

УДК 621.59:536.48(035.5)

А.Ю. Баранов, Д.Г. Балахнин, В.А. Баранов, И.А. Козлова

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, РФ, 190002

e-mail: krion.spb@rambler.ru

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОСУДОВ-ГАЗИФИКАТОРОВ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ АЗОТОМ КРИОМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

В номенклатуре криогенного ёмкостного оборудования стран СНГ имеется существенный пробел — отсутствуют сосуды среднего объёма с ёмкостью от 60 до 350 л. Развиваемые сейчас прикладные криогенные технологии формируют значительный спрос на сосуды такого типа. Поставщики жидкого азота предлагают применять для его транспортирования и хранения импортные сосуды-газификаторы. Проведённый анализ показал, что эти ёмкости не годятся для этого, так как спроектированы для других целей. Поэтому их использование в качестве средств доставки жидкого азота неэффективно. В случае применения сосудов-газификаторов, в которых жидкий азот хранится при повышенном давлении, потери от частого его использования в процессах дросселирования могут составлять 45 %. Производителям ёмкостей необходимо организовать выпуск и поставки отечественных сосудов среднего объёма их многочисленным потребителям.

Ключевые слова: Криогенная ёмкость. Криогенный сосуд-газификатор. Жидкий азот. Потери азота. Давление. Температура. Дросселирование. Криомедицина.

A.Yu. Baranov, D.G. Balahnin, V.A. Baranov, I.A. Kozlova

ABOUT EXPERIENCE OF APPLICATION OF VESSELS-GASIFIERS FOR SUPPLY THE CRYOMEDICAL EQUIPMENT BY NITROGEN

In the nomenclature of the cryogenic capacitor equipment of the CIS countries there is an essential blank — there are no vessels of average volume by capacity from 60 up to 350 l. Applied cryogenic technologies developed now forms a significant demand for vessels of such type. Suppliers of liquid nitrogen suggest to use import vessels-gasifiers for its transportation and storage. Analyze shown that these capacities do not suit for this purpose as are designed for other purposes. Therefore their use as means of delivery of liquid nitrogen are ineffective. In case of application of vessels-gasifiers in which liquid nitrogen is stored at the increased pressure, losses from its often can make 45 %. It is necessary for manufacturers of capacities to organize the release and deliveries to numerous consumers.

Keywords: Cryogenic capacity. Cryogenic vessel-gasifier. Liquid nitrogen. Losses of nitrogen. Pressure. Temperature. Throttling. Cryomedicine.

1. ВВЕДЕНИЕ

Развивающийся рынок криомедицинских услуг нуждается в организации устойчивого обеспечения медицинских учреждений жидким азотом. До последнего времени потребность больниц в азоте была незначительной. Сейчас же в связи с ростом спроса на него происходит формирование специализированных логистических структур, ориентированных на медицинских потребителей.

Большинство медицинских потребителей расходует не более 50 кг жидкого азота в сутки. Поэтому при таком относительно незначительном его использовании даже крупные учреждения не располагают

криогенными ёмкостями для оптовых закупок азота. Однако положение с потреблением азота быстро меняется.

За последние 10 лет широкое распространение получили индивидуальные криотерапевтические комплексы (криосауны) [1], которые отличаются от других криомедицинских систем более высоким расходом жидкого азота. Так, для снабжения 50-ти криосаун Санкт-Петербурга ежедневно расходуется свыше 6 т жидкого азота. В среднем на одну приходится около 120 кг азота в день. Доставлять такое количество в сосудах малого (16-25 л) объёма нерентабельно из-за высокой трудоёмкости процесса и повышенного износа сосудов. Для оптовых поставок криоагента ме-

дицинские учреждения приобретают криогенные танки объёмом до 1,6 м³. Из ёмкости заполняют сосуды малого объёма, в которых азот доставляют в криосауну. На практике такая схема достаточно трудоёмка, кроме того, не все учреждения имеют возможность разместить криогенную ёмкость на своей территории. Очевидна потребность в альтернативных вариантах доставки криоагента мелкооптовым потребителям. Одним из возможных вариантов снабжения медицинских учреждений является централизованная доставка азота в сосуды среднего объёма. Такого рода сервис хорошо развит в странах Евросоюза, где провайдеры доставляют жидкий азот в сосудах-газификаторах объёмом от 40 до 230 л. Эти сосуды производятся на основе лицензий фирм США и часто обозначаются маркой «EUROCYL».

