

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытательные холодильные установки по назначению разделяют на три основные группы: климатические, где создают условия зимнего или полярного климата; высотные для имитации условий в высоких слоях земной атмосферы, характеризующихся пониженной температурой и давлением воздуха; производственные и научно-исследовательские, где исследуется влияние низких температур на процессы, явления и свойства веществ в различных отраслях науки и техники.

В общем случае в испытательной холодильной установке в замкнутом объеме холодильной камеры, куда помещается исследуемый объект, создают заданную низкую температуру часто в совокупности с другими условиями, необходимыми для испытаний. Иногда в установках третьей группы в целях испытания подвергают охлаждению объект, имитирующий тот или иной технологический аппарат, либо сам аппарат (льдогенератор, фризер, разделительную колонну и т. п.). В таких случаях охлаждаемая камера как таковая может отсутствовать.

Кроме холодильной камеры испытательная установка включает: холодильные машины и другое оборудование (вентиляторы, подогреватели и т. п.), которые служат для создания и поддержания в камере необходимого температурного режима; системы и приборы контроля, замера, управления, защиты, блокировки и автоматизации системы, обеспечивающие деятельность объекта и дополнительные воздействия на него (сюда могут относиться системы питания электроэнергией, топливом, газом, силовыми нагрузками, вибраторы, акустические устройства и т. п.).

Испытательные холодильные установки могут быть либо серийными, либо установками индивидуального исполнения. Первые наиболее универсальны и характеризуются высокой степенью заводской готовности. Серийные испытательные холодильные установки охватывают область малых и средних размеров.

В СССР в настоящее время серийно выпускается лишь термокамера ТКСИ 02-80, подробно описанная в справочнике «Холодильные машины» данной серии. Потребности в испытательных камерах в нашей стране по-

крываются главным образом за счет оборудования, производимого в ГДР в рамках кооперации СЭВ. Технические данные наиболее распространенного испытательного оборудования производства ГДР, изготовляемого серийно, приведены в табл. VII—1. В этом оборудовании одним из основных параметров является заданная низкая температура. Часто одновременно с обеспечением минусовых температур камеры оснащают оборудованием для получения плюсовых температур, вакуума, переменной влажности и др.

Объем полезного пространства испытательных камер охватывает диапазон от долей литра до сотен кубических метров. Малые камеры объемом до 50 л часто называют термостатами. Как правило, в термостатах предусмотрено только изменение температуры, причем отрицательные температуры получают в целях упрощения эксплуатации с помощью малоэкономичных способов (вихревая труба, термоэлектрическое охлаждающее устройство, сухой лед, жидкий азот). В камерах объемом более 50 л отрицательные температуры получают, как правило, с помощью парокомпрессионных фреоновых холодильных машин.

Крупные камеры, сооружаемые, как правило, по индивидуальным проектам, представляют собой металлическую, деревянную или строительную конструкцию из кирпича, шлакобетона и т. п. с внутренней тепловой изоляцией. Для камер, температура в которых -40°C и ниже, толщина изоляционного слоя составляет от 200 до 300 мм (при высоком качестве изоляционного материала). Холодильная машина и щиты с приборами управления, наблюдения и контроля устанавливаются в непосредственной близости к камере.

В тех случаях, когда этого требует режим эксперимента, при входе в камеру оборудуют входной тамбур, который служит тепловым шлюзом. В такой форкамере можно поддерживать промежуточную пониженную температуру.

В зависимости от габаритов испытуемых объектов камеры имеют теплоизолированные люки, двери или ворота с ручным или приводным механизмом заперания и качественными резиновыми уплотнениями по периметру.

Визуальное наблюдение за протеканием эксперимента производится через смотровые

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

окна с многослойным остеклением, расположенные на двери или стенах камеры. Для защиты от обмерзания в пространство между стеклами закладывают поглотитель влаги, продувают его теплым воздухом или осуществляют электрический обогрев. Для силовых кабелей и проводки контрольно-измерительных приборов, приводных валов, трубопроводов сжатого воздуха и газов и пр. в ограждениях камеры предусматривают необходимое количество вводов.

В отличие от промышленных холодильных установок, работающих в стационарном режиме, большинство испытательных установок характеризуется режимом, переменным по температуре и тепловым нагрузкам (исключением являются установки, предназначенные для стандартных испытаний на некоторых заводах, где ограничиваются проверкой изделий при одной предельной низкой температуре). При тепловом расчете и выборе холодопроизводительности холодильных машин в рассматриваемой области следует учитывать нестационарность режима понижения температур, а также возможные отклонения режима при экспериментах от расчетного номинального. Это приводит к необходимости иметь запас холодопроизводительности и применять более мощные холодильные машины.

Испытательные холодильные установки, за исключением самых крупных, располагаются в производственных или лабораторных корпусах, где особое внимание уделяют требованиям безопасности. Поэтому применение машин, работающих на аммиаке, здесь недопустимо.

Кроме отдельных специальных установок, которые будут рассмотрены ниже, потребность в холоде большинства испытательных установок незначительна и редко превышает 100 кВт. Наиболее эффективно применение пароконденсационных машин одно- и двухступенчатого сжатия, работающих на R22, используют также машины, работающие на R22 и R13 в каскадном цикле. В испытательных установках в области температур -60°C и ниже могут применяться также воздушные турбохолодильные машины типа ТХМ.

