

**Р.Б. Кудабаяев¹, И.О. Касимов², Р.А. Риставлетов¹,
Э.Н. Калшабекова¹, М.А. Камбаров^{1,*}**

¹Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

²Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Информация об авторах:

Кудабаяев Руслан Бахтиярович – докторант, кафедра «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3482-8423>, email: kudabaev_81@mail.ru,

Касимов Эркин Умаралиевич – д.т.н., профессор, кафедра «Строительные материалы и химия», Ташкент, Узбекистан <https://orcid.org/0000-0003-4478-2457>, email: qosimov-erkin@bk.ru

Калшабекова Эльмира Нурлыбаевна – кандидат технических наук, кафедра «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9941-688X>, email: elmyra-56@mail.ru

Риставлетов Райымберди Аманович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, кафедра «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7106-6611>, email: rar_1967@mail.ru,

Камбаров Медетбек Абилдаевич – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, кафедра «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан <https://orcid.org/0000-0001-6397-1451>, medet_2030@mail.ru

*Автор корреспонденции: medet_2030@mail.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЖИДАЕМОГО ДАВЛЕНИЯ В НЕРАСШИРЯЮЩЕЙСЯ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. *Большое влияние на работу конструкции теплоаккумулятора влияет усадка, поэтому при разработке конструкций с теплоаккумулирующими материалами возникает необходимость определения давления в не расширяющейся (замкнутой) аккумулирующей конструкций с коэффициента сжимаемости материала, которое можно считать эксплуатационной характеристикой материала. В статье приведены данные по усадке (и расширению) исследованных теплоаккумулирующих материалов и методика оценки давления, которые могут развиваться в герметичной конструкций аккумулятора, полностью заполненной теплоаккумулирующих материалов в кристаллическом состоянии. Определено что, для нормальной работы конструкций с теплоаккумулирующим материалом необходимо либо создать в нем условия, позволяющие избежать повышения давления, либо при заполнении конструкций аккумулятора теплоаккумулирующего материала учитывать усадку материала, либо использовать теплоаккумулирующего материала с температурами плавления более низкими, чем это требуется при работе при атмосферном давлении.*

Ключевые слова: *ограждающая конструкция, n-алканы, теплоаккумулирующие материалы, усадка, давление в аккумуляторе, фазовый переход, жидкий парафин.*

Введение

В настоящее время дополнительное утепление зданий осуществляют с использованием различных конструктивно-технологических решений ограждения. Однако эти решения часто принимаются без должного обоснования с позиций

строительной теплотехники, что приводит не к экономии энергоресурсов, а наоборот их расходованию [1].

В связи с этим возникает необходимость в разработке новых конструктивных решений ограждающих конструкций, которые не только имеют улучшенные теплозащитные свойства, но и способных аккумулировать тепловую энергию. Наибольшее распространение для аккумулирования теплоты в технике нашли теплоаккумулирующие материалы на основе парафинов с фазовым переходом «твердое тело - жидкость», позволяющие накапливать относительно большое количество тепла в диапазоне комнатной температуры [2]. Однако теплоаккумулирующие материалы в ограждающих конструкциях применения не нашло. Поэтому сейчас широко разрабатываются новые конструктивные решения ограждающих конструкций со слоями из теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом с целью повышения эффективности ограждения и исследование их теплофизических свойств с учетом аккумулирующей способности слоя ограждения.

Материалы и методы

Сравнительный анализ теплофизических свойств термоаккумулирующих материалов фазового перехода показал, что наиболее приемлемым для практического использования в аккумуляторах тепла являются парафины [3-5]. Однако применение их в ограждающих конструкциях зданий связано с трудностями, связанными с достаточно высокой температурой фазового перехода, малым коэффициентом теплопроводности, к тому же не изучена работа теплоаккумулирующих материалов в ограждающей конструкции.

Для изучения эксплуатационных свойств нами были разработаны теплоаккумулирующие материалы с температурой плавления 25⁰С смешиванием индивидуальных n-алканов.