На первый взгляд сосуды с жидким криоагентом под избыточным давлением очень удобны в качестве источника жидкого азота. Такие сосуды доставляются и подключаются к установке персоналом провайдера, поэтому объём ручного труда персонала криосауны сокращается до минимума.

Обеспечение криосаун азотом, подающимся из сосудов-газификаторов, началось в 2004 г. Практика показала, что сосуды типа «EUROCYL» не подходят для транспортировки, хранения и выдачи жидких криопродуктов. Этот результат вполне закономерен, так как сосуды разрабатывались для снабжения потребителей сжатыми криогенными газами. В соответствии с функциональным назначением сосуд «EUROCYL» является классическим холодным газификатором, а его использование в качестве средства транспортировки и хранения жидкости сопряжено со значительным увеличением потерь криоагента. Отсутствие отечественного ёмкостного оборудования среднего объёма вынуждает потребителей использовать сосуды «EUROCYL» в качестве средства доставки жидкого азота. Однако, принимая решение о приобретении такого сосуда, следует заранее учитывать его недостатки.

2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ-ГАЗИФИКАТОРОВ СРЕДНИХ ОБЪЁМОВ

Сосуды-газификаторы объёмом до 0,35 м³ производятся в Германии, Чехии, Польше на основе лицензий фирм США. Продукцию разных предприятий объединяют сходные признаки: большой диапазон рабочих давлений (до 2,4 МПа), высокий уровень автоматизации и безопасности, многообразие штатных режимов работы, хорошо продуманная система средств малой механизации. В странах Западной Европы эти сосуды стали основным средством доставки криопродуктов потребителям. Для этого сформировалась соответствующая логистическая схема, основу которой составляет технология доставки азота при сравнительно высоком давлении (более 0,4 МПа). Опираясь на эту практику, поставщики криогенного оборудования стран СНГ рекламируют эти сосуды как средство

транспортирования и хранения азота, аргона и кислорода. При этом умалчивается об отсутствии в регионах источников криоагента, соответствующих сосудам-газификаторам по давлению и арматуре, а также и о других проблемах, возникающих при транспортировании и хранении жидкости.

2.1. Конструктивные особенности сосудов-газификаторов

Существенным конструктивным отличием сосудов-газификаторов от транспортных ёмкостей является повышенная металлоёмкость. Низкотемпературная часть ёмкости и коммуникаций спроектированы с учётом предельного рабочего давления до 2,4 МПа. Если отнести полную массу сосуда к объёму низкотемпературной части, то можно установить, что по удельной металлоёмкости

$$g_v = G/V_{от}$$

сосуды-газификаторы превосходят аналогичные по объёму криогенные ёмкости в 3 раза, причём основная доля избыточной металлоёмкости приходится на внутренний сосуд. Повышенная металлоёмкость охлаждаемой части сосуда при транспортировании криопродуктов служит причиной дополнительных потерь.

Негативной особенностью сосудов является также то, что вся их арматура имеет малые сечения. Соединительные размеры линий выдачи жидкости и газосброса составляют 3/8" ($D_j \approx 9$ мм). У отечественных ёмкостей площадь сечения коммуникаций на линиях выдачи криоагента и отвода паров в 4 раза больше ($D_j = 18$ мм). Расхождение в размерах затрудняет подключение сосудов друг к другу.

Существенно отличающимся является и уровень рабочего давления. Транспортные цистерны стран СНГ имеют максимальное разрешенное давление 0,25 МПа. Сосуды же «EUROCYL» поставляются с настройкой на гораздо большее давление (от 0,4 МПа). Несоответствие по соединительным размерам и давлению стандартам стран СНГ затрудняет эксплуатацию сосудов «EUROCYL» в режиме транспортной ёмкости. Наиболее проблематичным этапом эксплуатационного цикла такого сосуда является заполнение его из неохлаждённого состояния.

