с пульта, расположенного в отдельном боксе. Бокс выполнен из железобетона, имеет бронестекла и обеспечивает безопасность персонала во время проведения экспериментов.

Дискретное изменение числа Маха гиперзвукового потока ($M = 5, 6, 8, 10$) производится сменой профилированных сопел.

Аэродинамическое сопло при всех числах Маха имеет одинаковый диаметр выходного сечения, равный 200 мм. Рабочая часть установки выполнена в виде камеры Эйфеля с поперечным сечением 600 x 600 мм. Она имеет сменные боковые стенки с оптическими стеклами. За рабочей частью и кормовым диффузором установлен четырехступенчатый эжектор. Первая и вторая ступени являются геометрически подобными. Геометрически подобны также третья и четвертая ступени. Газ эжектируется через сверхзвуковые сопла, являющиеся каналом, который образован неподвижным конусом и подвижной цилиндрической обечайкой, изменяющей площадь критического сечения сопла и число Маха в его выходном сечении. Суммарная степень сжатия четырехступенчатого эжектора равна 80.

ПРИБОРНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Рабочая камера установки имеет систему подвода воздуха высокого давления ($P_0 = 20,0$ МПа) в модель и систему отсоса воздуха с поверхности модели (разряжение до 10^{-2} мм рт. ст.). Для ввода и вывода модели из потока на верхней сменной крышке рабочей части имеется быстродействующий пневматический механизм. Установка снабжена прибором

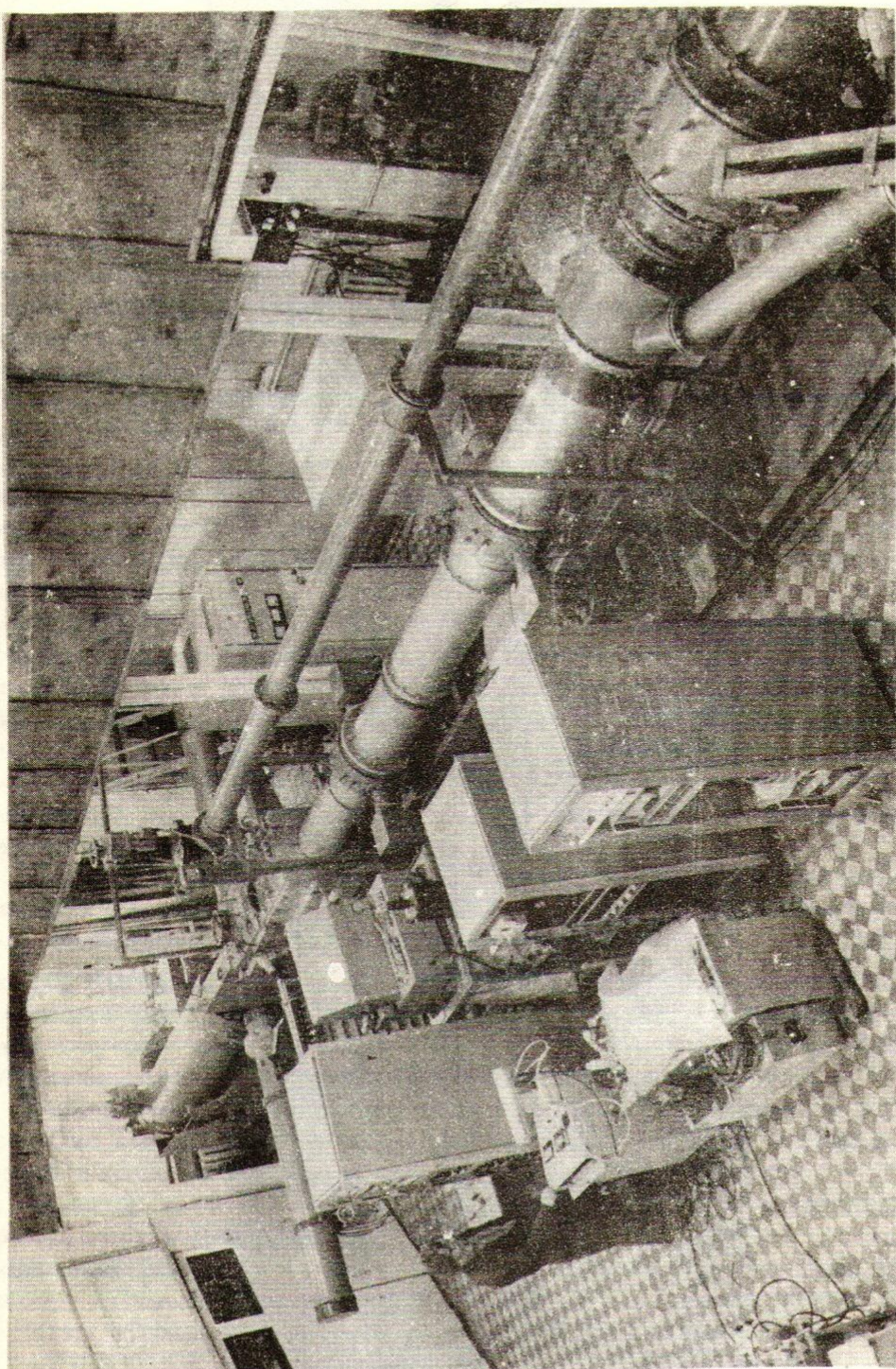


Рис. 2. Гиперзвуковая аэродинамическая установка (ГАУ)

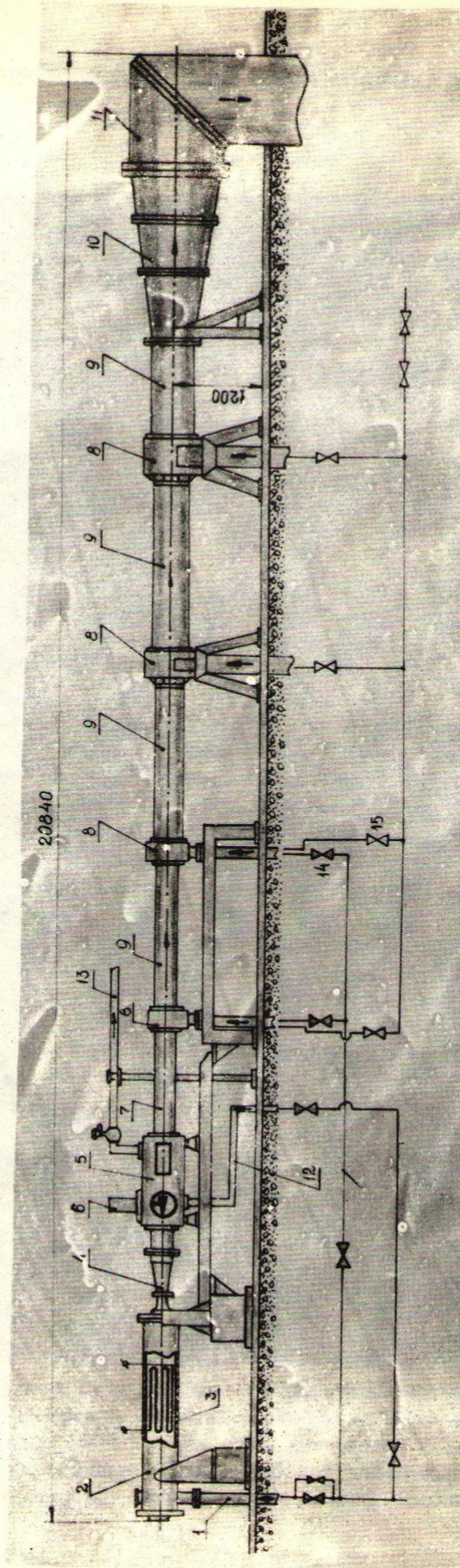


Рис. 3. Схема гиперзвуковой аэродинамической установки (ГАУ)

Теплера ИАБ-451, автоматизированными системами для измерения давления: стоканальной системой на основе датчиков ДМИ и 90-канальной на основе датчиков ИКД и 64-канальным пневмокоммутатором ПК-64-01, соединенных с вычислительным комплексом ИВК-1. Имеются также тензометрические весы различной конструкции, кино- и фотоаппаратура.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-3

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3 является аэродинамической трубой кратковременного действия баллонно-эжекторного типа без подогревателя. Она работает от баллонов высокого давления ($P_0 = 20$ МПа (200 атм)) и снабжена эжектором, работающим от баллонов низкого давления $P = 0,8$ МПа (8 атм). Установка обеспечивает числа $M = 0 + 4$. Давление в ресивере $P_0 = 0,2 + 12,5$ МПа ($2 + 125$ атм). Моделирование высоты полета - от 0 до 28 км. Числа Рейнольдса, подсчитанные для модели с характерным размером 100 мм, соответствуют диапазону $Re = 1,2 \cdot 10^5 + 3 \cdot 10^7$, что обеспечивает изучение аэродинамики летательных аппаратов при наличии как ламинарного, так и турбулентного пограничного слоя на их поверхности.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки А-3 представлены на рис. 4,5. Основными узлами установки являются: трубопровод высокого давления - 1, форкамера - 2, коробка вставок - 3, сменные сопла - 4, рабочая часть - 5; кормовой диффузор - 6, эжектор - 7, камера смешения - 8, диффузор - 9, пневмоввод - 10, система подвода высокого давления - 11, система отсоса воздуха из моделей - 12. Максимальное расчетное давление в ресивере $P = 12,5$ МПа, толщина стенки - 21,5 мм.

Коробка вставок служит для крепления сменных профилированных плоских сопел. Профилированные вставки обеспечивают равномерный плоскопараллельный сверхзвуковой поток, с числами Маха $M = 2,5; 3,0; 3,5$ и 4,0. Выходное сечение потока 200 x 200 мм. Имеется также сменное расходное сопло, состоящее из двух перфорированных вставок, позволяющее получать числа Маха от 0,8 до 1,3. Дозвуковые режимы $M = 0 + 0,8$ обеспечиваются также за счет применения плоских вставок.

Рабочая часть выполнена в виде камеры Эйфеля размером 600 x 600 мм. Она имеет сменные боковые стенки с оптическими стеклами. За рабочей частью установлены кормовой диффузатор и эжектор.

Эжектор представляет собой кольцевой кожух, установленный за диффузатором. Воздух низкого давления ($P_0 = 0,8$ МПа) поступает в форкамеру эжектора и истекает через кольцевое сверхзвуковое сопло в камеру смешения. Диффузатор обеспечивает торможение потока воздуха и затем отводит его в трассу, связанную с выхлопной камерой.

ПРИБОРНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Рабочая камера установки имеет систему подвода воздуха высокого давления ($P_0 = 20$ МПа) в модели и систему отсоса воздуха с поверхности моделей. Воздух отсасывается по вакуумному трубопроводу, соединенному с вакуумной емкостью, в которой обеспечивается разрежение до 10^{-2} мм рт. ст. Для ввода и вывода модели из потока на верхней сменной