Таблица 1 – Состав и свойства теплоаккумулирующих материалов, полученных смешением индивидуальных n-алканов

Наименование ТАМ	n-алканы	Содержание n-алканов, % масс.	Температура плавления, ⁰ С	
			n-алкана	ТАМ
ТАМ -25	C ₁₇ H ₃₆	44,7	21,7	25,0
	C ₁₈ H ₃₈	55,3	28,0	
ТАМ -25	C ₁₇ H ₃₆	73,2	21,7	25,0
	C ₁₉ H ₄₀	26,8	32,0	

Известно, что большое влияние на работу конструкции аккумулятора влияет усадка. Разработанные ТАМ-25 в жидком состоянии имеют относительно низкую плотность 0,78-0,79 г/м³, а в следствия усадки в кристаллическом состоянии представляют собой твердые вещества плотностью 0,82-0,89 г/м³. Знания усадки и расширения теплоаккумулирующих материалов необходимы, так как товарные парафины, из которых составлены ТАМ-25, представляют собой твердую массу и при работе в конструкции аккумулятора и при последующем расплавлении парафина происходит его резкое расширение (увеличение объема достигает до 9,1-10,1%). Исследования показывают, что повышение давления для

твердых парафинов может достигать 10...50МПа [6,7]. В связи с этим при разработке конструкций с теплоаккумулирующими материалами возникает необходимость определения давления в не расширяющейся (замкнутой) аккумулирующей конструкций с коэффициента сжимаемости материала, которое можно считать эксплуатационной характеристикой материала.

Результаты и обсуждение

Исходя из данных по усадке (и расширению) исследованных теплоаккумулирующих материалов предлагается следующая методика оценки давления, которые могут развиваться в герметичной конструкций аккумулятора, полностью заполненной теплоаккумулирующим материалом в кристаллическом состоянии.

Расчет возможного давления в конструкции аккумулятора с теплоаккумулирующим материалом и снижения температуры плавления теплоаккумулирующего материала за счет повышения давления проводится в следующей последовательности.

На основании экспериментальных данных по плотностям теплоаккумулирующим материалом в жидком состоянии при 70 °С (ρ^{70}) и усадкам (ΔV) определяются плотности теплоаккумулирующих материалов в жидком и твердом состояниях при температуре 20°С по формуле (1):

$$\rho^i = \rho^{70} + \rho^{70} \cdot \Delta V / 100 \quad (1)$$

где ρ^i - плотность при указанных выше условиях.

Пересчет плотностей в твердом и жидком состояниях при различных температурах (t) без плавления и фазовых переходах производится с учетом термического коэффициента плотности нефтепродуктов (α) по формуле (2):

$$\rho = \rho^{70} + \alpha \cdot (70 - t) \quad (2)$$

где ρ^1 - плотность парафина при заданной температуре, кг/м³; ρ^{70} - плотность парафина при температуре 70°С; t - заданная температура, °С.

Далее на основании данных по плотностям и приведенным температурам и давлениям при 70°С, и атмосферном давлении по графику, приведенному в работе [4], экстраполяцией рассчитываются коэффициенты сжимаемости теплоаккумулирующих материалов (ω_1), характеризующие изменение плотности материалов от давления.

Определяются коэффициенты сжимаемости, обеспечивающие неизменность плотности теплоаккумулирующих материалов в герметичной конструкций с теплоаккумулирующим материалом в жидком (ω_2) и твердом (ω_3) состояниях при температуре плавления теплоаккумулирующих материалов, в жидком (ω_4) и твердом (ω_5) состояниях при температуре 20°С по уравнению (3):

$$\rho_1 / \omega_1 = \rho_2 / \omega_2 = \rho_3 / \omega_3 = \rho_4 / \omega_4 = \rho_5 / \omega_5 \quad (3)$$

На основании полученных коэффициентов сжимаемости при температурах плавления теплоаккумулирующих материалов определяются приведенное дав-

ление и давление, которое может развиваться в герметичной теплоаккумулирующей конструкции для получения требуемого сжатия теплоаккумулирующего материала, обеспечивающего неизменность его плотности по формуле (4):

$$P = P_{кр} - P_{прив}. \quad (4)$$

При проведении расчетов оценивается также повышение температуры плавления теплоаккумулирующих материалов при повышении давления в конструкции с аккумулирующим материалом.