2.2. Особенности заправки сосуда-газификатора

Из-за высокой металлоёмкости внутреннего сосуда и малого проходного сечения вентилей заправка сосуда «EUROCYL» в сравнении с производимыми в СНГ ёмкостями представляет собой сложную задачу. При движении потока из ёмкости в сосуд площадь проходного сечения канала снижается в 4 раза, что резко увеличивает гидравлическое сопротивление линии, особенно при движении двухфазного потока. Парожидкостная смесь дросселируется через арматуру сосуда-газификатора в его внутреннюю ёмкость, вызывая повышенное образование пара и увеличивая потери жидкости при заправке. Линия отвода паров

из внутренней ёмкости также имеет малую площадь сечения, поэтому отвод паров затруднён. На линии газосброса происходит дросселирование пара до атмосферного давления. Именно здесь создаётся основное гидравлическое сопротивление, для преодоления которого отечественное ёмкостное оборудование не приспособлено, так как его максимальное давление составляет всего 0,25 МПа. В странах Евросоюза для заправки сосудов «EUROCYL» используют ёмкости с разрешенным давлением не менее 0,8 МПа. Из-за этого проблем с малым проходным сечением коммуникаций не возникает. В России для заполнения этих сосудов используют авиационные газификаторы.

Возможным покупателям сосудов-газификаторов ввиду этого следует понять, что для организации доставки криопродуктов в сосудах «EUROCYL» необходим источник жидкого азота, оснащённый соответствующим (по давлению) ёмкостным оборудованием. Постепенное насыщение рынка криопродуктов сосудами «EUROCYL» создаёт условия для замены ёмкостей, производимых по стандартам СНГ.

Потребителям и поставщикам жидкого азота нужно помнить, что из-за повышенной прочности внутренней ёмкости сосуда-газификатора возрастают затраты криоагента на его первичное охлаждение, которые достигают 30 % от вместимости сосуда. Для сравнения укажем, что у ЦТК-0,5/2,5 потери на захолаживание составляют всего 10 %.

Потери значительного количества криоагента при организации захолаживания сосуда снижают рентабельность его эксплуатации. В связи с этим, необходимо решать, за чей счёт будут покрываться эти затраты. Традиционно потери при заправке сосудов включаются в стоимость криоагента. Поэтому цена на поставляемый азот будет зависеть от вида приёмного сосуда. В Санкт-Петербурге цена азота, отгружаемого в сосуды малого объёма, в 3 раза выше, чем при оптовых его поставках. Это различие в ценах в основном определяется наличием разных удельных потерь при заполнении сосудов. Исходя из повышенных затрат криоагента на захолаживание сосудов «EUROCYL», поставщики азота должны повысить стоимость продукта минимум на 20 %, иначе заправка этих сосудов будет для них невыгодна.

Потребителям криоагента следует знать, что конструкция сосуда позволяет скрывать от получателя истинное количество доставленного криоагента. По рекомендации производителей сосудов «EUROCYL», для снижения потерь транспортирование крио-продуктов осуществляют с закрытым вентилем газосброса. Однако эти рекомендации справедливы только в том случае, когда сосуд используется в качестве источника газа под давлением. Испарившийся газ сохраняется в объёме сосуда за счёт роста давления. Если учесть, что при давлении 2,4 МПа плотность насыщенного пара азота 111 кг/м^3 [2], то в паровой полости сосуда, которая составляет не менее 5 % объёма можно сохранить значительное количество испарившегося продукта. Кроме того, часть подведённой к криоагенту теплоты вызывает перегрев жидкост-

ти. Рассмотрим пример. Пусть давление (избыточное) изменяется от 0 до 2,4 МПа. Это приводит к повышению температуры кипения азота с 78 до 119 К. Теплота перегрева жидкости на 41К составляет 100 кДж/кг, т.е. около 50 % от теплоты парообразования при атмосферном давлении. Таким образом, за счёт теплоты перегрева жидкости теоретически можно компенсировать всю теплоту захолаживания сосуда.