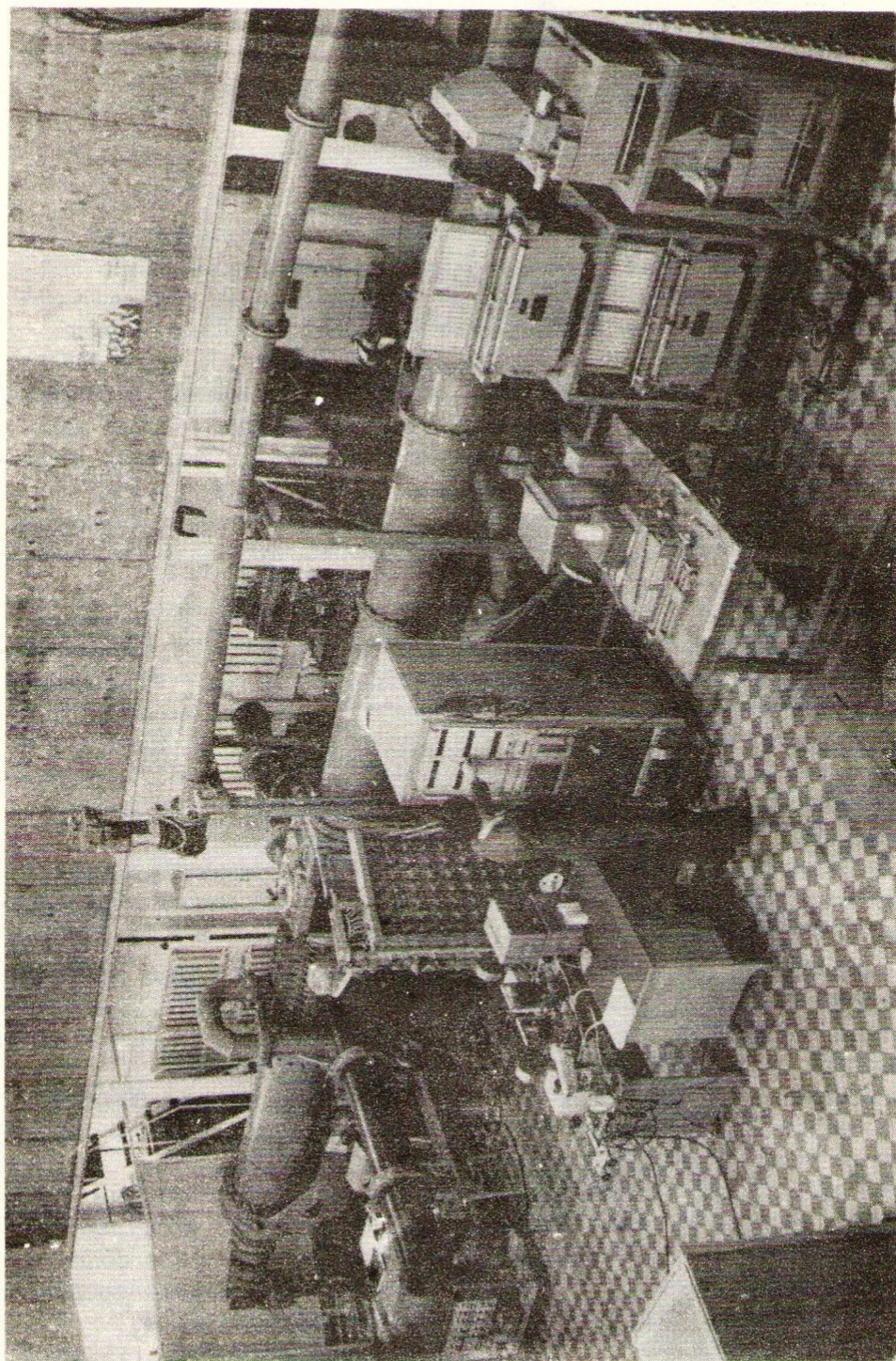


Рис. 4. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3

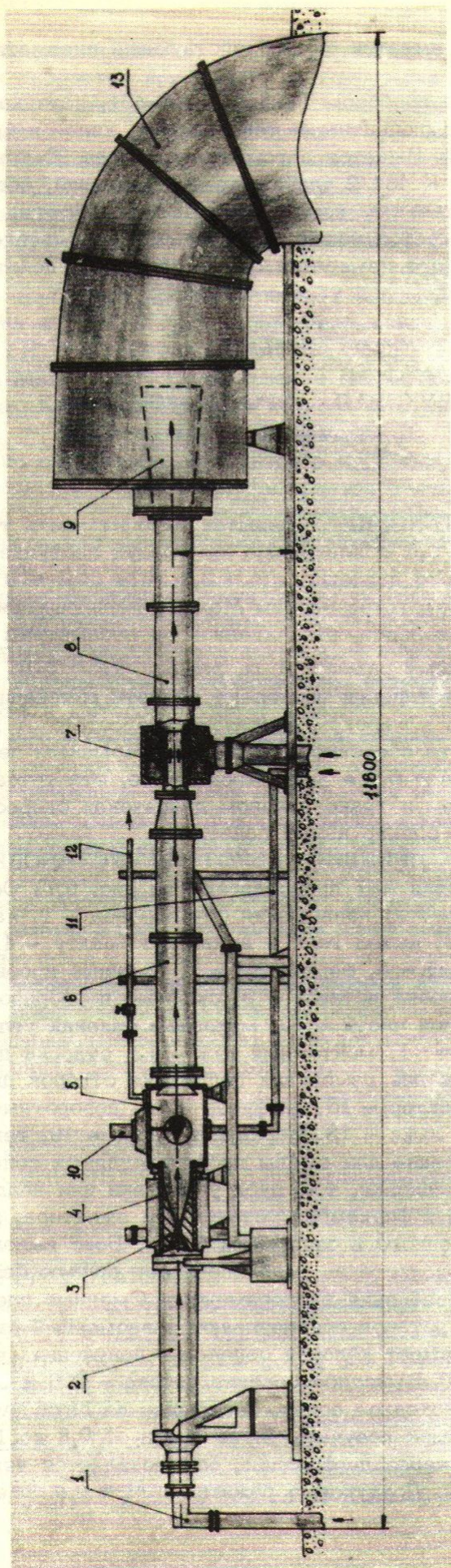


Рис. 5. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки А-3

крышке рабочей части имеется быстродействующий пневматический механизм.

Установка снабжена прибором Теплера ИАБ-451, датчиками давления ИКД и ДМИ, многокомпонентными тензовесами, кино- и фотоаппаратурой, лазерной техникой. Имеется автоматизированная 90-канальная регистрирующая система К 484/2 для измерения давления, соединенная с измерительно-вычислительным комплексом ИВК-1. Система управляется с пульта установки, имеется также оригинальная автоматическая система для тензометрического измерения сил и моментов, действующих на тела, обтекаемые потоком под углами атаки.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-7

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Закрытая рабочая часть трубы квадратного сечения 0,6 x 0,6 м длиной 1,5 м. Воздух поступает из системы газгольдеров низкого давления $P = 0,8$ МПа ($P = 8$ атм). Диапазон скоростей соответствует числам Маха, изменяющимся от $M = 0,4$ до 4. Число Рейнольдса, рассчитанное по параметрам набегающего потока и характерному размеру 1 м, равны $Re = 4 \cdot 10^7 + 1,6 \cdot 10^8$ 1/м, параметры этой установки позволяют изучать обтекание моделей летательных аппаратов в широком диапазоне скоростей: от дозвуковых до сверхзвуковых и, что особенно важно, с непрерывным переходом через скорость звука ($M = 0,4 + 1,3$). Кроме того, эта труба переменной плотности: в дозвуковом и трансзвуковом диапазонах скоростей можно моделировать широкий спектр высот полета.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки А-7 представлены на рис. 6,7. Основными узлами установки являются: подводящий трубопровод - 1, напорный эжектор - 2, дроссель - 3, выход газа в выхлопную шахту - 4, входной диффузор - 5, хонейкомб - 6, форкамера - 7, сменные профилированные плоские сопла - 8, коробка вставок - 9, сменные перфорированные и сплошные панели рабочей части - 10, механизм задания углов атаки с консольной державкой - 11, монтажный люк - 12, створки диффузора - 13, электродвигатели для изменения положения створок диффузора - 14, всасывающий эжектор - 15, диффузор - 16, поворотные лопасти - 17, технологические люки - 18, шарнирная опора - 19, центральная опора - 20, приспособление для смены профилированных сопел - 21. Управление работой установки, т.е. пуск установки или поддержание необходимого давления в форкамере установки и эжектора, производится с пульта, расположенного в отдельном боксе. Бокс выполнен из железобетона, имеет бронестекла и обеспечивает полную безопасность персонала во время проведения экспериментов. Сменные плоские профилированные колодки вставок обеспечивают равномерный сверхзвуковой поток. Установка имеет колодки сопел для получения числа Маха $M = 2,5; 3,0; 3,5$ и 4,0. Выходное сечение потока - 200 x 200 мм, имеется также сменное расходное сопло, состоящее из двух перфорированных колодок, позволяющих получать числа Маха от 0,8 до 1,5. Удаление газа, выходящего через перфорацию, осуществляется через специальные трубопроводы. Дозвуковые режимы $M = 0,8$ обеспечивают

ся за счет применения плоских неперфорированных колодок вставок. При сверхзвуковых скоростях применяют регулируемые четырехзвенные створки диффузора, который позволяет существенно уменьшить расход потребляемого сжатого воздуха. Испытания при числах $M < 1,5$ проводятся с перфорированными верхними и нижними стенками рабочей части, а при $M > 1,5$ — со сплошными стенками.

Увеличение плотности воздуха, необходимое для увеличения числа Рейнольдса, достигается повышением давления в форкамере до $P_0 = 0,6$ МПа ($P_0 = 6$ атм), с одновременным дросселированием выхода воздуха из трубы при числах $M = 1,5$. Выход отработанного воздуха производится в специальный канал, снабженный звукопоглотителями.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Для определения числа Маха, числа Рейнольдса и скоростного напора используются автоматические измерители полного давления P_0 , статического давления P и температуры торможения T_0 . Измерители P_0 и P состоят из сильфонных элементов и автоматических весовых элементов. Температура торможения измеряется с помощью электрического термометра сопротивления, датчик которого расположен в форкамере трубы перед хонейкомбом. Труба обеспечена автоматическими системами управления режимами установки по числам Маха и задания угла атаки, допускающими последовательную отработку требуемых углов атаки и необходимый интервал временных выдержек.

Для оптических наблюдений и фотосъемки спектров обтекания труба оборудована прибором ИТ-14, позволяющим получать фотографии, интерферометрические — методом полос и теневые. Используются постоянные источники ионного излучения и искровые источники света. С помощью телевизионной системы положение модели в процессе эксперимента, а также спектры обтекания моделей наблюдаются на экране в помещении пульта управления. Для регистрации нестационарных процессов используется скоростная кинокамера.

Установка снабжена комплектом многокомпонентных тензовесов, усилительной и регистрирующей аппаратурой, имеются автоматические координатники и системы записи результатов измерения давления с помощью индуктивных датчиков и пневмокоммутаторов. Широко используются несколько комплексов отечественной и импортной аппаратуры (усилители, магнитофоны, анализаторы спектров, корреляторы и т.д.) для измерений случайных стационарных процессов: турбулентности, акустических характеристик, пульсаций давления и скорости.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-8

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Аэродинамическая установка А-8 является аэродинамической трубой кратковременного действия газгольдерного типа. Рабочим телом для нее является воздух, сжатый до давления $P = 0,8$ МПа (8 атм). Набор сопел обеспечивает получение скоростей потока в рабочей части трубы, соответствующих числам $M = 0,8$ и $1,5 - 3,0$ при числах Рейнольдса соответственно $Re = 2,8 \cdot 10^6 + 1,7 \cdot 10^7$ 1/м и $2,5 \cdot 10^7 + 6,5 \cdot 10^7$ 3/м. Такой диапазон параметров потока в трубе позволяет вести исследования по аэродинамике летательных аппаратов при моделировании высоты полета от 0 до 15 км.

