

А. Б. ФРАДКОВ

К ВОПРОСУ О НОВЫХ СПОСОБАХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ АППАРАТУРЫ ГЛУБОКОГО ХОЛОДА

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 6 X 1951)

Тепловая изоляция аппаратов, работающих при низких температурах, и сосудов для хранения сжиженных газов с низкими температурами кипения (кислород, азот, метан, водород и т. д.) в настоящее время производится двумя способами:

1) заполнением пространства между аппаратом или сосудом и внешним кожухом различными материалами, имеющими малый коэффициент теплопроводности (шлаковая вата, углекислая магнезия, пластмассовые пены и т. п.);

2) созданием высокого вакуума в пространстве между изолируемым аппаратом и внешним кожухом.

В технической практике чаще применяется первый способ ввиду его простоты и относительной дешевизны, хотя недостатками этого способа являются большие потери тепла и значительная толщина изоляционного слоя.

Аппараты и сосуды с высоковакуумной изоляцией имеют малые потери тепла и небольшой по толщине изоляционный слой, но они более сложны и дороги в изготовлении и менее долговечны. Последнее связано с тем, что для хорошей теплоизоляции требуется вакуум порядка 10^{-5} мм рт. ст., сохранять и создавать который в условиях производственной эксплуатации аппаратов и сосудов представляет значительные трудности.

Современная техника нуждается в таком методе теплоизоляции аппаратуры глубокого холода, который обладал бы преимуществами обоих вышеуказанных способов изоляции и был бы свободен от их недостатков.

С этой точки зрения заслуживает особого внимания предложение, заключающееся в создании умеренного вакуума в изоляционном пространстве, заполненном предварительно легким пористым материалом с малым коэффициентом теплопроводности.

Физическая сущность такого способа изоляции заключается в следующем: как известно, теплопроводность не зависит от давления до тех пор, пока давление не снижено до величины, при которой длина свободного пробега молекул становится сравнимой с расстоянием между поверхностями, участвующими в теплообмене. При дальнейшем понижении давления теплопроводность уменьшается пропорционально давлению.

Если изоляционное пространство заполнить легким пористым материалом, то предельные длины свободного пробега молекул будут определяться уже не размерами изоляционного пространства (как при высоковакуумной изоляции), а размерами замкнутых пор материала, запол-

няющего изоляционное пространство. При условии, что эти поры достаточно малы (меньше, чем средняя длина пробега молекул при атмосферном давлении), даже небольшое уменьшение давления в изоляционном пространстве должно дать резкое снижение теплопроводности.

Это дает возможность получить весьма эффективную теплоизоляцию (такую же, как дает высокий вакуум), но при разряжении порядка 10^{-2} мм рт. ст., создавать и поддерживать которое практически хотя и не легко, но вполне возможно.

М. И. Блат, С. Е. Бреслер и Ю. Н. Рябинин (1) осуществили в 1945 г. такую изоляцию, применив в качестве заполняющего материала аэрогель кремневой кислоты. Обладая хорошими теплоизоляционными свойствами, аэрогель является относительно дорогим материалом и в промышленном масштабе не производится.

Подыскивая заменитель аэрогеля, мы остановились на получивших в последнее время широкое распространение пористых пластических массах, которые об-

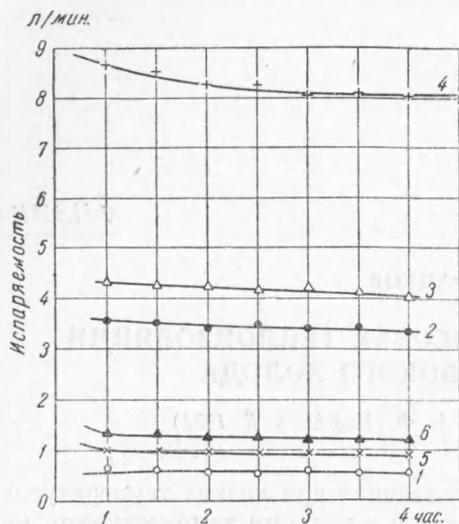


Рис. 1. Испаряемость жидкого воздуха при различных условиях изоляции сосуда. 1 — высокий вакуум ($p = 10^{-6}$ мм рт. ст.); 2 — форвакуум ($p = 3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.); 3 — форвакуум (остаточный газ — водород); 4 — мипора под атмосферным давлением; 5 — мипора под давлением 10^{-2} мм рт. ст.; 6 — мипора с водородным заполнением под форвакуумной откачкой