Рост давления вызывает снижение плотности насыщенной жидкости с 802 до 537 кг/м^3 . Поэтому в полном, по показаниям указателя уровня, сосуде масса жидкого азота будет на 33 % меньше паспортной. Следовательно, чем выше давление в сосуде, тем больше будет недопоставка азота. Потребитель оплачивает поставку сжиженного газа, исходя из цены, установленной за его 1 кг, а при получении может проверить только фактический объём жидкости. Поставщики заинтересованы доставлять азот с закрытым вентилем сброса паров азота, так как испарение жидкости во время доставки приводит к увеличению давления, а его рост — к снижению плотности жидкости. Несмотря на потери жидкости при транспортировании, по показаниям датчика уровня сосуд остается полным. Определить изменение массы можно только взвешиванием сосуда, но такой возможности у потребителя, как правило, нет.

Покупателю, в связи с указанным, необходимо добиваться от поставщиков доставки жидкого азота при минимальном давлении. Кроме того, при атмосферном давлении в сосуд вмещается гораздо большее количество азота, а поэтому доставлять его придётся реже, что снизит расходы потребителя на приобретение азота.

2.3. Оценка потерь азота при его хранении в сосуде

Поставщики азота оправдывают доставку криоагента под избыточным давлением своим стремлением снизить потери жидкости. В действительности, при повышенном давлении сохраняется только паровая фаза продукта, а потери жидкости возрастают. Увеличение потерь жидкости от теплопритоков связано с тем, что по мере роста давления снижается теплота парообразования жидкости. Негативное влияние повышения давления можно проиллюстрировать на примере сосуда-газификатора объёмом 230 л. В паспорте сосуда указана величина потерь от испарения 1,8 % в сутки. Действительные потери должны быть значительно выше, так как в конструкции сосуда имеется большое количество тепловых мостов. На практике азот в сосуде этого объёма полностью испаряется за 30-40 дней, т.е. его теряется не менее 2,5 % в сутки.

Полагая, что данные паспорта достоверны, принимаем потери азота равными 1,8 % в сутки. Это минимальные потери от испарения при давлении в сосуде, близком к атмосферному. По мере роста давления, как уже указывалось, испаряемость будет увеличиваться.

С учётом объёма сосуда и плотности азота при нормальных условиях вместимость сосуда равняется 185 кг. Ежедневные потери азота от испаряемости

составят около 3,34 кг. По величине потерь азота от испарения можно оценить качество изоляции сосуда. Теплота, поступающая через изоляцию,

$$q = kF(T_{oc} - T_a'), \quad (1)$$

где k — коэффициент теплопередачи; F — площадь наружной поверхности сосуда; T_{oc} — температура окружающей среды; $T_a' = f(P_a'')$ — температура кипения жидкого азота, соответствующая давлению P_a'' в сосуде.

Коэффициент теплопередачи не зависит от давления жидкости и может считаться постоянной характеристикой сосуда. Подведённая через изоляцию теплота вызывает кипение азота и его потерю, т.е.

$$q = \Delta G_a r_a, \quad (2)$$

где ΔG_a — потери азота, кг/с; r_a — удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Можно записать тепловой баланс сосуда в виде:

$$kF(T_{oc} - T_a') = \Delta G_a r_a. \quad (3)$$

Отсюда следует, что важная характеристика качества теплоизоляции

$$K_{из} = kF = \Delta G_a r_a / (T_{oc} - T_a'). \quad (4)$$

Значение $K_{из}$ может быть определено из выражения (3) на основе паспортных потерь жидкого азота от испарения. В рассматриваемом примере $K_{из} = 0,036$ Вт/К. С учётом этого, расчётный теплоприток к жидкому азоту составляет $q = 7$ Вт.

При известной характеристике $K_{из}$ можно рассчитать действительные потери азота при его хранении с разными избыточными давлениями. Из (1)-(4) находим

$$\Delta G_a = \frac{kF(T_{oc} - T_a')}{r_a}, \quad (5)$$

где $r_a = f(P_a'')$ — теплота парообразования, зависящая от равновесного давления пара P_a'' .