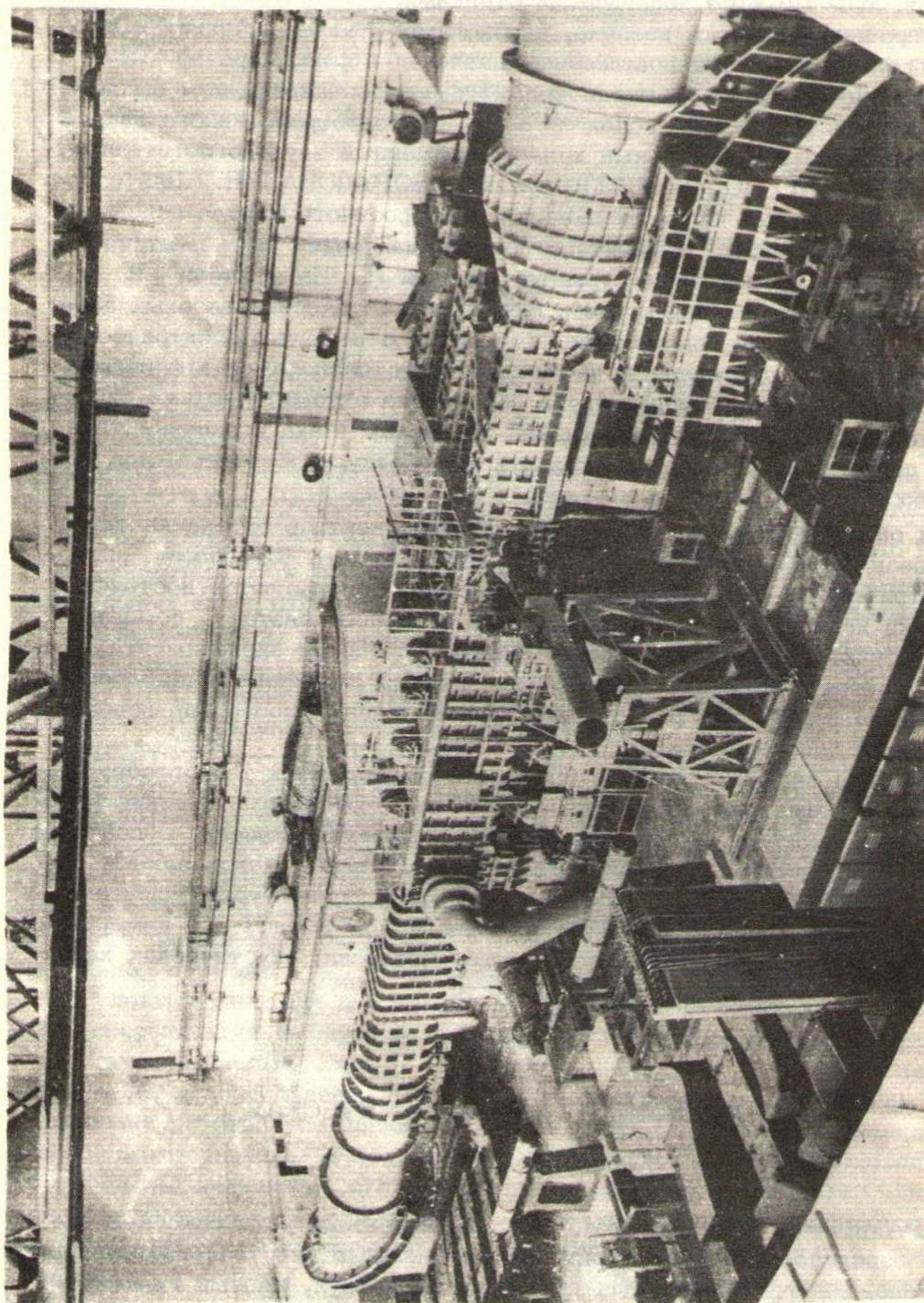


Рис. 6. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-7

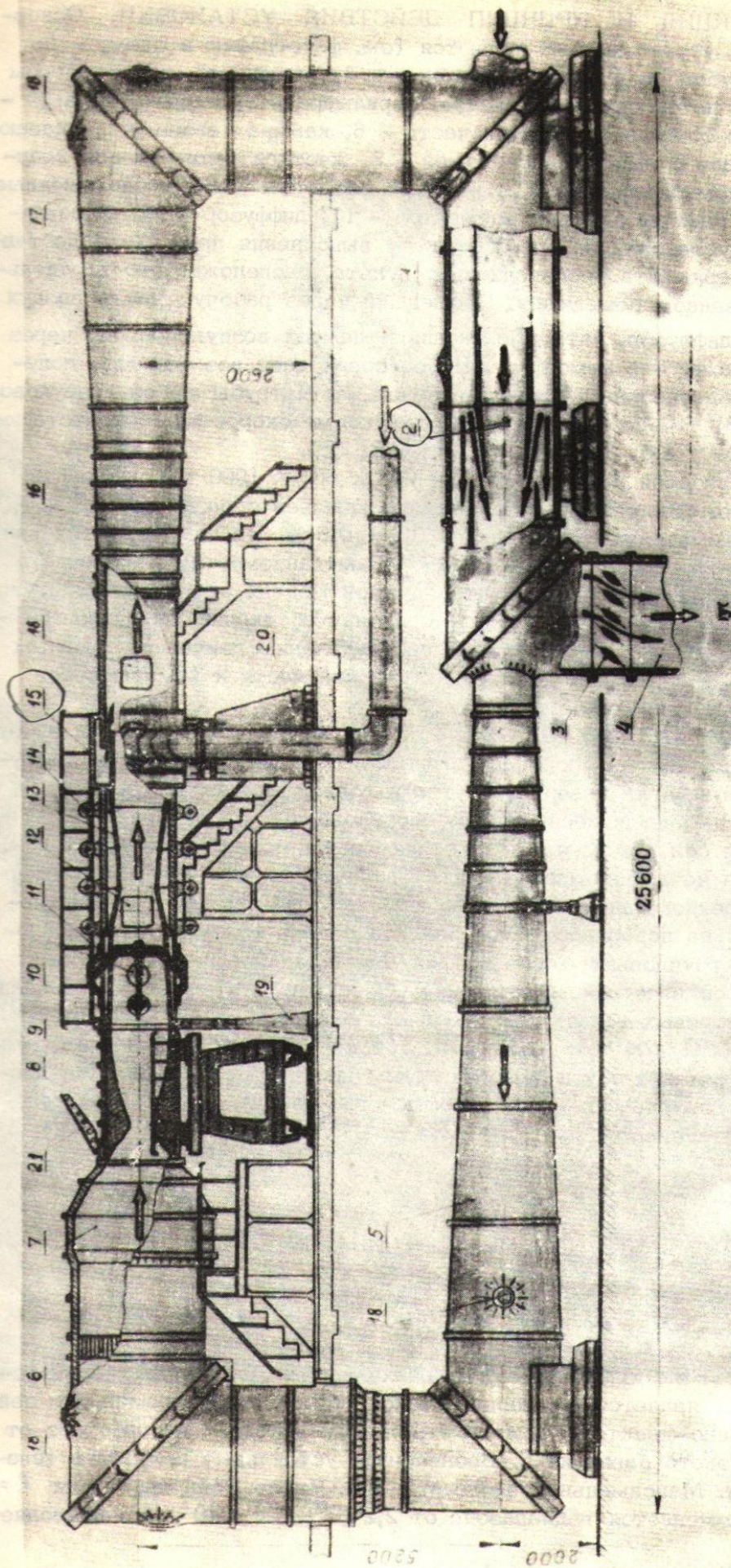


Рис. 6. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки А-7

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Основными узлами установки А-8 являются (см. фотографию и схему на рис. 8,9): трубопровод низкого давления - 1, хонейкомб - 2 с набором спрямляющих поток сотовых каналов, форкамера - 3, коробка вставок - 4, сменные сопла - 5, рабочая часть - 6, камера весов - 7, плавающая рама весов с рычажной системой - 8, жесткая подвеска для крепления испытуемых моделей - 9, весовые элементы - 10, расположенные на площадке камеры весовых элементов - 11, диффузор - 12. Управление работой установки во время пуска и выполнения программы поставленного эксперимента производится с пульта, расположенного в отдельном изолированном помещении. Прошедший через рабочую часть воздух поступает в диффузор, затем по расширяющемуся воздухопроводу через выхлопную шахту - в атмосферу. Набор сопел дает возможность получать плоскопараллельный поток в рабочей части трубы любой дозвуковой скорости от $M = 0$ до $M = 0,8$ и сверхзвуковые скорости, соответствующие числам $M = 1,5; 1,78; 2,0; 2,25; 2,5; 3,0$.

Размеры рабочей части установки 600 x 600 x 1900 мм позволяют проводить исследования по аэродинамике крыльев с размахом 0,4 - 0,5 м или осесимметричных тел длиной 0,5 - 0,6 м. На раме смонтирован механизм поворота подвески весов (α - механизм). Этот механизм позволяет изменять угол атаки исследуемой модели от -5° до $+25^\circ$. Определяются как интегральные характеристики обтекания при помощи весов, так и локальные параметры по распределению давления, срывным зонам и т.д. В вертикальных стенках рабочей части и камеры весов смонтированы оптические стекла.

ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВКИ. Для изучения интегральных аэродинамических характеристик летательных аппаратов и других тел, а также на поверхности тел и вблизи них аэродинамическая установка оснащена измерительным оборудованием и приборами. Суммарные значения сил и моментов, действующих на модели в потоке трубы, определяются четырехкомпонентными автоматическими весами рычажного типа и трехкомпонентными тензометрическими весами. Распределение давления на поверхности моделей и в потоке фиксируется осциллографами или групповыми манометрами. Исследование нестационарных процессов производится с применением датчиков ДМИ, усилительной аппаратуры, цифровых вольтметров, осциллографов, а также кинокамер СКС-1 и "Zeitlupa". Параметры потока измеряются весовыми элементами. Установка оснащена оптическим прибором ИАБ-451. Для дистанционного визуального наблюдения используется промышленная телевизионная установка.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-11

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-11 является аэродинамической трубой кратковременного действия баллонно-эжекторного типа без подогревателя. Она работает от баллонов низкого давления и обеспечивает устойчивые режимы в течение 6 минут. Максимальное число $M = 2,5$. Число Рейнольдса для $\ell = 100$ мм изменяется в диапазоне от $2,2 \cdot 10^6$ до $1,3 \cdot 10^7$, что позволяет

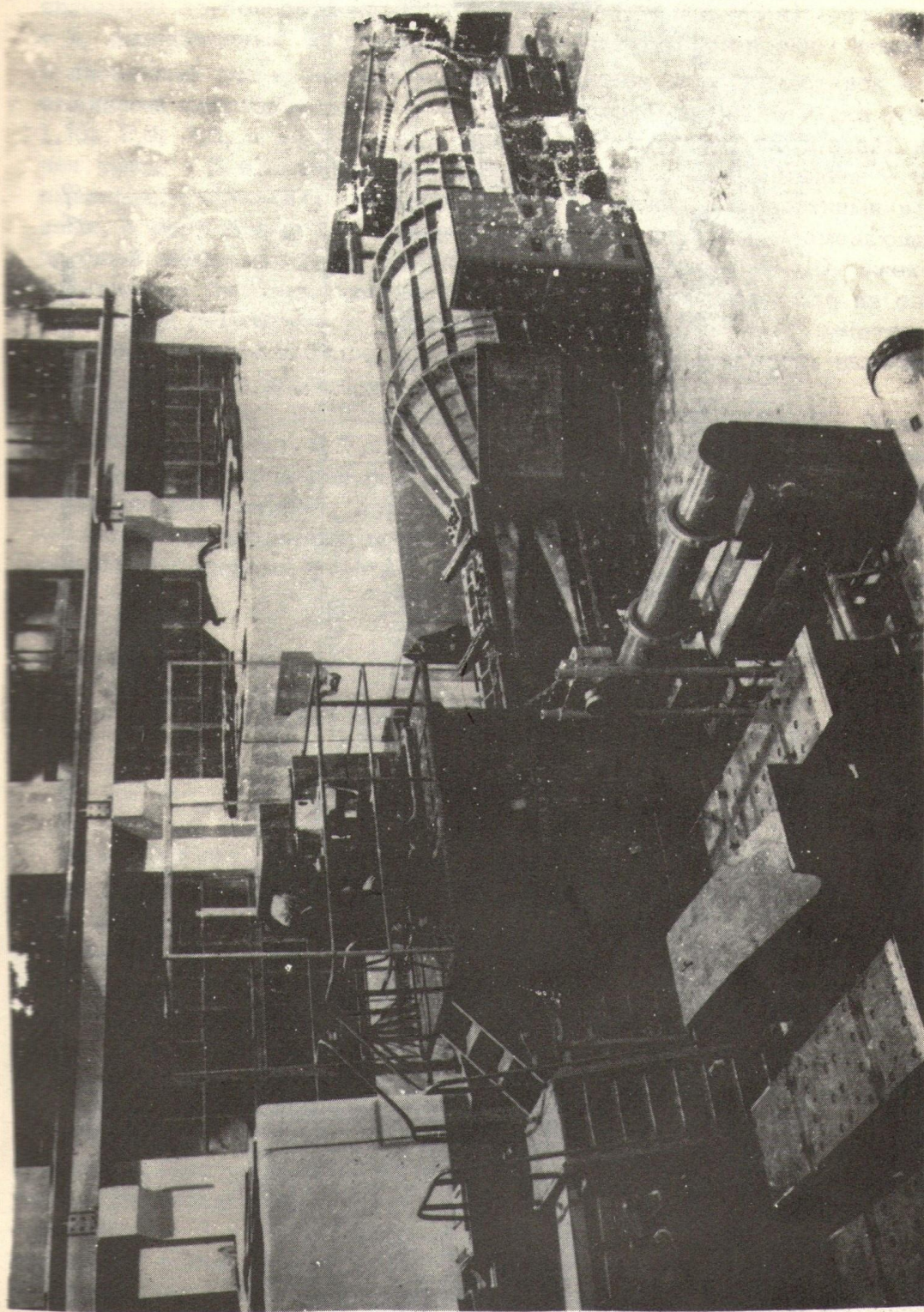


Рис. 8. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-8

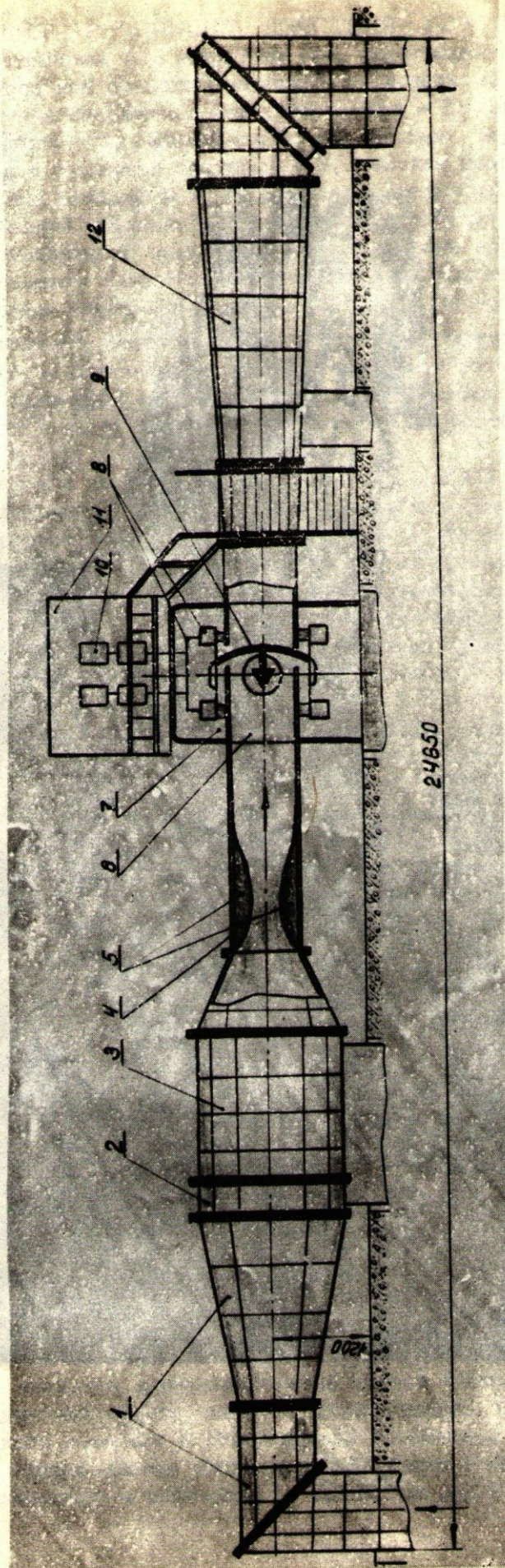


Рис. 9. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки А-8

получить на поверхности модели как ламинарный, так и турбулентный пограничный слой. За счет применения в рабочей части перфорированных вставок установка обеспечивает околосвуковые режимы.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Схема установки представлена на рис. 10 и 11. Основными узлами установки являются: трубопровод низкого давления ($P = 0,8$ МПа) — 1; ресивер — 2, рассчитанный на давление 1,2 МПа с технологическим люком — 3 и насадками для измерения полного давления; коробка вставок — 4 со сменными сверхзвуковыми соплами для получения чисел Маха 1,2; 1,3; 1,75; 2,0; 2,5, а также дозвуковых и околосвуковых скоростей; рабочая часть — 5 в виде камеры Эйфеля с оптическими стеклами — 6 и сменными сплошными и перфорированными нижними и верхними вставками, с державками для моделей — 8; переходник — 9, заменяющий трубный диффузор между рабочей частью и эжектором — 10. Эжектор работает от баллонов низкого давления и имеет на выходе из своей форкамеры регулируемое кольцевое сопло. Диффузор — 11 работает как камера смешения и одновременно как выхлопной диффузор, выводящий поток воздуха в выхлопную шахту — 12.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Установка снабжена прибором Теплера ИАБ-451, высокоскоростной кинокамерой, кино-, фотоаппаратурой, набором гребенок и насадков полного и статического давления, преобразователями давления МАС-Э1, набором державок для крепления модели в рабочей части под углами атаки, термоанемометрами Т7-М, регистрирующей электронной аппаратурой.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-3К

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3К является аэродинамической трубой непрерывного действия баллонно-эжекторного типа без подогревателя. Она работает от баллонов низкого давления $P = 0,8$ МПа (8 атм). и снабжена эжектором, работающим от баллонов низкого давления. Аэродинамическое сопло установки обеспечивает число Маха потока, равное 2,2+3. Давление в ресивере $P_0 = 0,2+0,6$ МПа (2-6 атм). Числа Рейнольдса, рассчитанные по параметрам невозмущенного потока и характерному размеру, равному 100 мм, соответствуют диапазону $1,3 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^7$.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки А-3К представлены на рис. 12,13. Основными узлами установки являются: 1 — трубопровод низкого давления; 2 — форкамера; 3 — устройство для подачи капель жидкости или газа в воздушный поток; 4 — рабочая часть; 5 — сопло; 6 — механизм регулирования сопла; 7 — диффузор; 8 — запорная задвижка; 9 — выхлопной трубопровод; 10 — подвеска трубы; 11 — опора.

Управление работой установки, т.е. пуск установки и поддержание необходимого давления в ее форкамере и эжекторе, производится с пульта, расположенного в отдельном боксе.