В рассматриваемой области в подавляющем большинстве случаев применяют систему непосредственного охлаждения с батареями, расположенными в холодильной камере, или с выносными воздухоохладителями. Эта система характеризуется меньшей тепловой инерцией и позволяет лучше решать задачу создания переменного температурного режима в камере. Используемые в крупных камерах холодильные машины располагают в непосредственной близости от них, в самых крупных экспериментальных установках холодильное оборудование размещают в отдельном машинном зале.

Окружающая среда различным образом влияет на свойства, характеристики и работоспособность объектов, находящихся постоянно или периодически на открытом воздухе вне помещений.

Для проверки в рабочих условиях эти объекты подвергают климатическим испытаниям, при которых искусственно создают специфические условия окружающей среды, такие, как полярный климат, сухие и влажные тропики, влажный морской климат. Расчетные условия для различных климатических зон и времен года нормируются стандартами. Обычно наиболее универсальные климатические испытательные установки оснащают системами и устройствами для создания в широких диапазонах необходимых температур (низких и высоких), давлений, влажности и др. В данной главе рассматриваются лишь элементы, связанные с созданием низких температур.

В большинстве случаев при экспериментах поддерживают постоянный равномерный температурный режим со ступенчатым или плавным переходом от одного уровня к другому. В отдельных случаях требуется создавать динамический режим с понижением или повышением температуры в камере с заданной скоростью, например имитация явления быстрых заморозков. Такие условия предъявляют к установкам специфические требования.

Климатическим испытаниям подвергают целые объекты и элементы автомобильного и железнодорожного транспорта, дорожные машины, элементы линий электропередач, строительные материалы, детали и конструкции и т. п. Сюда относится также большая группа испытаний — исследования влияния пониженных температур на жизнедеятельность и развитие растительных и животных организмов.

Лаборатория испытания автомобилей. Размеры испытательных камер для легковых автомобилей составляют $8 \times 4 \times 3$ м, для грузовых и специальных машин — до $15 \times 6 \times 4$ м. При испытании автомобиль с работающим двигателем и включенной передачей скоростей устанавливают на тормозных барабанах, смонтированных в полу камеры (рис. VII—1). Тормозное устройство, поглощающее мощность, вынесено с помощью приводного вала из камеры. Выхлопные газы от двигателя по закрытому тракту отводятся наружу. Для имитации движения автомобиля его носовую часть обдувают воздухом с регулируемой скоростью, равной скорости движения. Это требует создания значительной циркуляции воздуха в камере. Свежий воздух, необходимый для сжигания топлива в двигателе, охлаждается до необходимой температуры в две, а иногда и в три последовательные ступени в специальных воз-

Название	Марка	Рабочие температуры, °C		Вместимость камеры, дм ³	Габаритные размеры камеры, мм
		Диапазон	Точность		
Термостат	T105	-25 ÷ +60	±0,5	5	175×175×175
	T105W	-25 ÷ +60	±0,5	5	175×175×175
Термокамера	T12,5/1.1	-30 ÷ +100	—	160	496×542×590
	T12,5/01.1	-30 ÷ 0	—	160	496×542×590
	T25/1.1	-30 ÷ +100	—	250	496×542×940
	T25/01.1	-30 ÷ 0	—	250	496×542×940
	TV1000	-70 ÷ +120	±(0,5÷1,0)	1000	1050×965×1000
Климакамера или термокамера с регулированием влажности	KPW-1/4 KPW-1/4M	+15 ÷ +70	±1,5	125	550×400×540
		-5 ÷ 70	±1,5	125	550×400×540
	KPW-2 KPW-2M	+15 ÷ +70	±1,5	250	750×450×750
		-5 ÷ +70	±1,5	250	750×450×750
	3001	-25 ÷ +90	±0,2	250	630×550×700
	3031	-25 ÷ +90	±0,2	250	630×550×700
	3002	-5 ÷ +90	±0,2	250	630×550×700
	3003	-10 ÷ +90	±0,3÷±1,2	250	630×600×665
	3005	-30 ÷ +90	±0,3÷±1,2	250	630×600×665
	3006	-40 ÷ +90	±0,3÷±1,2	250	630×600×665
	3007	-50 ÷ +90	±0,3÷±1,2	250	630×600×665
	3101	-70 ÷ +90	±0,2÷±0,5	630	850×880×900
	KTK800	-70 ÷ +90	±0,1÷±0,5	860	1050×845×970
	KTK3000	-30 ÷ +100	±0,2÷±1,0	3000	1200×1500×1650
	Термобарокамера	TBV1000	-70 ÷ +120	±1	1000
TBV2000		-70 ÷ +120	±1	2000	1275×1350×1145
TBV8000		-70 ÷ +100	±1	8000	2200×2500×1600
STBV1000		-70 ÷ +300	±0,5÷±2	1000	1000×1160×840
Климатермобарокамера	KTBV8000	-70 ÷ +300	—	8000	2050×230×1870
Климатермосветокамера	KTLK1250	-20 ÷ +60*	±0,2÷±1,0	1200	910×1170×1130
		-5 ÷ +60	—	—	—
	KTLK1600	-15 ÷ +60*	±0,2÷±1,0	1600	910×1170×1550
		-0 ÷ +60	±0,2÷±1,0		