Величину потерь криоагента, как следует из (5), определяют температура кипения и теплота парообразования азота. При повышении давления температура кипения растёт, что способствует снижению теплопритоков через изоляцию, но одновременно снижается теплота парообразования. Используя данные об изменении r_a при повышении давления, можно рассчитать действительную испаряемость азота в различных условиях.

В связи с тем, что при повышении давления потери жидкости увеличиваются, как видно из приведённой на рисунке зависимости $\Delta G_a = f(P_a'')$, хранить криоагент следует при минимальном избыточном давлении. Если давление хранения существенно выше атмосферного, то необходимо учитывать уменьшение плотности жидкости и массовой вместимости сосуда.

Отметим также, что чем выше давление, тем больше удельные потери азота:

$$\Delta g_a = \Delta G_a / \rho_a V, \quad (6)$$

где ρ_a — плотность насыщенного жидкого криоагента; V_a — объём жидкого азота в сосуде.



Увеличение абсолютных потерь азота из-за уменьшения теплоты парообразования обуславливает снижение плотности азота по мере роста давления. В данном примере относительные потери азота при давлении 2 МПа составляют 3,6 %, т.е. в 2 раза превышают значение, заявленное в паспорте сосуда.

Вызванный повышением давления рост испаряемости азота сокращает удельное расчётное время его испарения

$$\tau_{max} = \frac{V_a r_a \rho_a}{kF(T_{oc} - T_a')}. \quad (7)$$

Из-за уменьшения теплоты парообразования азота, вызванного ростом давления, время полного испарения находящегося в сосуде азота, при $P_a = 2$ МПа, как можно установить из (7), снижается до 28 дней.

2.4. Анализ процессов выдачи жидкого криопродукта

Сосуды среднего объёма могут использоваться для временного хранения криоагента или в качестве элемента системы криостатирования. В первом случае криоагент сливают в промежуточные ёмкости для дальнейшего использования, во втором — азот отбирается автоматически из сосуда по мере необходимости. Рассмотрим эффективность сосудов-газификаторов в каждом из этих случаев.

При сливе криоагента в промежуточный сосуд происходит очередное дросселирование от давления хранения до атмосферного. Потери от дросселирования определяются перепадом давлений. Доля жидкости, потерянная при сливе $\Delta G_{др}$, численно равна расчётной степени сухости потока x'' после сброса давления:

$$\Delta G_{др} = \frac{G'_{r_a} - G''_{r_a}}{G'_{r_a}} = x''. \quad (8)$$

Для расчёта величины x'' использовался тепловой баланс дросселирования в виде:

$$h'_{p_1} = h'_{p_{oc}} (1 - x'') + h''_{p_{oc}} x'' \quad (9)$$

или

$$x'' = \frac{h'_{p_1} - h'_{p_{oc}}}{h''_{p_{oc}} - h'_{p_{oc}}} = \frac{h'_{p_1} - h'_{p_{oc}}}{r_{oc}}, \quad (10)$$

где h'_{p_1} , $h''_{p_{oc}}$ — энтальпии равновесных жидкости и пара азота при P_{oc} ; r_{oc} — теплота парообразования азота при нормальной температуре его кипения; h'_{p_1} — энтальпия жидкости при давлении хранения азота в сосуде.

Из табл. 1 видно, что в пределах возможного изменения рабочего давления ёмкостного оборудования ($P_a \leq 2,5$ МПа) потери от дросселирования могут превышать 45 % [2]. Поэтому для рационального использования криоагента необходимо содержать его в ёмкости с минимальным рабочим давлением. Последнее требование входит в противоречие с конструкцией сосудов-газификаторов, которая работоспособна только при повышенном давлении.