Рабочая часть установки с поперечным сечением 80 x 80 мм является естественным продолжением профилированного сопла. Ее боковые

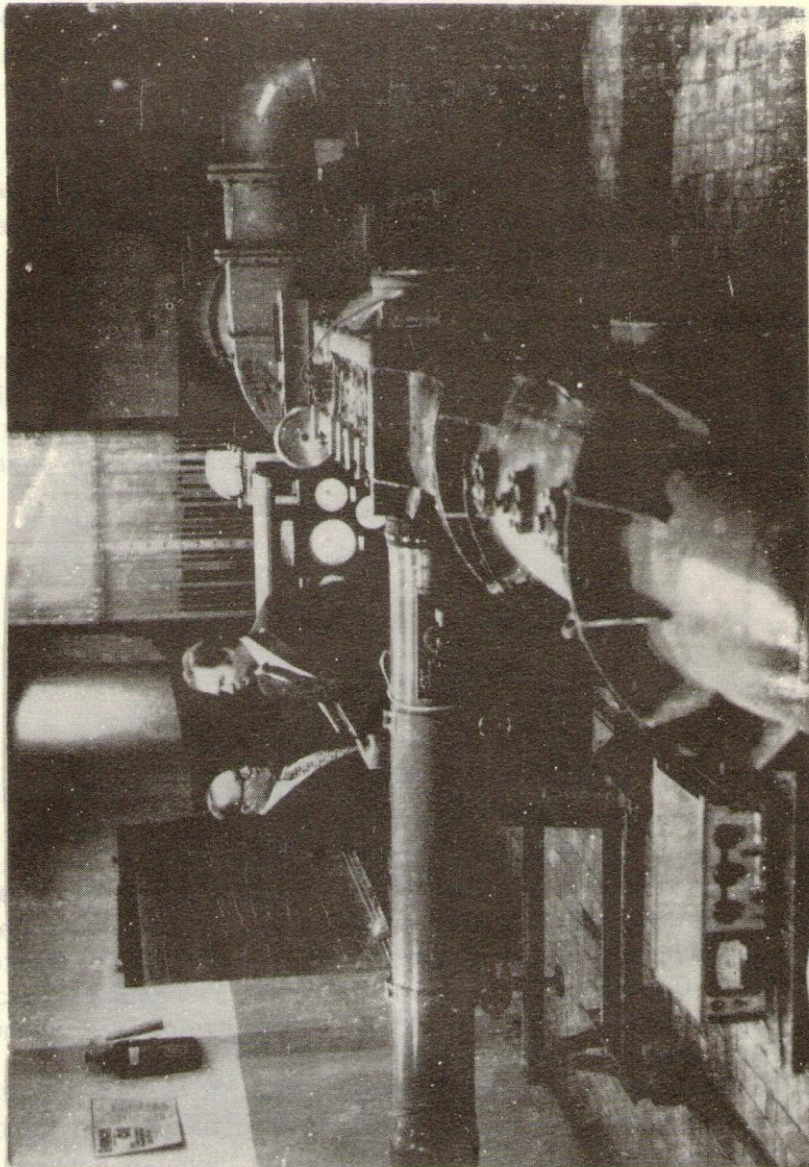


Рис. 10. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-11

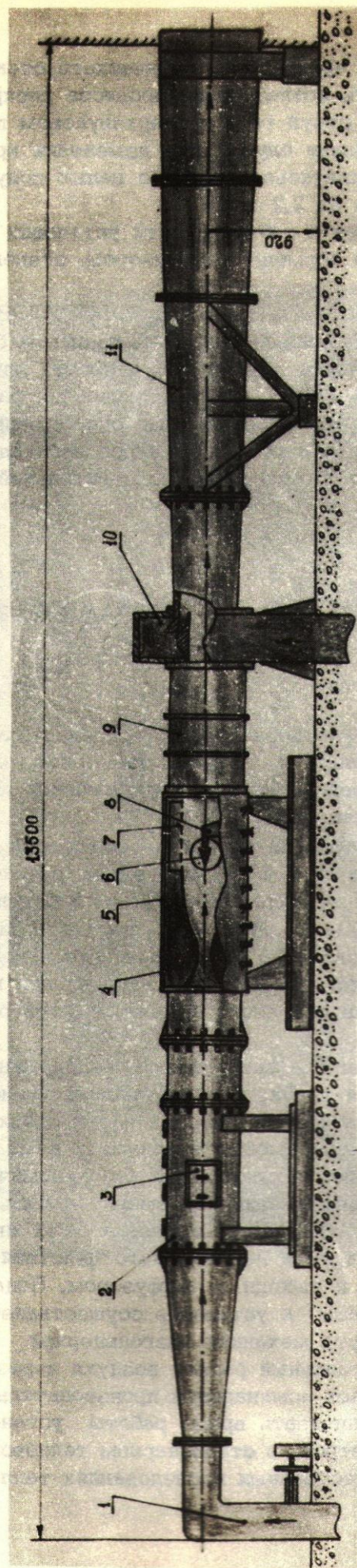


Рис. 11. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки А-11

стенки изготовлены из прозрачного оптического стекла. Такая конструкция позволяет проводить исследования процесса распространения и смешения капель жидкости и струй газа в сверхзвуковом потоке.

Механизм регулирования служит для изменения критического сечения и выбора профиля сверхзвукового сопла с целью получения равномерного потока с числами Маха от 2,2 до 3.

Начальное разрежение в рабочей части установки создается эжектором, расположенным за кормовым диффузором, степень сжатия которого равна 3.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Корпус ресивера установки оборудован специальным сменным блоком, позволяющим осуществлять подачу капель различных жидкостей или струй газа в критическую часть сверхзвукового сопла. Процесс их распространения и смешения с потоком фиксируется при помощи скоростной кинокамеры. Регистрация рабочих параметров установки и все необходимые измерения производятся при помощи многоканальной измерительной системы, связанной с комплексом ИВК-1.

СВЕРХЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА АР-1

Аэродинамическая установка АР-1 предназначена для экспериментальных исследований в пограничном слое моделей, обтекаемых сверхзвуковым потоком воздуха, при наличии тепло- и массообмена на их поверхностях.

Основной частью установки является сверхзвуковая аэродинамическая труба непрерывного действия с регулируемым плоским соплом, рабочей частью прямоугольного сечения 100 x 70 мм и регулируемым выходным диффузором. Длина: 7,5 м, ширина -1 м, высота -2 м.

Установка, кроме основного помещения, где находится экспериментальная часть, имеет помещение пульта управления и регистрации данных измерений, а также отдельное помещение, где размещен вакуумный насос.

В том же помещении (на антресолях) расположена небольшая дозвуковая аэродинамическая труба, геометрические размеры рабочей части которой совпадают с размерами рабочей части сверхзвуковой трубы, что позволяет проводить эксперименты с одними и теми же моделями в дозвуковом и сверхзвуковом потоках. Обе аэродинамические установки обслуживаются одним информационно-измерительным комплексом.

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Установка АР-1 является сверхзвуковой аэродинамической трубой непрерывного действия с регулируемым сверхзвуковым соплом и выходным диффузором. Подача воздуха давлением до 0,8 МПа (8 атм) к установке осуществляется от общей для всех установок института механики газгольдерной батареи и компрессорной станции. Максимальный расход воздуха через установку (около 10 кг/с) не превышает номинальной производительности компрессора, что позволяет не ограничивать время работы установки и производить измерение всех параметров в стационарном тепловом режиме, что особенно важно при количественных исследованиях теплообмена в сверхзвуковом потоке.

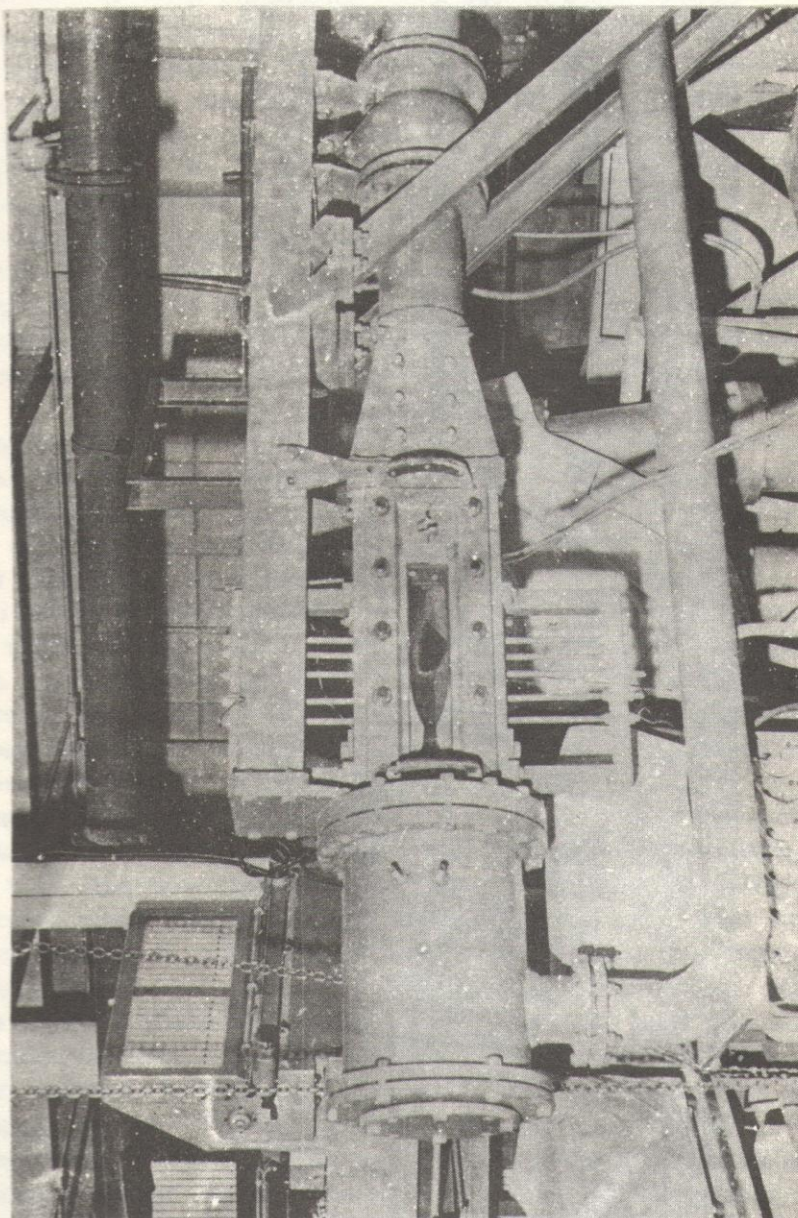


Рис. 12. Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3К

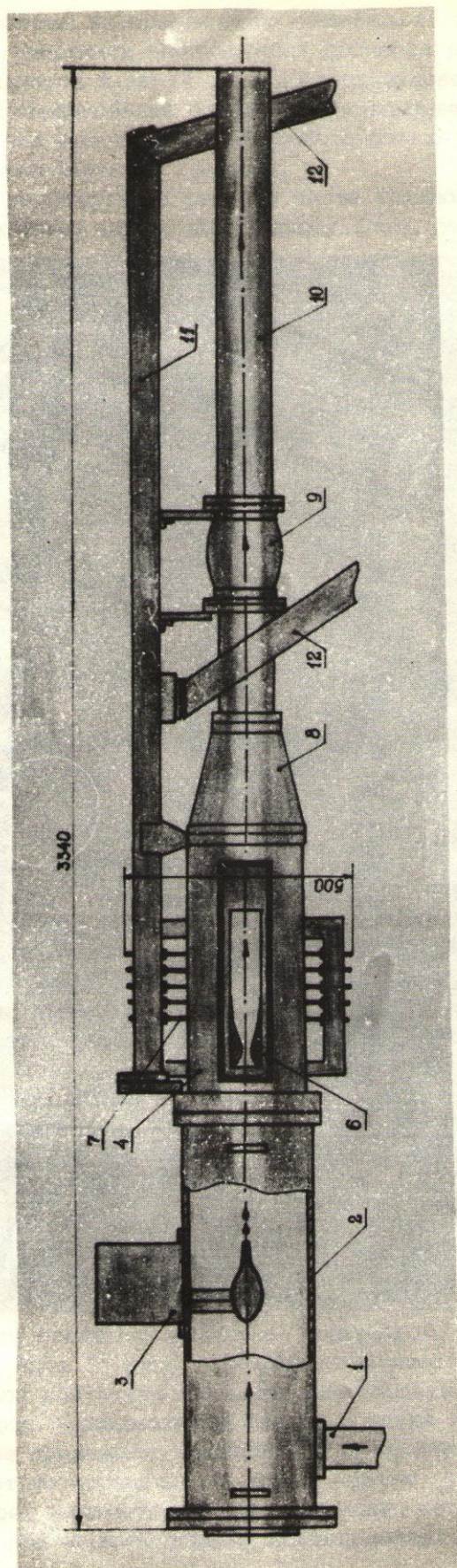


Рис. 13. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки А-3К

Установка АР-1 снабжена плоским регулируемым сверхзвуковым соплом пластинчатого типа, что позволяет непосредственно во время эксперимента изменять скорость потока в рабочей части установки от скорости, соответствующей числу Маха 1,7 до 3,5. Максимальное давление в ресивере установки соответствует 0,8 МПа, температура воздуха может меняться в небольших пределах: от 300 К до 340 К. Однако, такого изменения достаточно, чтобы с необходимой точностью измерять тепловые потоки через поверхность модели. Числа Рейнольдса, подсчитанные для модели с характерным размером 100 мм, соответствуют диапазону $10^5 + 10^6$, т.е. у поверхности модели имеет место турбулентный режим течения. Средняя квадратичная неравномерность поля скоростей потока в поперечном сечении на выходе из сопла не превышает 5%. Толщина динамического пограничного слоя на срезе сопла составляет около 6 мм.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Основными узлами установки являются: подводящий трубопровод - 1, ресивер - 2, рабочая часть с регулируемым соплом и диффузором - 3, система вдува - 4, система отсоса с вакуумным насосом ВН-6 - 5, измерительная аппаратура - 6, пульт управления и регистрирующая аппаратура - 7.

При строительстве установки АР-1 были приняты специальные меры, направленные на снижение влияния вибраций на измерительную аппаратуру.

Управление установкой, т.е. открытие и закрытие дистанционно управляемых задвижек с электроприводом на падающем воздухопроводе, осуществляется с пульта управления установкой, расположенного в отдельном звукоизолированном помещении. Ресивер установки представляет собой резервуар прямоугольной формы с размерами: 860 x 660 x 460 мм. В 1978 г. в ресивере был смонтирован электроподогреватель омического типа (потребляемая мощность около 70 кВт), что позволило осуществлять на некоторых режимах (большие числа M) подогрев воздушного потока, достаточный для проведения тепловых измерений. В ресивере производится измерение заторможенных параметров потока: давления и температуры.

Рабочая часть аэродинамической трубы кроме регулируемого сопла и выходного диффузора представляет собой канал прямоугольного сечения 100 x 70 мм, боковые стенки которого образованы набором плоских пластин, среди которых имеются пластины с круглыми илиллиминаторами. Перестановка пластин позволяет расположить пластины с илиллиминаторами в требуемых местах рабочей части и с помощью подвижного теневого прибора ИАБ-451 осуществлять визуализацию и фотографирование картины течения. При этом в качестве источников света используются как обычные ртутные лампы, так и стробоскопический осветитель с регулируемой частотой и продолжительностью вспышки.

На одной из боковых крышек рабочей части смонтирован автоматический микрокоординатник, позволяющий с помощью сменных зондов производить измерения распределения параметров пограничного слоя на модели.