Габаритные размеры оборудования, мм	Масса, кг	Охлаждение	Холодильный агент	Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, потребляемая электродвигателем, кВт	Охлаждение конденсатора	Расход охлаждающей воды, л/ч	Относительная влажность, %	
									Диапазон	Точность
690×400×390	62 68	Термо-электрическое	{— —	220	50	0,6	Водяное	5—50	—	—
780×400×390				220	50	0,6	»	5—50		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1670×1880×1970	1250	Холодильная машина	R13, R22	380/220	50	9	Водяное	800	—	—
900×600×870	130	Водяное	—	220	50	1,2	—	—	20—98	±1,5
900×600×1620	240	Холодильная машина	R12	220	50	1,6	Воздушное	—	20—98	±1,5
1100×680×1700	220	Водяное	—	220	50	1,8	—	—	20—98	±1,5
1100×680×1700	280	Холодильная машина	R12	220	50	2,2	Воздушное	—	20—98	±1,5
1400×1620×1970	670	То же	R12	380	50	6	Водяное	200	10—100	±0,5
1400×1620×1970	670	»	R12	380	50	6	»	200	—	—
1400×1120×1970	600	»	R12	380	50	4,7	Воздушное	—	10—100	±0,5
1400×970×1850	670	»	R12	380	50	4	Водяное	300	10—95	±0,5÷0,7
1400×970×1850	670	»	R22	380	50	4,8	»	300	10—95	±0,5÷0,7
1400×970×1850	670	»	R13B1	380	50	4,8	»	300	10—95	±0,5÷0,7
1400×970×1850	670	»	R13B1	380	50	5,5	»	300	10—95	±0,5÷0,7
1850×1450×2100	1450	»	R13B1, R22	380	50	15	»	500	10—98	±0,5
1880×1670×1970	1380	»	R13, R22	380	50	12	»	780	10—95	—
2100×2300×2150	2400	»	R22	380	50	19	»	600	10—95	—
1830×1430×1970	1810	»	R13, R22	380	50	10	»	800	—	—
2080×1800×2150	2250	»	R13, R22	380	50	11	»	800	—	—
9530×6000×3720	15800	»	R22	380	50	100	»	4800	—	—
2150×2000×2400	2700	»	R13, R22	380	50	24	»	800	—	—
10000×6200×3720	18000	»	R22	380	50	180	»	—	10—95	—
1430×1830×2430	1450	»	R22	380/220	50	16	»	1000	10—95	—
1430×1830×2870	1530	»	R22	380/220	50	20	»	1000	10—95	—

Название	Марка	Рабочие температуры, °С		Вместимость камеры, дм ³	Габаритные размеры камеры, мм
		Диапазон	Точность		
	KTLK20000	-10 ÷ +40* 0 ÷ +40	±0,5 ÷ ±1,0 ±0,5 ÷ ±1,0	18200	4250×2050×2075
Специальный морозильный шкаф	SGS300/1000	До -25	—	920	1200×945×810
		До -70	—	270	870×465×670

Примечания: 1. Термостат T105W имеет программное управление температурой. 2. Климакмеры 3001— все и инфракрасное облучение. 3. Термокамера 3101 имеет 6 вариантов, различающихся составом задающих и за (до 1,5 мм. рт. ст.) давления. 5. В термокамерах допускаются при -70°С тепловыделения: 250 Вт (TBV1000— имеют освещенность до 50000 лк; знаком * отмечены диапазоны температур при работе климатермосветокамер

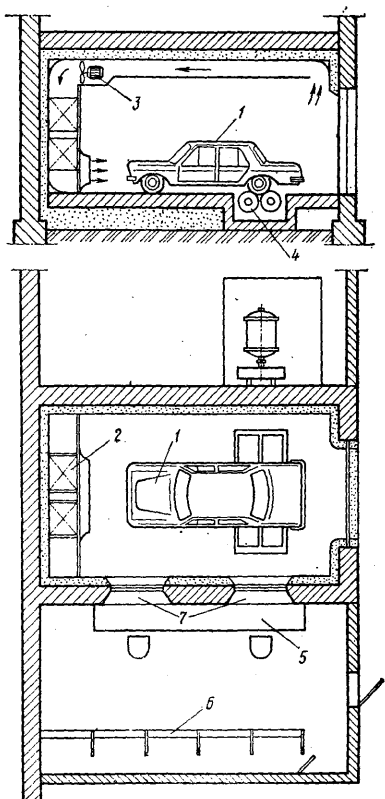


Рис. VII—1. Камера для испытания автомобилей:

1 — испытуемый автомобиль; 2 — воздухоохладители; 3 — вентилятор; 4 — тормозное устройство; 5 — пульт управления; 6 — приборные щиты; 7 — смотровые окна

духоохладителях и по теплоизолированному воздухопроводу подается в камеру. Иногда здесь применяют разомкнутую схему с воздушным детандером. В камере выделяется и должна быть отведена приборами охлаждения теплота, излучаемая двигателем, теплота, которая снимается с автомобильного радиатора, и теплота трения движущихся частей, что в сумме составляет 30—40% общего количества теплоты, выделяемой при сгорании топлива. Теплота, соответствующая полезной мощности, и теплота выхлопных газов отводятся непосредственно наружу и в тепловом балансе камеры не участвуют.