ладают легким весом, малой теплопроводностью, водонепроницаемостью и относительно большой прочностью. Для исследования была выбрана мипора, представляющая собой отвердевшую пену формальдегид-мочевинной смолы и имеющая следующие показатели: объемный вес 18—22 кг/м³, пористость 97—98%, коэффициент теплопроводности при 20° — 0,037 ккал/м · час · °С.

Определение теплоизоляционных свойств мипоры при разных давлениях проводилось измерением испаряемости жидкого воздуха и жидкого водорода из цилиндрического сосуда диаметром 100 мм и высотой 375 мм, окруженного слоем изоляции толщиной 25 мм. Необходимое разряжение в изоляционном кожухе создавалось вакуум-насосами.

Полученные величины испаряемости при различных условиях приведены на рис. 1 и 2.

Обработка результатов испаряемости жидкого воздуха дает следующие коэффициенты теплопроводности мипоры (при средней температуре —95°):

а) под атмосферным давлением $\lambda_1 = 0,022$ ккал/м · час · °С;

б) при предварительной откачке до $\sim 0,01$ мм рт. ст. $\lambda_2 = 0,0025$ ккал/м · час · °С;

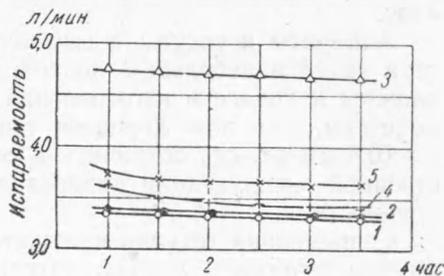


Рис. 2. Испаряемость жидкого водорода при различных условиях изоляции сосуда. 1 — высокий вакуум ($p = 5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.); 2 — до заливки жидкого H₂ форвакуум ($p = 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.); 3 — до заливки жидкого H₂ форвакуум с остаточным газом водородом; 4 — мипора с откачкой до $p = 0,2$ мм рт. ст. перед заливкой жидкого водорода; 5 — мипора с водородным заполнением под форвакуумной откачкой

в) заполненной водородом и откачиваемой форвакуумным насосом $\lambda_3 = 0,0031$ ккал/м·час^{°С}.

В опытах с испарением жидкого водорода было получено, что при заполнении изоляционного пространства мипорой испаряемость была только на 3—5% выше, чем при высоковакуумной изоляции. Это увеличение объясняется теплопроводностью через твердую фазу изоляции, так как теплопроводность через газовую фазу, вследствие автоматически получающегося в изоляционном пространстве при заливке жидкого водорода вакуума порядка 10^{-6} мм рт. ст., совершенно незначительна.

Заполнение мипорой перед откачкой газообразным водородом дает увеличение испаряемости только на 10—12%. Такое незначительное увеличение испаряемости может быть объяснено наличием в мипоре закрытых пор, в которые водород не проникает. Газы же, находящиеся внутри пор, после заливки в сосуд жидкого водорода конденсируются, и в изоляционном пространстве получается высокий вакуум.

На увеличение вакуума внутри изоляционного пространства влияет также адсорбционная способность мипоры, резко возрастающая при низких температурах.

Опыты по испарению жидкого воздуха и жидкого водорода показывают, что комбинация мипоры с откачкой ее промышленным форвакуумным насосом дает возможность получить хорошую по качеству теплоизоляцию, могущую заменить высоковакуумную.

Для практической проверки полученных результатов мипорой был изолирован аппарат для ожижения водорода. Толщина слоя изоляции была принята 20—25 мм; мипора откачивалась насосом ВН-2 до остаточного давления 0,08 мм рт. ст. Испытания ожижителя водорода подтвердили пригодность и целесообразность предлагаемого способа изоляции

Институт физических проблем
им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
4 IV 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 М. И. Блат, С. Е. Бреслер и Ю. Н. Рябинин, ЖТФ, 15, 12, 917 (1946).