Регулируемый выходной диффузор позволяет снизить потери полного давления при выхлопе в атмосферу и тем самым реализовать сверхзвуковое течение в рабочей части трубы при меньшем давлении в ресивере.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Установка АР-1 оборудована системой вдува воздуха в пограничный слой модели. Подача воздуха в нее осуществляется от магистрали высокого давления (20 МПа) через распределительный коллектор, регулируемые

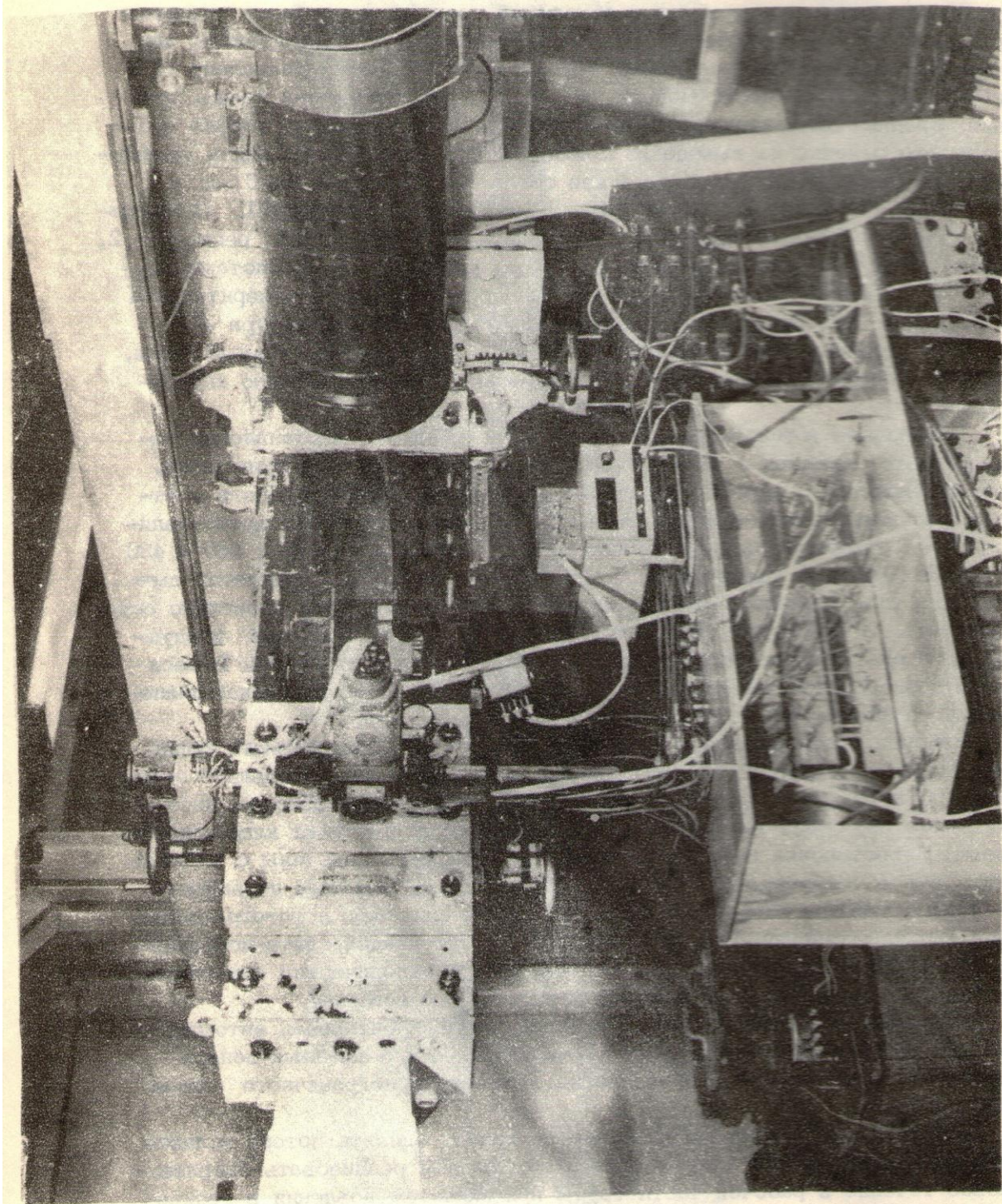


Рис. 14. Сверхзвуковая аэродинамическая установка АР-1

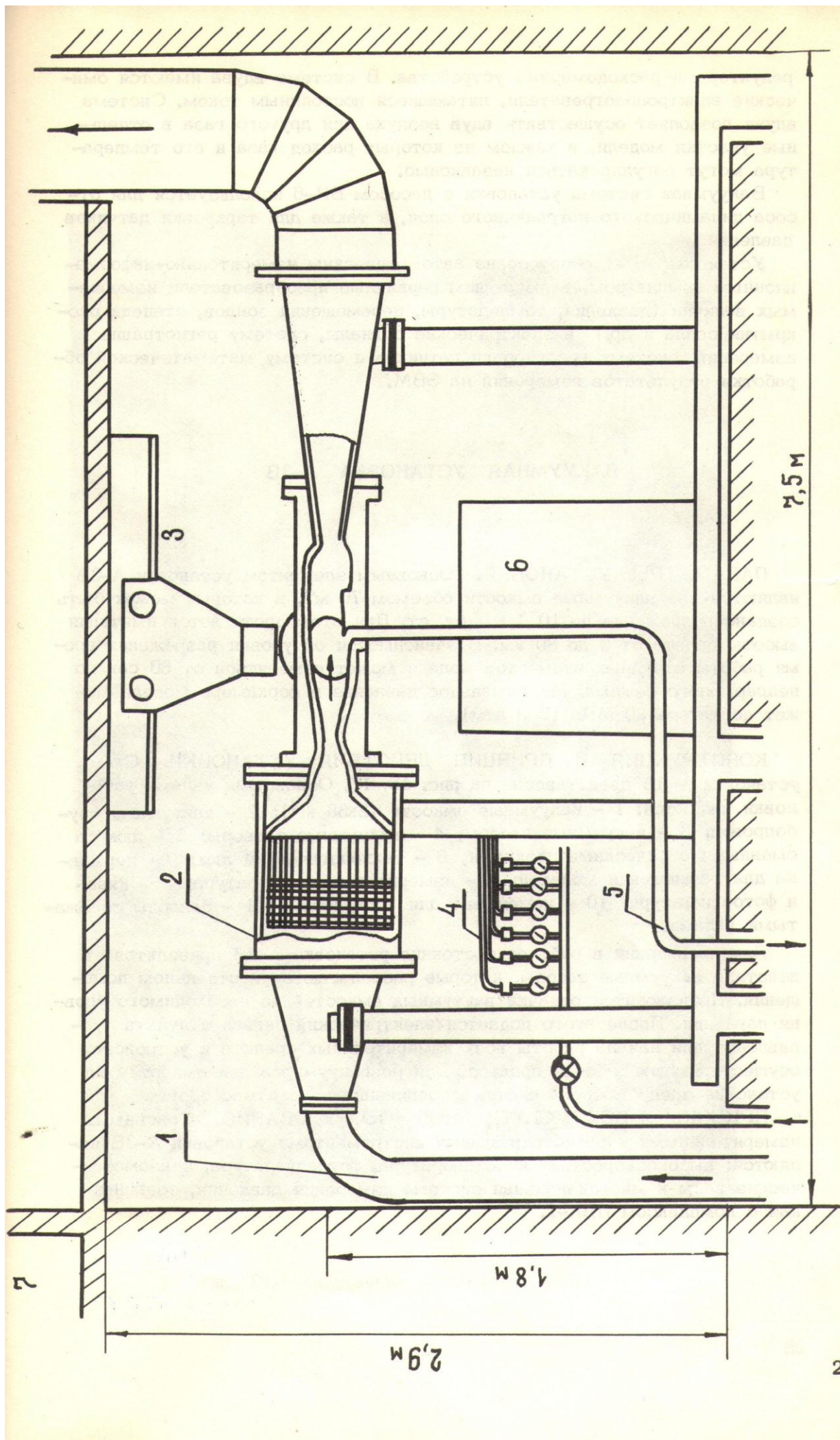


Рис. 15. Схема сверхзвуковой аэродинамической установки АР-1

редукторы и расходомерные устройства. В системе вдува имеются омические электроподогреватели, питающиеся постоянным током. Система вдува позволяет осуществить вдув воздуха или другого газа в отдельные участки модели, в каждом из которых расход газа и его температура могут регулироваться независимо.

Вакуумная система установки с насосом ВН-6 используется для отсоса динамического пограничного слоя, а также для тарировки датчиков давления.

Установка АР-1 оборудована автоматическим измерительно-информационным комплексом, включающим первичные преобразователи измеряемых величин (давления, температуры, перемещения зондов, степени раскрытия сопла и др.) в электрические сигналы, систему регистрации измерений, систему градуировки датчиков и систему математической обработки результатов измерений на ЭВМ.

ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА А-3В

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Основным элементом установки А-3В являются две вакуумные емкости объемом 70 м^3 , в которых может быть создано разрежение до 10^{-2} мм рт. ст. При этом достигается имитация высоты полета от 0 до 80 км. В зависимости от уровня разрежения время работы струйных элементов модели может изменяться от 60 сек до непрерывного режима. Максимальное давление в форкамере модели может достигать 20 МПа (200 атм).

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Схема установки А-3В представлена на рис. 16, 17. Основными узлами установки являются: 1 - вакуумные емкости ($2 \times 35 \text{ м}^2$); 2 - вакуумный трубопровод; 3 - вакуумные насосы; 4 - вакуумные затворы; 5 - люк со сменными оптическими стеклами; 6 - технологический люк; 7 - державка для размещения моделей; 8 - измерительная аппаратура; 9 - кино- и фотоаппаратура; 10 - помещение для аппаратуры; 11 - баллоны со сжатыми газами.

Для приведения в рабочее состояние установки А-3В приводятся в действие вакуумные насосы, которые располагаются в отдельном помещении. Производится откачка вакуумных емкостей до необходимого уровня давления. После этого подается электрический сигнал с пульта управления для начала работы всех измерительных средств и устройств, осуществляющих рабочий процесс. Для развакуумирования емкостей на установке предусмотрена система соединения их с атмосферой.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Основными измерительными и регистрирующими инструментами установки А-3В являются: высокоскоростная киноаппаратура, фотоаппаратура, тензометрические весы и многоканальная система измерения давлений, соединенная с комплексом ИВК-1.