Экспериментальная камера охлаждается с помощью мощных воздухоохладителей, располагаемых внутри у торцевой стены или на перекрытии камеры. Наблюдение за экспериментом и управление всеми агрегатами испытуемого автомобиля осуществляют из кабины наблюдения, располагаемой снаружи (обычно вдоль одной из продольных стен камеры). Здесь размещают пульты управления и приборные щиты; для визуального наблюдения за экспериментом предусмотрены смотровые окна.

Кроме больших камер для испытания всего автомобиля в целом в лаборатории обычно используют небольшие камеры (боксы) разме-

Габаритные размеры оборудования, мм	Масса, кг	Охлаждение	Холодильный агент	Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, потребляемая электродвигателем, кВт	Охлаждение конденсатора	Расход охлаждающей воды, л/ч	Относительная влажность, %	
									Диапазон	Точность
5120×3020×3000	6500	Холодильная машина	R12	380/220	50	52	Водяное	3000	30—93	—
1880×1650×1970	1700	»	R13, R22	380/220	50	9	»	800	—	—
1880×1650×1970	1700	»	R13, R22	380/220	50	9	»	800	—	—

3007 имеют программное управление температурой и влажностью, а также возможность производить ультрафиолетовых устройств. 4. Термобарокамеры ТВV1000—ТВV8000 имеют оборудование для создания пониженного ТВV2000); 1500 Вт (ТВV8000); 700 Вт (СТBV1000); 1250 Вт (КТBV8000), 750 Вт (ТВ1000). 6. Климатермосветокамеры без освещения. 7. Шкаф SGS300/1000 имеет два отделения: одно для замораживания, другое для хранения.

ром до 5×3×3 м для испытаний автомобильных двигателей. Двигатель устанавливают на специальный стенд, оборудованный устройством для замера крутящего момента. Тормозное устройство (гидро- или электроиндукторный тормоз) размещают снаружи камеры.

При большой мощности современных автомобильных двигателей общая производительность холодильных машин подобной лаборатории достигает нескольких сот киловатт при температурном уровне кипения холодильного агента —50÷—70°C.

Испытательные камеры выполняют кирпичными или бетонными с внутренней теплоизоляцией. Для предотвращения пожара внутри камеры из-за прорыва топлива тепловую изоляцию выполняют из негорючих материалов.

Лаборатории для исследования тракторов, дорожных и других подобных им транспортных машин оборудуются так же, как и автомобильные лаборатории. Они различаются количеством и размерами камер и некоторыми особенностями в организации экспериментов.

Лаборатории испытаний железнодорожного транспорта. Для исследования тепловых свойств подвижного состава — пассажирских, товарных и специальных вагонов и цистерн — используют крупные камеры размером 24×6 м при высоте 6 м. В них обычно совмещают теплый и холодный режимы в полном интервале температур от +60 до —60°C. Для имитации условий эксплуатации в камере создают циркуляцию воздуха со скоростью, равной возможной скорости движения железнодорожно-

го состава. Такое требование связано с необходимостью устанавливать мощные вентиляторы, что в свою очередь приводит к повышению холодопроизводительности используемых холодильных машин.

Испытательная камера представляет собой кирпичную или железобетонную конструкцию с внутренней изоляцией толщиной до 250 мм и тяжелыми въездными воротами и рельсами. Охлаждение камеры воздушное. Применение выносного воздухоохладителя облегчает возможность создания в одной камере как теплового, так и холодного режима.

Лаборатории испытания строительных материалов. Климатическим испытаниям подвергают различные строительные материалы, детали и целые строительные конструкции. При этом исследуют различные их свойства (теплопроводность, гигроскопичность, прочность и др.) в зависимости от температуры. При испытании стеновых материалов на морозостойкость их подвергают многократному смачиванию с последующим замораживанием.

В зависимости от размеров испытуемых объектов здесь можно встретить как термоскафы (для исследования небольших образцов), так и большие камеры (для исследования крупногабаритных строительных элементов — стеновых панелей, плит, перекрытий и т. п.).

Для охлаждения здесь часто применяют пристенные и потолочные батареи, обеспечивающие равномерный и устойчивый тепловой режим в камере.

Лаборатории исследования грунтов и ла-

боратории почвоведения. Такие лаборатории в зависимости от объема тематики, в которую может входить и исследование явлений вечной мерзлоты, имеют одну или несколько холодильных камер, аналогичных камерам, применяемым в лабораториях исследования строительных материалов. Образцы грунтов помещают в холодильную камеру в ящиках. При исследованиях теплопроводности грунта и явлений, связанных с его промерзанием или оттаиванием, ящик с грунтом монтируют в ограждении камеры или создают в камере зоны различных температур.

Лаборатории ботаники. В таких лабораториях исследуют влияние температуры и других параметров окружающей среды на развитие и жизнедеятельность растений. Важной областью является при этом изучение морозостойкости растений и семян при внезапных или продолжительных заморозках.