Неэффективность сосудов «EUROCYL» в качестве средства доставки азота стала ясна при вводе в эксплуатацию первых криосаун российского производства в Израиле, Латвии, Польше и США. Поставщики не отпускали азот в сосуды СК-25. Приходилось закупать криоагент в сосудах «EUROCYL» и сливать жидкость в отечественные сосуды, которые уже затем использовались в системе криостатирования. Из-за потерь от частого дросселирования, как следует из табл. 1, затраты жидкого азота возросли в два раза. При заполнении сосудов образовывалось большое количество пара. Для снижения затрат азота путём утилизации паров была разработана специальная европейская модификация криосаун, в которой предусматривался автоматический отбор криоагента из сосудов «EUROCYL». Таким образом, удалось сосуд сделать частью системы криостатирования. В модифицированной установке жидкость дросселировалась внутри системы криостатирования, поэтому пары азота компенсировали часть тепловой нагрузки. Но, несмотря на это, затраты криоагента были всё-таки значительно выше, чем в базовом варианте. В итоге, использование сосудов «EUROCYL» увеличило расход азота криотерапевтической установкой.

Причиной увеличенного потребления криоагента,

что ранее уже подчёркивалось, стало повышенное давление в транспортном сосуде. Как видно из табл. 1, с ростом давления уменьшается удельная теплота парообразования, повышаются температура и энтальпия насыщенной жидкости [2]. Жидкий азот отводит теплоту в двух процессах: кипения жидкости и перегрева паров криоагента до температуры газа в процедурной кабине ($T_{проц} = 140$ К). Удельная теплоотводящая способность азота определяется поэтому как разность энтальпий на выходе из системы криостатирования и в сосуде:

$$q_a = h_{отбр} - h'_0, \quad (11)$$

где $h_{отбр} = 392$ кДж/кг; $h'_0 = f(P_a'')$ — энтальпия жидкого азота, отбираемого из сосуда при давлении P_a'' .

Из данных табл. 1 можно убедиться, что повышенные давления снижает теплоотводящую способность азота. Так, при повышении давления до 0,4 МПа криоагент отводит теплоты на 25 % меньше. Следовательно, при поставке азота под давлением 2 МПа потери теплоотводящей способности составят уже 34 %.

Для владельцев криосаун важно знать число процедур, которое можно отпустить, израсходовав один сосуд с жидким азотом. Это позволяет планировать его доставку, рассчитывать себестоимость процедур и т.д. При эксплуатации криосауны в комплекте с сосудом «EUROCYL» главную роль будет играть давление, при котором хранится криоагент.

Число процедур $n_{пр}$, которое можно провести с использованием одного сосуда, определится как отношение массы азота в сосуде к удельным затратам его на процедуру:

$$n_{пр} = \frac{V_c \rho'_p}{\Delta g_p}, \quad (12)$$

где $\Delta g_p = Q_s / q_a$; V_c — вместимость сосуда по жидкому азоту в начале процедуры; ρ'_p — плотность жидкого азота перед процедурой.

Суммарная тепловая нагрузка на систему криостатирования $Q_s = 1067$ кДж. Она была определена по среднему расходу криоагента в установке с базовой комплектацией, который составляет 4 кг.

Подъём давления снижает вместимость сосуда V_c и теплоотводящую способность криоагента. Поэтому

Таблица 1. Теплоотводящая способность азота, находящегося в сосуде в состоянии насыщения, в зависимости от количества процедур дросселирования

| Давление (избыточное), МПа | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Температура кипения, К | 78 | 84 | 88 | 92 | 95 | 97,0 | 106 | 112 | 117 |
| Энтальпия жидкости, кДж/кг | 125,2 | 137,9 | 146,3 | 154,8 | 161,2 | 165,6 | 186,4 | 201,7 | 216 |
| Теплота парообразования, кДж/кг | 199,4 | 192,2 | 185,7 | 179,4 | 174,2 | 169,9 | 149,7 | 131,6 | 113 |
| Плотность пара, кг/м ³ | 4,5 | 8,6 | 12,7 | 16,5 | 20,3 | 24,5 | 45,1 | 68,4 | 95 |
| Плотность жидкости, кг/м ³ | 807,1 | 778,7 | 758,9 | 738,3 | 722,3 | 711,4 | 656,9 | 613,9 | 570,3 |
| Потери от дросселирования, % | — | 6,3 | 10,5 | 14,7 | 17,9 | 20,1 | 30,4 | 38 | 45,2 |
| Теплоотводящая способность, кДж/кг | 266,8 | 254,1 | 245,7 | 237,2 | 230,8 | 226,4 | 205,6 | 190,3 | 176 |
| Расчётное число процедур | 46 | 43 | 40 | 38 | 36 | 35 | 31 | 28 | 26 |