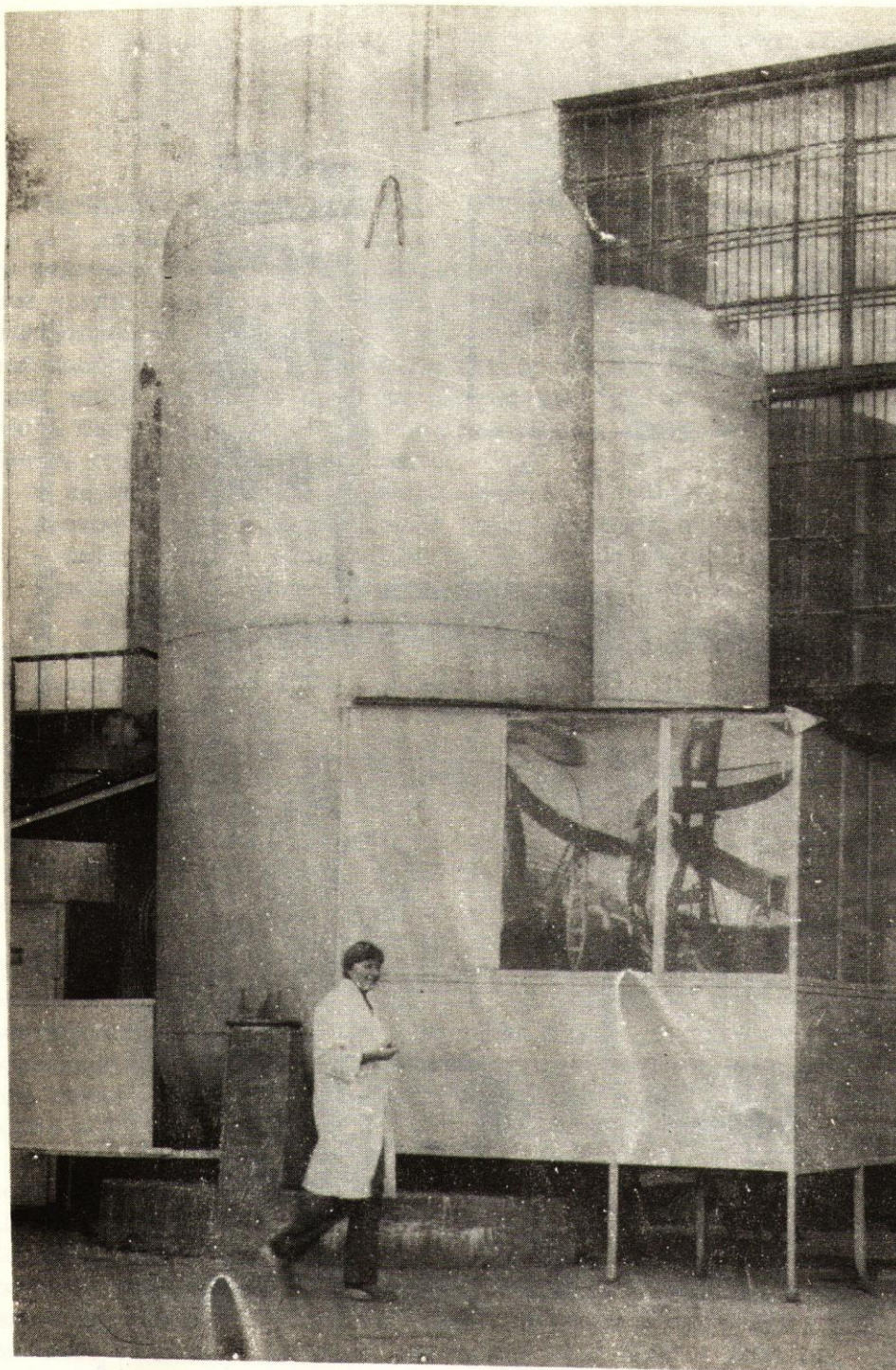


Рис. 16. Вакуумная установка А-3В

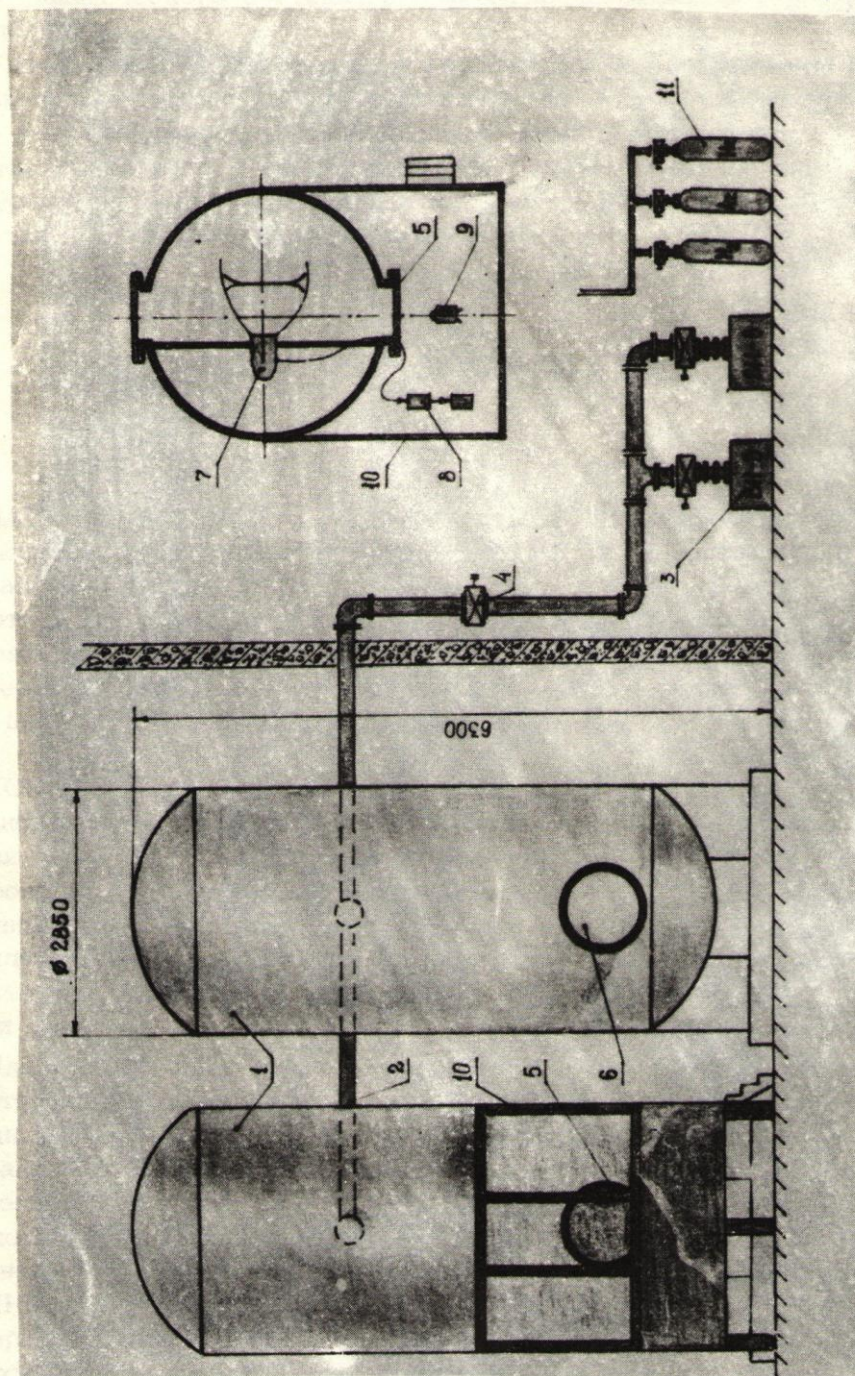


Рис. 17. Схема вакуумной установки А-3В

ДОЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-6

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Дозвуковая аэродинамическая установка А-6 малых скоростей является аэродинамической трубой постоянного действия, замкнутая, одноканальная с открытой рабочей частью. Приводом трубы служит шестилопастный вентилятор диаметром 4,4 м, вращаемый двигателем постоянного тока мощностью $N = 2000$ кВт. Максимальная скорость потока в рабочей части трубы при отсутствии в ней модели достигает 100 м/с, а при наличии в трубе модели рабочая скорость составляет 60 м/с. Качество потока в рабочей части характеризуется следующими величинами:

- неравномерность величины скорости - $+0,5\%$;
- скос потока в вертикальной плоскости не превышает $+0,25^\circ$;
- скос потока в горизонтальной плоскости в пределах $+0,25^\circ$.

Продольная составляющая интенсивности начальной турбулентности ϵ_0 в рабочей части при работе без турбулизирующих устройств не превышает в пустой трубе 0,2, а критическое число Рейнольдса для шара диаметром $d = 150$ мм равно 375000.

Установка съемных сеток-кассет обеспечивает изменение интенсивности турбулентности до $\epsilon_0 \leq 10\%$. Числа Рейнольдса, подсчитанные для модели с линейными характерными размерами $0,5 \leq l \leq 1,5$ м, соответствуют диапазону $10^5 \leq Re \leq 10^7$, что обеспечивает изучение аэродинамики транспортных средств, промышленных сооружений и летательных аппаратов как в докритической, так и закритической зоне обтекания.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки представлены на рис. 18, 19. Основными элементами трубы являются: сопло - 4, рабочая часть - 6, диффузор - 11; вентиляторная установка - 12; колонна с поворотными лопатками - 15; обратный канал - 14; форкамера - 1, хонейкомб - 2; детурбулизирующие сетки - 3; турбулизирующие устройства - 5; профилированная банка - 10.

Управление работой установки, т.е. пуск и поддержание выбранных режимов скорости, производится с пульта, расположенного в изолированном от шума помещении в непосредственной близости от установки. Сопло выполнено из дерева. Степень поджатия сопла $n = 5,09$. Для создания безотрывного течения форма очертания сопла выбрана по уравнению Витошинского. Сечение входа - прямоугольник 7000 x 5330 мм, выходное сечение - эллипс с размерами осей 4000 x 2300 мм, длина сопла $l = 5920$ мм.

Рабочая часть - открытая, эллиптического сечения. Длина рабочей части $l = 4000$ мм.

Диффузор - выполнен из дерева, представляет собой постепенно расширяющийся канал с переходом от эллиптического сечения в круглое.

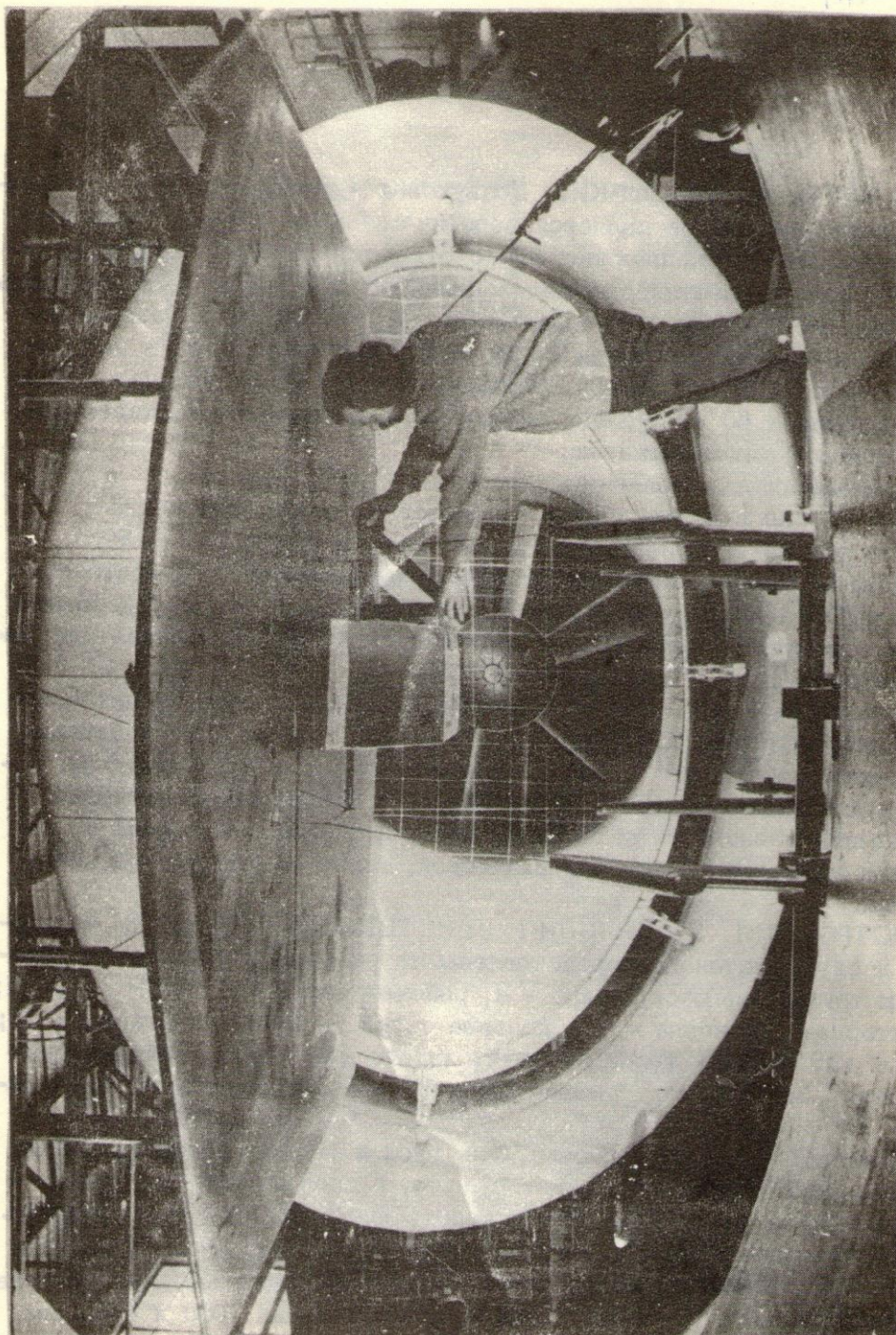


Рис. 18. Дозвуковая аэродинамическая установка А-6

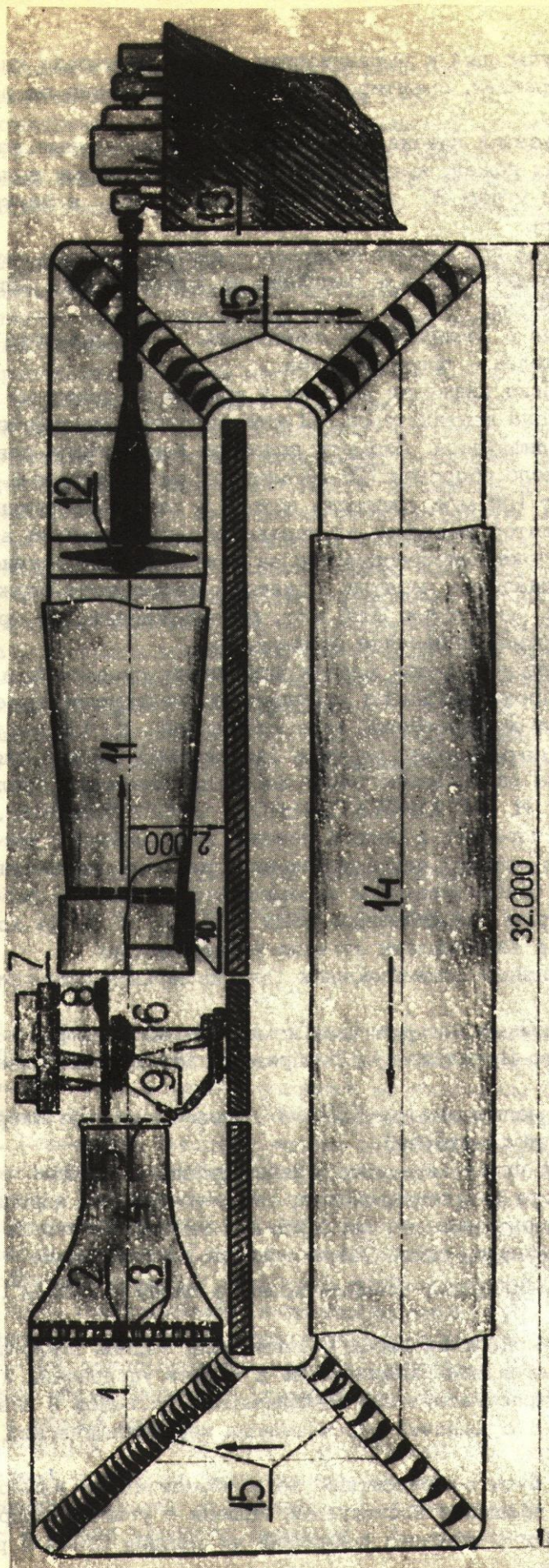


Рис. 19. Схема дозвуковой аэродинамической установки А-6

Для гашения пульсаций и выравнивания потока установка снабжена профилированной баранкой, смонтированной непосредственно за рабочей частью.

Гашению пульсаций потока способствуют установленные на срезе сопла 36 продольных ножей, имеющих параболическую форму в плане. Ножи расположены под углом 20° к оси трубы, заподлицо с внутренней поверхностью сопла.

Обратный канал или второй диффузор — прямоугольного сечения, расположен под рабочей частью и выполнен из железобетона. Длина канала составляет 24760 мм.

Четыре колена с поворотными лопатками. Угол поворота потока — 90° , сечение колен — прямоугольное.

Для поддержания движения воздуха и выхода на заданные скорости установка снабжена вентилятором. Шестилопастный вентилятор расположен в конце диффузора. Диаметр лопастей вентилятора равен 4400 мм, максимальное число оборотов 720 об/мин, окружная скорость конца лопасти составляет 166 м/с, скорость потока в плоскости вращения равна 54,9 м/с. Вентилятор выполнен из дерева, с металлической втулкой. Для выравнивания потока непосредственно за вентилятором установлены спрямляющие радиальные лопатки. Приводом вентилятора служит мотор постоянного тока мощностью 2060 кВт, расположенный вне трубы на специальном виброизолированном фундаменте.

Для предотвращения уноса модели или других предметов в сторону вентилятора у обреза диффузора установлена предохранительная сетка, выполненная из профилированной ленты толщиной $\delta = 3$ мм с ячейкой 200 x 200 мм. Спрямляющая решетка (хонейкомб) служит для выравнивания потока, она расположена перед входным сечением сопла.

ПРИБОРНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Для определения поля скоростей и скосов потока, распределения интенсивности турбулентности в рабочей части установка снабжена телескопическим координатником, обеспечивающим перемещение насадков в рабочей части трубы по всем трем координатным осям (X, Y, Z). На координатнике монтируются в зависимости от типа эксперимента:

а) шестиствольный пневмонасадок (для измерения скорости и скосов потока);

б) гребенка полных напоров (для измерения поля скоростей);

в) трубка Пито-Прандтля или Т-образный насадок (для измерения скорости);

г) датчик термоанемометра "Disa" (для измерения скорости и интенсивности турбулентности).

Для измерения сил и моментов, действующих на модель в потоке, установка снабжена 3-х диапазонными автоматическими аэродинамическими шестикомпонентными весами АВМ-2 с гибкой ленточной подвеской. Максимальные габариты исследуемой модели: размах крыла — 2500 мм, длина фюзеляжа — 3000 мм, площадь крыла в плане — 1.25 м^2 , диаметр фюзеляжа — 0.35 м^2 .