В таких лабораториях обычно оборудуют до 10 (а иногда и более) камер площадью 3—6 м² каждая, в которые на определенный срок помещают высаженные в ящики с грунтом растения. Основное требование к режиму в камерах — длительное поддержание заданного температурного и влажностного режимов с минимальными колебаниями параметров. В камерах предусматривают также специальное освещение, имитирующее солнечное облучение. В отдельных камерах можно устанавливать различные режимы в широких пределах температур. Выполнение таких требований связано с необходимостью применения автоматизации для поддержания режима в камерах.

Если холодильная установка централизованная, то применяют систему с хладоносителем с использованием местных электроподогревателей для точного регулирования температуры. В настоящее время чаще устанавливают в каждой камере отдельную небольшую автоматическую холодильную машину, работающую на батарее непосредственного охлаждения. При этом работа каждой отдельной камеры не зависит от работы остальных и проще настройка системы автоматизации при изменении режима, но требуется большее число машинных агрегатов. Для смены воздуха камеры оборудуют системой приточно-вытяжной вентиляции.

Для исследования влияния переменных температур на живые организмы (насекомые, микроорганизмы и др.) применяют камеры или термощафы небольшого размера.

ВЫСОТНЫЕ УСТАНОВКИ

По мере поднятия над земной поверхностью температура и давление воздуха изменяются в сторону их понижения. В авиационной техни-

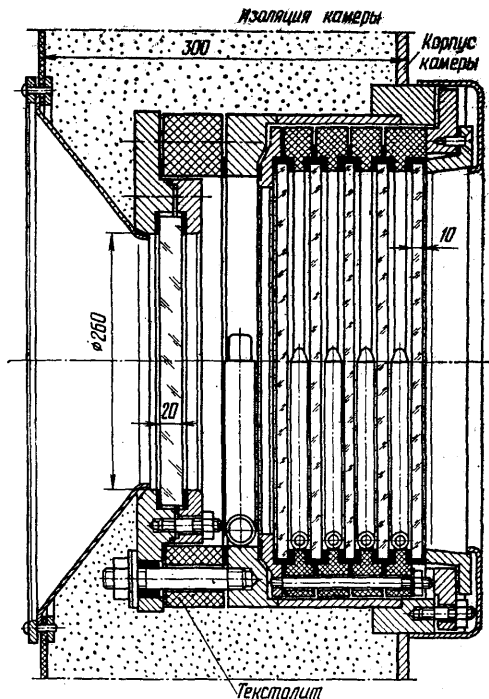


Рис. VII—2. Смотровое окно

ке это изменение нормируется по так называемой шкале международной стандартной атмосферы (МСА), согласно которой на уровне моря (при высоте 0 км) температура составляет 15°С, а давление — 1,01 кПа (760 мм рт. ст.). С поднятием над земной поверхностью температура сначала понижается с градиентом 6,5°С на 1 км и на высоте 11 км достигает значения — 56,5°С. В нижней части стратосферы (до высоты 25 км) температуру считают неизменной и равной — 56,5°С.

Выше располагаются зоны повышенных и пониженных температур. По действующим техническим условиям предельную температуру при экспериментах принимают равной — 60°С. Давление атмосферы с высотой непрерывно плавно понижается. Значения его по МСА приведены ниже.

Высота, км	5	10
Давление по МСА, кПа (мм рт. ст.)	0,536(405)	0,264(198)

Высота, км	20	40
Давление по МСА, кПа (мм рт. ст.)	0,054(41)	0,003(2,24)

Перемещаясь в атмосфере, летательный аппарат сжимает воздух; при этом давление и температура «заторможенного воздушного потока» возрастают. Это явление, относительно не существенное при малых скоростях полета, приобретает большое значение при полетах современных самолетов на звуковых и сверхзвуковых скоростях. В настоящее время в условиях непрерывного возрастания скоростей полета высотные испытания в статических условиях шкалы МСА заменяют испытаниями с обдувом объекта воздухом повышенных температуры и давления, соответствующей полету с заданной скоростью на определенной высоте. Однако для решения ряда вопросов проводят испытания в камерах с охлаждением.

В ряде случаев необходимо имитировать не статические условия полета на определенной, постоянной высоте, а такие процессы, как взлет, посадка, пикирование с изменением высоты полета по заданной программе. Используемые в этих целях высотные установки характеризуются значительной сложностью и высокой стоимостью изготовления и эксплуатации.

Иногда влияние одного из параметров (температура или давление) в ходе эксперимента является решающим. В этом случае ограничиваются неполным высотным испытанием. При исследовании влияния только температуры используют термокамеру (подобную рассмотренным выше холодильным климатическим камерам), рассчитанную на предельную температуру — 60°C; при исследовании влия-

ния давления воздуха (например, при тренировке летного персонала) применяют барокамеру. Полное высотное испытание с одноваренным изменением температуры и давления проводят в термобарокамере. Эти испытания обеспечивают наибольшее приближение к действительным условиям полета и, следовательно, наибольшую надежность получаемых результатов. Установка в этом случае получается более дорогой и сложной.