Таблица 2. Расходные характеристики сосуда объёмом 230 л при различных рабочих давлениях

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Давление пара (избыточное), МПа | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| Вместимость сосуда, кг | 186 | 179 | 175 | 170 | 166 | 164 | 161 | 158 | 156 |
| Расчётное число процедур | 46 | 43 | 40 | 38 | 36 | 35 | 31 | 28 | 26 |

расчётное количество проведённых процедур (см. табл. 2) быстро снижается. Для наглядности в расчётах использован сосуд объёмом в 230 л.

Из табл. 2 следует, что, используя в качестве источника азота сосуд с давлением 0,4 МПа, можно провести не более 36 процедур. Поставляя азот в сосудах с повышенным давлением, производители таким образом пренебрегают интересами потребителей криоагента.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ эксплуатационных характеристик сосудов «EUROCYL» как средства для транспортирования и хранения жидкого азота показывает, что данный тип ёмкостного оборудования не соответствует рассмотренной нами технологической задаче. Сосуды «EUROCYL» отличаются от ёмкостного оборудования, производимого в странах СНГ.

Поставка криоагента в этих сосудах позволяет поставщику скрывать технологические потери жид-

кости за счёт повышения давления в сосуде. Переход на снабжение азотом посредством сосудов «EUROCYL» снижает рентабельность систем криостатирования.

Учитывая то, что проникновение сосудов «EUROCYL» повлечёт за собой постепенную замену всего ёмкостного оборудования импортными аналогами, необходимо заняться насыщением рынка отечественными сосудами среднего объёма (150-250 л). Их необходимо изготавливать для транспортирования жидких продуктов под давлением, близким к атмосферному. Это позволит снизить их металлоёмкость и повысить потребительские качества криопродукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.Ю. Разработка техники и технологии криотерапии// Холодильная техника. — 2006. — № 12. — С. 42-47.
2. Теплофизические свойства криопродуктов: Учебное пособие для вузов/ Л.А. Акулов, Е.И. Борзенко, В.Н. Новотельнов, А.В. Зайцев. — СПб.: Политехника, 2001. — 243 с.



Седьмая международная специализированная выставка

Криоген-Экспо

11-13 ноября 2008 г. Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР», пав.5

Организатор:



Проводится при содействии:

- ▣ Международного института холода
- ▣ Международной академии холода
- ▣ Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА»

Информационная поддержка:



ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ:

- ▣ Криогенное оборудование
- ▣ Гелиевое оборудование
- ▣ Вакуумное оборудование
- ▣ Холодильное и компрессорное оборудование
- ▣ Микрокриогенная техника
- ▣ Сжиженный природный газ
- ▣ Промышленные и редкие газы
- ▣ Применение криогенных технологий в промышленности
- ▣ Системы безопасности

- ▣ Применение криогенных технологий в медицине и биологии, научно-технических исследованиях
- ▣ Ёмкости для хранения и транспортировки
- ▣ Метрология и средства измерения при низких температурах
- ▣ Комплектующие, вспомогательное оборудование, системы управления и программное обеспечение
- ▣ Сертификация и технические регламенты в криогенной отрасли
- ▣ Образование и ярмарка вакансий

Деловая программа: 5-я международная научно-практическая конференция: «Криогенные технологии и оборудование. Перспективы развития»

Дирекция выставки:
115533, Москва, пр-т Андропова, 22 | E-mail: info@mirexpo.ru | Сайт: www.mirexpo.ru
Тел./факс: 8 499 618-05-65, 8 499 618-36-88, 8 499 618-36-83

ВНИМАНИЕ!
Заявки на участие в выставке и конференции принимаются до **1 октября 2008 года**