Тип подвески модели на весах — ленточный. Запись показаний производится цифропечатающим механизмом в кабине управления и параллельно — с помощью преобразователя механических сигналов в электрические — на машину СМ-3 с выдачей рассчитанных аэродинамических параметров.

Динамические 6-ти компонентные весы обеспечивают измерения шести компонентов при вращении исследуемой модели с угловой скоростью $0 \leq \omega \leq 200$ об/мин с выводом показаний на машину СМ-3 и расчетом

аэродинамических характеристик. Электронно-вычислительная машина СМ-3 находится в помещении установки А-6.

Динамометрическая установка предназначена для исследования колеблющихся тел в потоке. Колебания тела механизмом тележки относительно выбранной оси происходят в направлении, перпендикулярном к направлению потока. Амплитуда колебаний - 0,08 м, частота колебаний - от 1,5 до 8 Гц.

Подача сжатого воздуха ($P_{max} \leq 0,7$ МПа) для проведения различных исследований и, в частности, по управлению пограничным слоем осуществляется пневмотрассой от общей сети низкого давления через специальный ресивер.

Для определения скорости потока в трубе А-6 использован весовой способ. В форкамере установлен приемник давлений, который присоединяется через сильфонную связь к весовому элементу, измеряющему разность давлений в форкамере и атмосфере. Показания весового элемента фиксируются на ленте цифропечатающего механизма и параллельно через преобразователь идут на электронно-вычислительную машину СМ-3.

Имитация "земли" моделируется с помощью экрана. Носок экрана выполнен в виде полуэллипса с соотношением осей 1:2; профиль задней кромки экрана очерчен по параболе. Для определения аэродинамических характеристик весовым способом экран монтируется на раме 6-ти компонентных весов с помощью механизма, обеспечивающего перемещение экрана в вертикальной плоскости с дистанционным управлением. Моделирование "движущейся дороги" обеспечивается с помощью бесконечной ленты при помощи двух барабанов, один из которых связан с двигателем. Регулировка скорости и управление движением дистанционное.

ДОЗВУКОВАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА А-10А

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ. Дозвуковая аэродинамическая установка А-10А является аэродинамической трубой прямого действия с камерой Эйфеля. Поток в трубе создается вентилятором диаметром $D = 2$ м, приводимым во вращение электродвигателем мощностью $N = 240$ кВт. Изменение скорости потока в рабочей части производится за счет изменения числа оборотов вентилятора с помощью электромагнитной муфты. Максимальная скорость потока в трубе равна 55 м/с при работе с камерой Эйфеля и открытой рабочей частью и 70 м/с - при работе с закрытой рабочей частью. Начальная турбулентность потока в рабочей части без установки турбулизирующих устройств равна $\varepsilon_0 \sim 0,4\%$. Использование турбулизирующих устройств обеспечивает изменение интенсивности турбулентности в диапазоне $0,4 \leq \varepsilon_0 \leq 5\%$.

Труба А-10А приспособлена, главным образом, для проведения аэродинамических исследований на сравнительно малых моделях шириной до 0,05 м и длиной до 1 м.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ. Фотография и схема установки представлены на рис. 20, 21. Основными узлами установки являются: форкамера - 1, спрямляющая решетка (хонейкомб) - 2, сопло двойного поджатия - 3, съемные сетки - турбули-

заторы - 4, рабочая часть восьмигранного сечения - 5, камера Эйлера - 8, диффузор - 9, десятилопастный вентилятор - 10, электромагнитная муфта - 11, приводной двигатель переменного тока АМ 6136 - 6 мощностью $N = 240$ кВт.

Установка А-10А выполнена из дерева. Конструкция трубы такова, что она может работать по двум схемам: с открытой рабочей частью и камерой Эйлера и с закрытой рабочей частью.

Рабочая часть имеет форму восьмигранного сечения высотой $h = 800$ мм, длина ее равна $l = 1360$ мм. Сопло - восьмигранного сечения с двойным поджатием. Степень поджатия потока в сопле равна $n = 9$. Прямолинейный участок служит для выравнивания поля скоростей и скосов потока в рабочей части трубы.

Диффузор состоит из двух отсеков. Деревянные части трубы (сопло, диффузор, рабочая часть) имеют прочный каркас из ребер и фланцев, на котором укреплена внешняя силовая обшивка из 10-ти миллиметровой фанеры.

Камера Эйлера - цельнометаллической конструкции с герметически закрывающейся дверью. Размеры камеры Эйлера $3370 \times 3470 \times 4020$ мм.

Вентилятор десятилопастный с переменным углом установки лопастей, диаметром $D = 2$ м, укреплен на специальной металлической раме, изолированной от конструкции трубы.

Электродвигатель переменного тока мощностью $N = 240$ кВт с числом оборотов 1050/950 об/мин.

ПРИБОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. В рабочей части установки имеется микрокоординатник, обеспечивающий перемещение измерительного насадка по всем координатным осям (X, Y, Z). На координатнике находится насадок для измерения поля скоростей и скосов потока (шестиствольная трубка или трубка Пито-Прандтля), а также насадок термоанемометра "Disa".

Для измерения аэродинамических сил и моментов труба снабжена 3-х компонентными тензометрическими весами, установленными в камере Эйлера. Чувствительные тензоэлементы весов позволяют измерить 3 компоненты аэродинамической силы - силу лобового сопротивления X , подъемную силу Y и продольный момент M_z при различных углах скольжения β и атаки α модели.

Для исследования обтекания модели методом визуализации имеется кино-, фотоаппаратура.

При опытах по определению распределения давления используется автоматическая 12-ти канальная регистрирующая система, включающая в себя пьезооптический датчик давления, разработанный в ИМ МГУ, пневмокоммутатор и пишущую электроуправляемую машину ЭУМ-23А МЗПМ. Кроме того, на установке имеются батарейные микроанометры, бачковые микроанометры и различные пневмонасадки.

Для измерения интенсивности турбулентности установка снабжена термоанемометром "Disa".

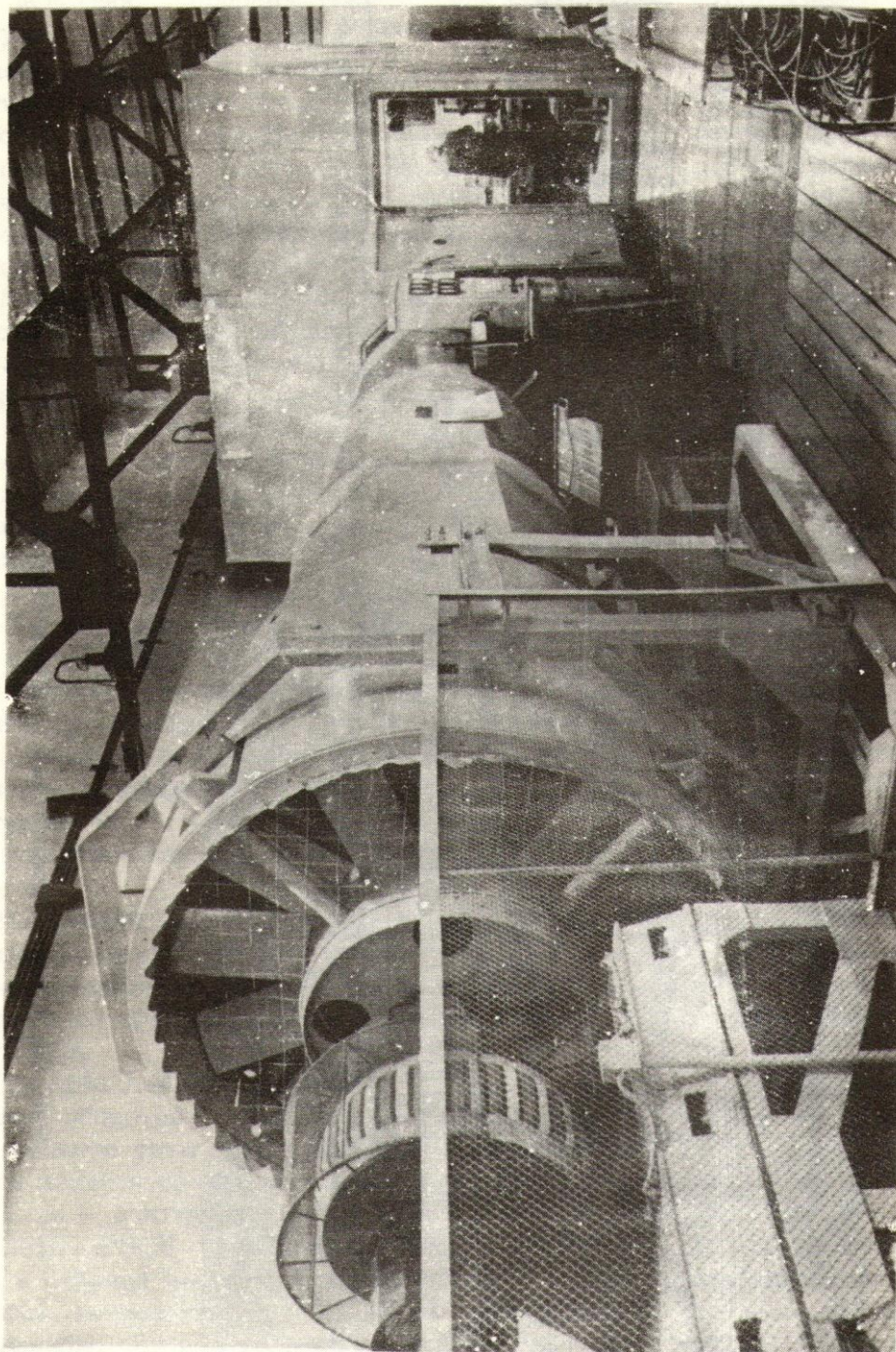


Рис. 20. Дозвуковая аэродинамическая установка А-10А

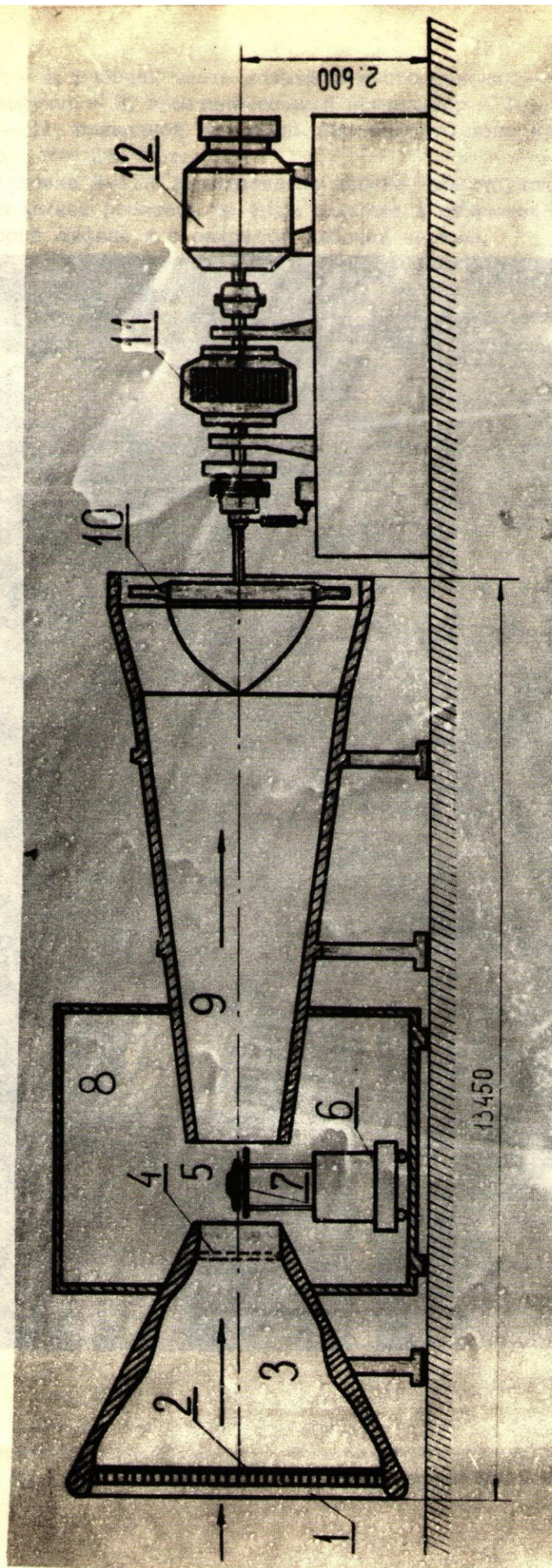


Рис. 21. Схема дозвуковой аэродинамической установки А-10А

МАЛЫЕ УЧЕБНЫЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Учебные аэродинамические установки А-1У, А-2У, А-3У, А-4У - это дозвуковые аэродинамические трубы малых скоростей прямого действия, предназначенные для проведения студенческого практикума. В 1967 г. труба А-4У была модернизирована. Для рабочей части были изготовлены два варианта сопел со степенями поджатия потока, равными $n_1 = 13,2$ и $n_2 = 26,4$, и набор детурбулизаторов в виде сеток-кассет, устанавливаемых в форкамере непосредственно перед входом в сопло. Установка предназначена для проведения студенческого практикума по определению сопротивления плоской пластины, параллельной потоку. Максимальная скорость потока $V = 25$ м/с, начальная интенсивность турбулентности в рабочей части $\varepsilon_0 = 0,8\%$.

Малая дозвуковая аэродинамическая установка А-3У - прямого действия с закрытой рабочей частью прямоугольного сечения размерами 300 x 400 мм и длиной $l = 500$ мм. Начальная интенсивность турбулентности $\varepsilon_0 = 0,8\%$. Установка предназначена для проведения студенческого практикума по определению влияния степени загроможденности рабочей части моделью на ее лобовое сопротивление.

Малая дозвуковая аэродинамическая установка А-4У - прямого действия с закрытой рабочей частью прямоугольного сечения размерами и длиной $l = 1217$ мм. Может быть собрана в двух вариантах:

А - поджатие потока в сопле - $n_1 = 13,2$;

Б - поджатие потока в сопле - $n_2 = 26,4$.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВОК. Фотографии и схемы установок представлены на рис. 22-25. Основными узлами являются: хонейкомб - 1, профилированное сопло - 2; рабочая часть - 3, диффузор - 4, вентилятор - 5, приводной двигатель - 6, обратный канал - 7, профилированные лопасти - 8, сменные сетки - детурбулизаторы - 9.

Аэродинамические трубы А-1У, А-2У, А-3У, А-4У выполнены из дерева.

Изменение скорости потока на всех установках обеспечивается изменением числа оборотов вентилятора. В трубе А-1У установлен вентилятор с максимальным числом оборотов $W_{max} = 1410$ об/мин, он приводится во вращение двигателем постоянного тока с мощностью $N = 21$ кВт.