Термобарокамера представляет собой цилиндрический горизонтальный (реже вертикальный) резервуар со сферическими днищами. В прямоугольной камере лучше используется внутренний объем, но из-за соображений прочности такая форма почти не используется. Двери в камерах герметичные, с надежным уплотнением по периметру, в больших камерах тяжелые, сложной конструкции, с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом для открывания, закрывания и предварительного прижима. Применяют двери подвесные, на петлях, откатные и подъемные. Для наблюдения за экспериментом устраивают смотровые окна (рис. VII—2) с многослойным остеклением. Одно из стекол силовое, рассчитанное на разность давлений снаружи и внутри камеры. Диаметр смотровых окон редко превышает 250—300 мм. Для проводки проводов и трубопроводов внутрь камеры устраивают герметичные теплоизолированные вводы.

В термобарокамерах применяют изоляционные материалы повышенного качества с учетом режима работы камер, где возможны вибра-

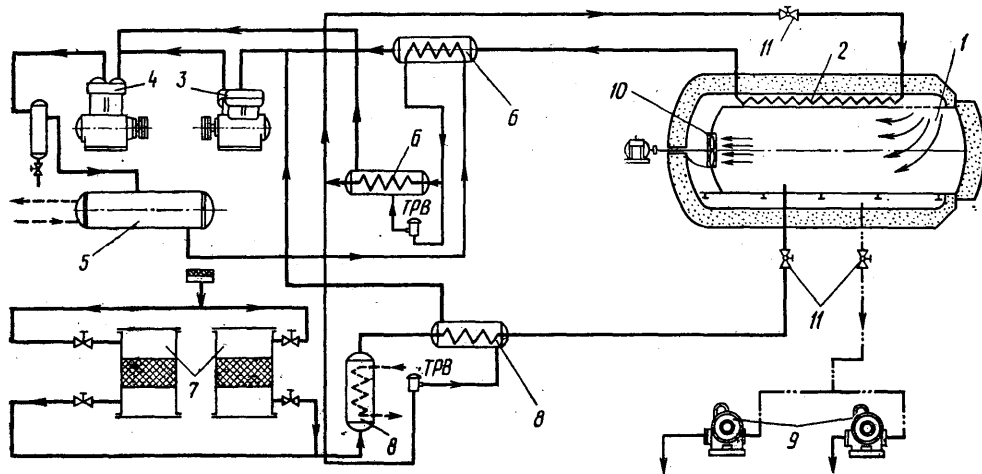


Рис. VII—3. Принципиальная схема высотной установки с двухступенчатой фреоновой холодильной машиной:

1 — термобарокамера; 2 — охлаждающая батарея; 3 — компрессор I ступени; 4 — компрессор II ступени; 5 — конденсатор; 6 — фреоновые теплообменники; 7 — осушительная установка; 8 — охладители вентиляционного воздуха; 9 — вакуум-насосы; 10 — циркуляционный вентилятор; 11 — регулирующие вентили

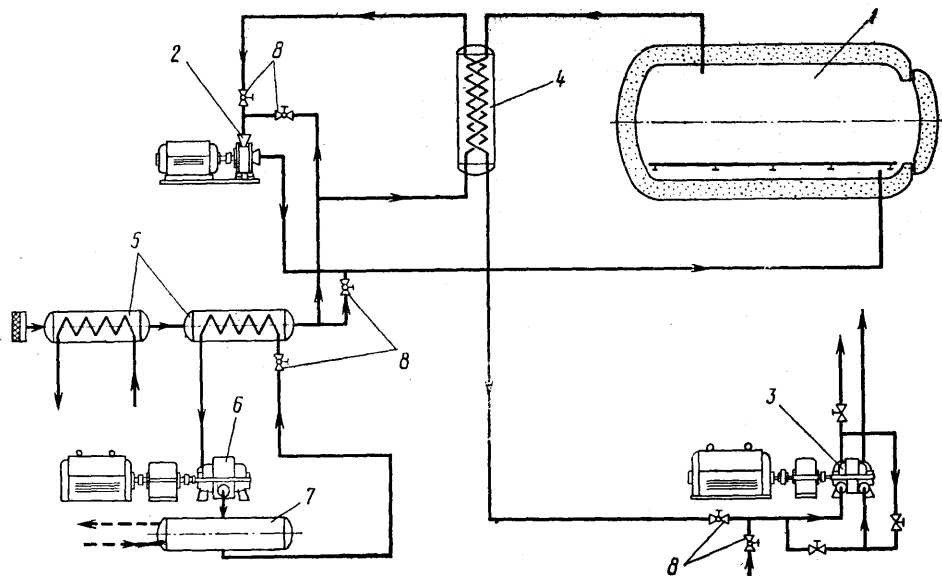


Рис. VII—4. Принципиальная схема высотной установки с детандерной холодильной машиной, работающей по разомкнутому циклу:

1 — термобарокамера; 2 — турбодетандер; 3 — эксгаустер; 4 — воздушный теплообменник; 5 — осушительная установка; 6 — компрессор холодильной установки; 7 — конденсатор; 8 — регулирующие вентили

ции, газовыделения, периодическое повышение температуры и др. Толщина слоя изоляции достигает 250—300 мм. Изоляция может быть расположена внутри или снаружи камеры, что определяется конкретными условиями эксплуатации. Внутренняя изоляция подвержена воздействию среды, создаваемой в камере при эксперименте. При внутренней изоляции диаметр корпуса камеры увеличивается на 500—600 мм, что приводит к существенному возрастанию ее массы. При наружной изоляции повышается тепловая инерция камеры, что недопустимо при динамическом характере экспериментов. В СССР и за рубежом чаще применяют внутреннюю изоляцию термобарокамер.