В трубе А-4У установлен центробежный вентилятор с максимальным числом оборотов $W_{max} = 1150$ об/мин, вращаемый электродвигателем постоянного тока мощностью $N = 6$ кВт. Трубы А-2У и А-3У снабжены вентиляторами, изготовленными по специальным чертежам. Приводы их - двигатели постоянного тока мощностью $N = 2,6$ кВт.

ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Перемещение измерительных насадок в рабочей части трубы А-1У и А-2У осуществляется микрокоординатниками, позволяющими перемещать трубку полного давления как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, в рабочей части трубы. Вертикальные шкалы имеют нониус. Точность установки насадка - 0,1 мм. Установки снабжены пневмонасадками: шестиствольными, трубками Пито-Прандтля, игольчатыми насадками полного давления. Для измерения давлений на установках имеются батарейные 32-х точечные манометры и микроанемометры. Для измерения интенсивности турбулентности потока используются термоанемометры "Disa".

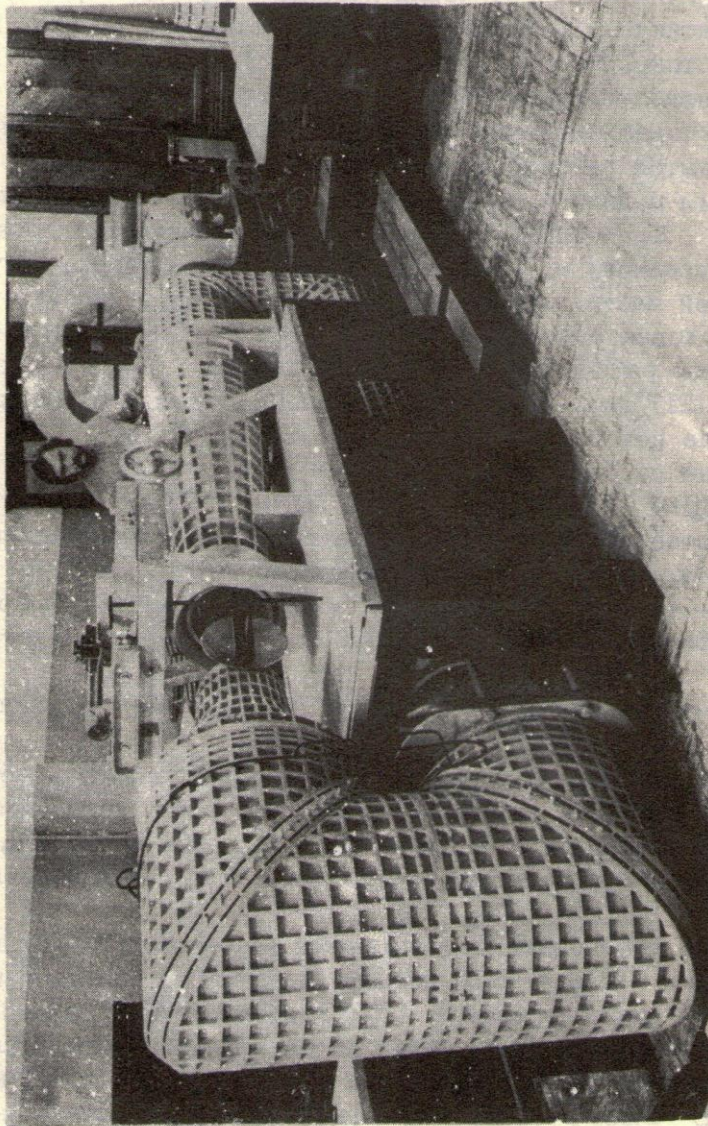


Рис. 22. Малая учебная аэродинамическая установка А-1У

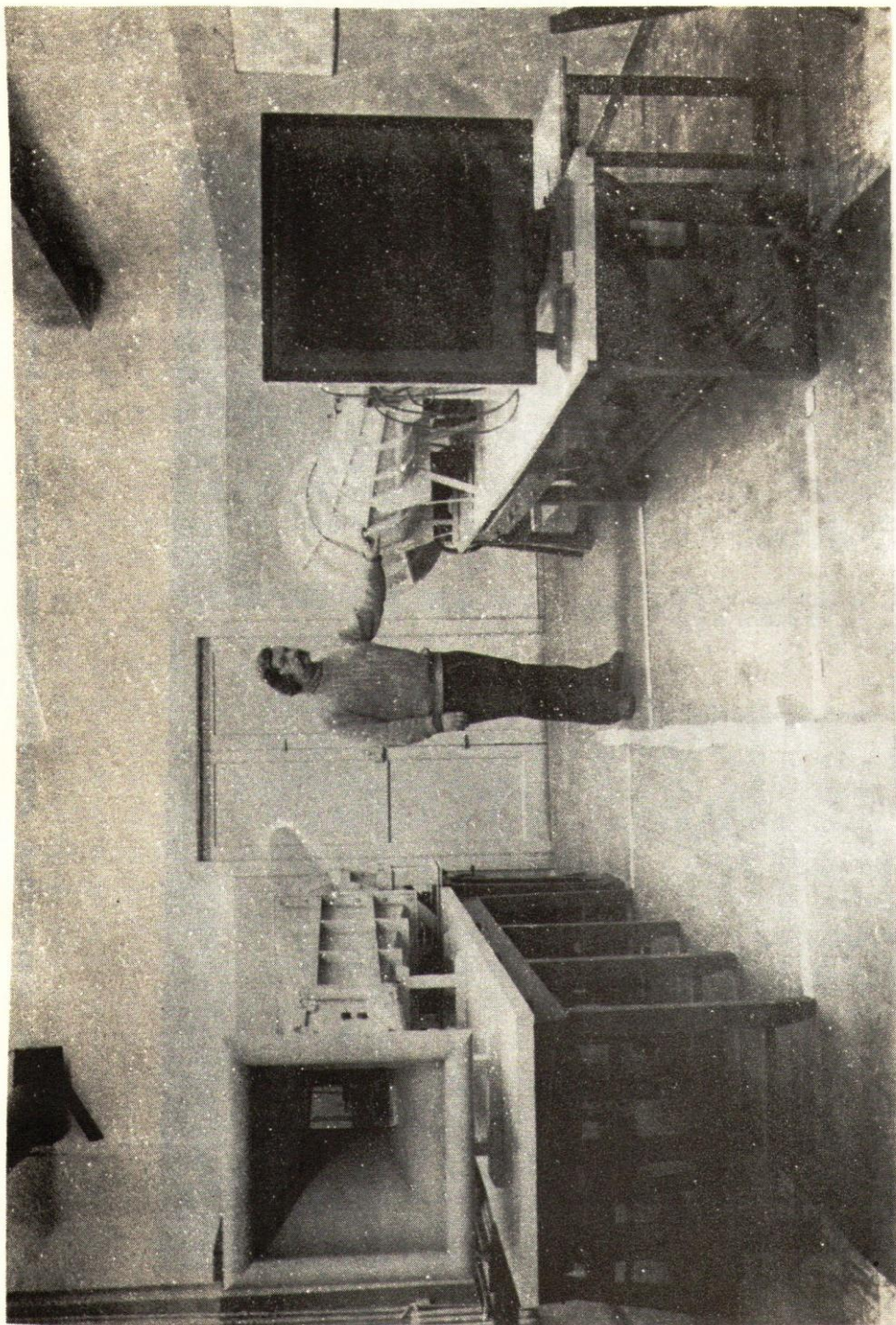


Рис. 23. Малые учебные аэродинамические установки А-2У и А-3У

Рис. 23. Модель летящего самолета в аэродинамической трубе

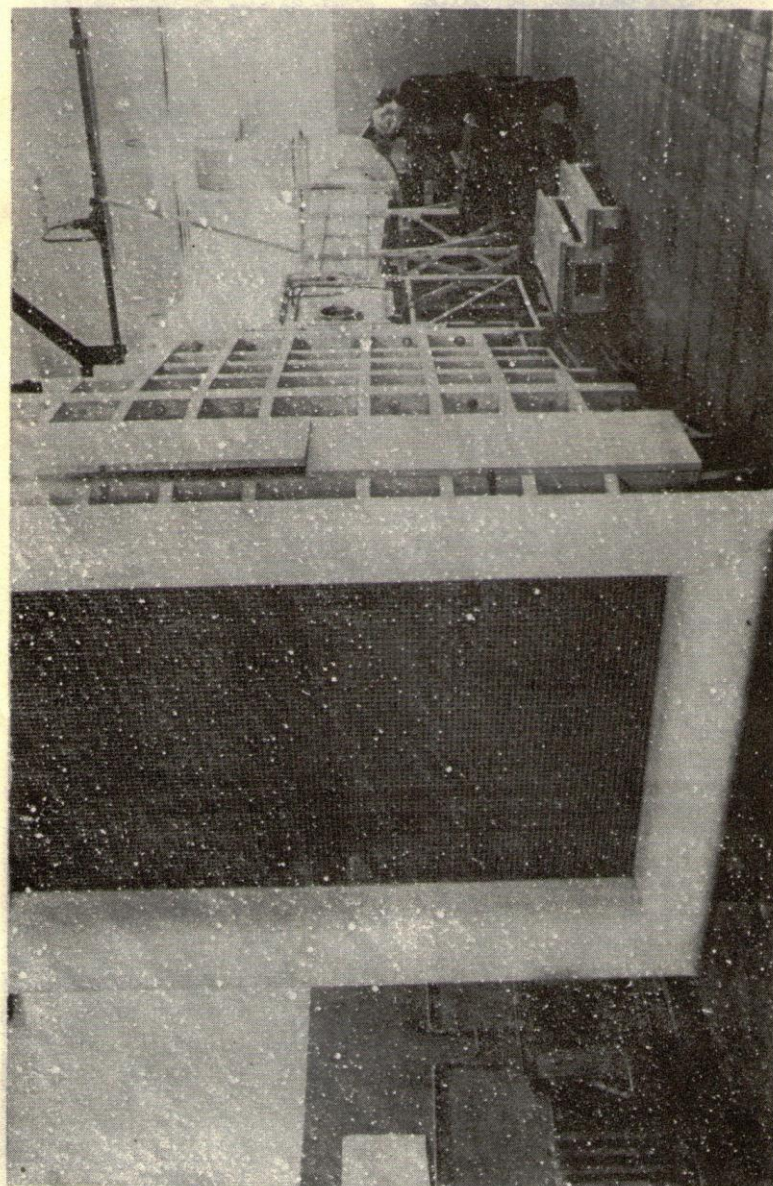


Рис. 24. Дозвуковая аэродинамическая установка А-4У

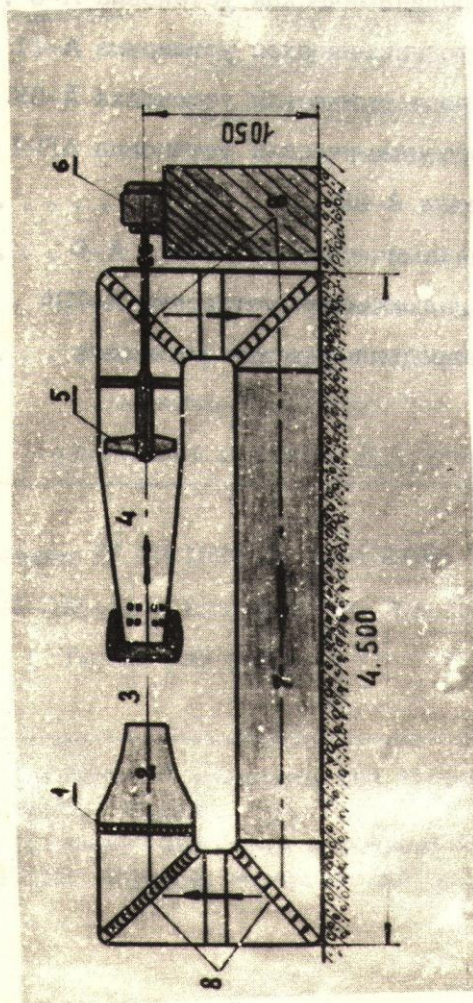
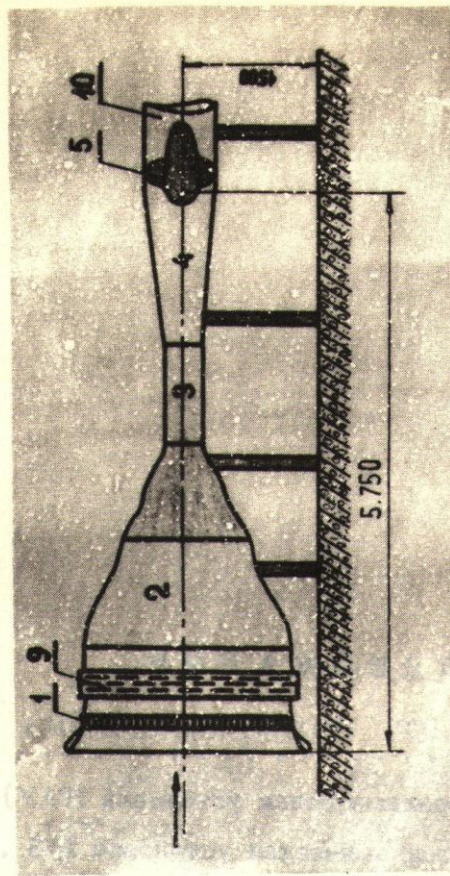


Рис. 25. Схемы малых учебных аэродинамических установок А-1У и А-4У

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Гиперзвуковая аэродинамическая установка (ГАУ) . . .	6
Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3	9
Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-7	12
Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-8	13
Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-11	16
Сверхзвуковая аэродинамическая установка А-3К	19
Сверхзвуковая аэродинамическая установка АР-1	22
Вакуумная установка А-3В	28
Дозвуковая аэродинамическая установка А-6	31
Дозвуковая аэродинамическая установка А-10А	35
Малые учебные аэродинамические установки	39

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Под редакцией Горимира Горимировича Черного,
Александра Ивановича Зубкова,
Юрия Александровича Панова

Редактор Г.В.Филиппова
Технический редактор И.В.Топорнина

Н/К

Подписано к печати 17.ХП.1985 г. Л-104550 Формат 70x108 1/16

Бумага тип. №3 Офсетная печать Усл. п.л. 3,85 Уч.-изд.л. 2,85

Заказ 3416

Тираж 300 экз.

Цена 20 коп.

Заказное

Ордена "Знак Почета" издательство Московского университета
103003, Москва, ул. Герцена, 5/7
Ротапринт Института механики МГУ
117192, Москва, Мичуринский пр., 1