В небольших и средних высотных установках, рассчитанных на предельную температуру —60°C, применяют компрессионные двухступенчатые холодильные машины, работающие на R22 (рис. VII—3). В более крупных установках используют также воздушные детандерные холодильные машины.

В случае, когда в процессе испытания необходима постоянная подача свежего воздуха к объекту (например, к авиационному двигателю), целесообразно применять воздушную машину, работающую по разомкнутому циклу (рис. VII—4). Предварительно осушенный на-

ружный воздух пропускают для охлаждения через детандер и подают в камеру. Огретый воздух и выхлопные газы отсасывают вакуум-насосами или эксгаустерами. Такая разомкнутая схема позволяет быстро изменять температуру воздуха, поступающего на объект, что не обеспечивается при использовании других систем охлаждения, обладающих тепловой инерцией.

С понижением давления коэффициент теплоотдачи от охлаждающих поверхностей к разреженному воздуху резко падает, что усложняет отвод теплоты в термобарокамере. Охлаждающие батареи выполняют ребристыми с максимально развитой поверхностью и интенсивным обдувом вентиляторами. Первоначальное охлаждение (замораживание) термобарокамеры проводят обычно при атмосферном давлении, а затем уже изменяют его по заданной программе.

Для регулирования и повышения температуры (при имитации снижения высоты) применяют электрический нагрев, удобный в эксплуатации и позволяющий наиболее эффективно осуществлять как плавное, так и ступенчатое регулирование и автоматизацию.

Устанавливаемое вакуумное оборудование по типу и производительности должно стабильно поддерживать в всех режимах необходи-

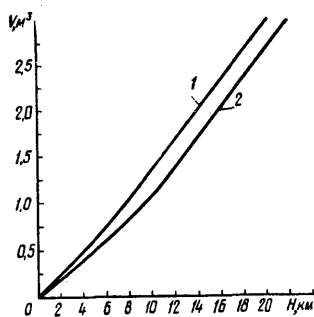


Рис. VII—5. Отсасываемые объемы воздуха при подъеме от земли до высоты H , отнесенные к 1 м^3 объема камеры:

1 — кривая при постоянной температуре воздуха; 2 — кривая при изменении температуры воздуха по МСА

ное разрежение воздуха путем непрерывного отсасывания воздуха, проникающего в камеру через неплотности, а также откачивать подаваемый в камеру вентиляционный или рабочий воздух и образующиеся в камере газы-деления с сохранением необходимой высоты.

Время τ (в с) снижения давления от начального p_0 до конечного p_k в камере объемом V_k (в м^3) при производительности вакуум-насосов V_n (в $\text{м}^3/\text{с}$) при постоянной температуре и отсутствии поступления воздуха в камеру находят по формуле

$$\tau = (V_k/V_n) \ln (p_0/p_k).$$

Полученные из этой формулы значения, отнесенные к 1 м^3 объема камеры для постоянной температуры и температуры, изменяющейся по МСА, приведены на рис. VII—5.

Требование имитации условий, соответствующих скорости взлета современных самолетов, приводит к резкому возрастанию мощности вакуумного оборудования. Свежий воздух, подаваемый в камеру, должен быть предварительно осушен и охлажден до температуры, соответствующей заданной высоте. В зависимости от характера испытуемых объектов каждая высотная установка имеет специфические особенности. Наравне с другими видами испытаний высотным испытаниям подвергают приборы, агрегаты и другие элементы летательных аппаратов.

Приборные камеры. Для испытания различных авиационных приборов, арматуры и образцов материалов применяют небольшие термобарокамеры полезным объемом до $0,5 \text{ м}^3$. Такие установки выполняют максимально компактными; их по возможности агрегируют и автоматизируют. Во многих случаях возможно использование серийного оборудования, описанного в начале главы.

Агрегатные камеры. Для испытания самолетных топливных, силовых и электрических систем, насосов, радиолокационного оборудования и т. п. оборудуют термобарокамеры объемом от 1 до 10 м^3 . Наблюдение за экспериментом и управление его режимом осуществляется снаружи. Камеры внутренней высо-

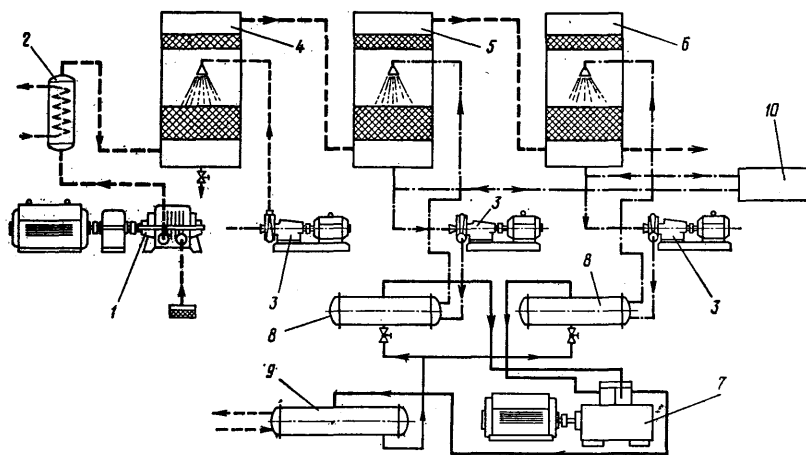


Рис. VII—6. Принципиальная схема осушительной установки со ступенчатым охлаждением воздуха:

1 — воздушный компрессор; 2 — конечный холодильный компрессор; 3 — насос; 4 — скруббер I ступени охлаждения; 5 — скруббер II ступени охлаждения; 6 — скруббер III ступени охлаждения; 7 — аммиачный двухступенчатый компрессор; 8 — испаритель; 9 — конденсатор; 10 — выпарная установка

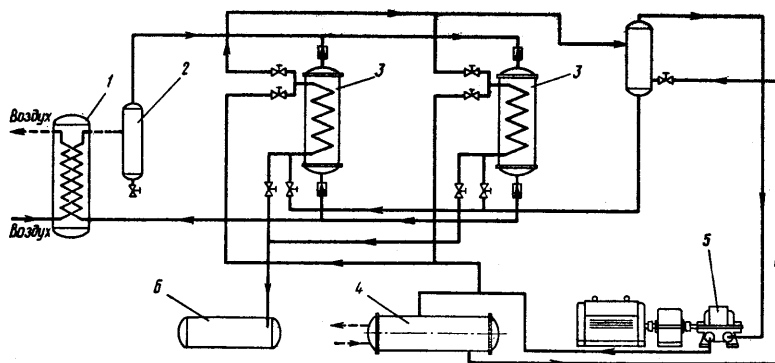


Рис. VII—7. Принципиальная схема осушительной установки с рекуперацией холода:

1 — воздушный теплообменник; 2 — водоотделитель; 3 — воздухоохладитель; 4 — конденсатор; 5 — аммиачный компрессор; 6 — ресивер для жидкого хладагента

той 1800 мм может посещать персонал. Агрегатные камеры могут быть универсальными либо специального назначения для определенного вида изделий (например, электрогенераторов).

Камеры для испытания крупногабаритных объектов. Такие камеры объемом от 25 м³ и более служат для испытания герметичных кабин, самолетных отсеков, шасси и др. Камеры характеризуются сложной конструкцией, имеют мощное холодильное и вакуумное оборудование, большое приборное хозяйство и оснащены различными питающими устройствами. Их часто размещают в отдельном корпусе, в который кроме экспериментального и машинного залов входят препараторская, мастерские, административно-бытовые и лабораторные помещения. Если корпус формируют как высотную лабораторию, то в нем обычно предусматривают дополнительно несколько термобарокамер и термокамер меньших размеров.

Установки для испытания авиационных двигателей. Такие установки оснащены устройствами для подвода топлива и воздуха и отсасывания отработавших газов. На выходе из двигателя мощными эксгаустерами создается низкое (высотное) давление. Установки для испытания авиационных двигателей характеризуются большой сложностью и потребляют мощность, измеряемую тысячами киловатт. При испытании двигателей различных типов в зимних или высотных условиях для их питания требуется непрерывная подача воздуха низкой температуры и влажности. Схема осушительной установки такого назначения показана на рис. VII—6. Воздух последовательно охлаждается в трех мокрых воздухоохладителях; в первом используется артезианская вода, во втором и третьем — рассол, охлаждаемый двухступенчатой холодильной машиной.

В некоторых экспериментах сжатый воздух длительно накапливают в емкостях и затем в короткий срок сбрасывают его при повышенных расходах. В этом случае ставится требование повышенной сухости воздуха (до точки росы —40 ÷ —60°C). Схема такой осушительной установки с рекуперацией холода в воздушном теплообменнике и двумя параллельными, периодически взаимно переключаемыми воздухоохладителями приведена на рис. VII—7.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ

В различных отраслях промышленности (пищевая, химическая, нефтяная, медицинская и др.), где в технологических процессах используют искусственное охлаждение, для проверки, отладки процессов и производственного экспериментирования заводские лаборатории оборудуют экспериментальными холодильными установками. Они служат для охлаждения аппаратов, аналогичных аппаратам основного производства, либо обслуживают небольшие опытные термокамеры. Такие установки многообразны по назначению и характеру исполнения. Диапазон охлаждения широкий (от положительных температур до температур около —120°C).

Для изучения влияния низких температур на протекание различных процессов и свойства веществ во многих научно-исследовательских институтах лабораторий оборудуют опытными холодильными установками. По сравнению с производственными установками они обычно имеют более широкий диапазон изменения температур, лучше оснащены конт-

рольно-измерительными приборами, но имеют относительно меньшие размеры. Чаще всего это термошкафы или небольшие термокамеры, оборудованные автоматизированными парокompрессионными машинами. При самых малых тепловых нагрузках, а также наиболее низких температурах часто пользуются настольными криостатами лабораторного типа, охлаждаемыми сухим льдом или жидким азотом.

Для исследования влияния высотных условий на физиологические функции организма людей и животных предназначены медицинские камеры. Важнейшее значение здесь имеет соблюдение мер безопасности — надежная сигнализация и связь, блокировки, предохранительные устройства и т. п. Для возможности ведения продолжительного эксперимента без нарушения режима термобарокамеры оборудуют входным тамбуром и герметичными шлюзами.