В соответствии с уравнением Клазиуса-Клапейрона повышение температуры плавления при повышении давления выражается уравнением (5):

$$\frac{dT_{пл}}{dP} = \frac{V_{ж} - V_{тв}}{M \cdot \lambda} T_{пл} \quad (5)$$

где $\frac{dT_{пл}}{dP}$ - повышение температуры плавления при повышении давления, К/МПа; $V_{ж}$ и $V_{тв}$ - молекулярные объемы теплоаккумулирующих материалов в жидком и твердом состояниях, см³/моль; M - молекулярная масса теплоаккумулирующих материалов, г/моль; $T_{пл}$ - температура плавления при атмосферном давлении, К; λ - скрытая теплота плавления (плюс теплота фазового перехода в кристаллическом состоянии) Дж/г.

В рассматриваемом случае $\frac{V_{ж} - V_{тв}}{V_{ж}} \cdot 100 = \Delta V$ – что является усадкой теплоаккумулирующих материалов.

$$\text{Откуда } V_{ж} = \frac{M}{\rho_{ж}},$$

где $\rho_{ж}$ - плотность теплоаккумулирующих материалов в жидком состоянии, а $\lambda = \Delta H_{пл} + \Delta H_{ф} - \Delta H_{ж}$ - сумма теплот плавления и фазового перехода в кристаллическом состоянии минус энтальпия теплоаккумулирующих материалов в жидком состоянии, Дж/г.

Исходя из выше приведенных формул можно определить повышение температуры плавления теплоаккумулирующих материалов при повышении давления в конструкции с теплоаккумулирующим материалом в соответствии с выражением (6):

$$dT_{пл} = \frac{0,01 \Delta V \cdot T_{пл}}{\rho \cdot (\Delta H_{ф} + \Delta H_{пл} - \Delta H_{ж})}, \quad (6)$$

Заключение

Таким образом, для нормальной работы конструкций с теплоаккумулирующим материалом необходимо либо создать в нем условия, позволяющие избежать повышения давления, либо при заполнении конструкций аккумулятора теплоаккумулирующим материалом учитывать усадку материала, либо использовать теплоаккумулирующий материал с температурами плавления более низкими, чем это требуется при работе при атмосферном давлении.

Литература:

1. Серов С.Ф., Дегтярев Н.С. Системы аккумуляции теплоты в системах теплоснабжения индивидуальных домов. *Промышленное и гражданское строительство*. 2010,10, 36-39. (в русскоязычном журнале)
2. Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Коринчевская Т.В., Парняков А.С., Постников В.А. Теплофизические свойства композиционных теплоаккумулирующих материалов на основе органических соединений. *Промышленная теплотехника*. 2011, 33(5), 96-103. (в русскоязычном журнале) <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/60381>
3. Aimbetova I.O., Suleimenov U.S., Kostikov O.A., Ristavletov R.A. Development of heat storage materials based on commodity paraffins. *NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020, 6 (444), 6-13. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.124>
4. Калиниченко А.Ю. Разработка и исследование теплоаккумулирующих материалов на основе жидких парафинов: дисс...канд. техн. наук. Ставрополь. 2014, 145с.
5. Aimbetova I.O., Suleymenov U.S., Kostikov O.A., Imanaliev K.E., Ristavletov R.A., Kambarov M.A. Energoactive multilayered construction of fencing with a thermal-accumulating layer. *The Bulletin of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan*. 2018, 4 (374), 57-62.
6. Александрова Э.А., Гришин А.П., Лобачев Ю.Ю. Исследование напряжений контракции в дисперсных структурах парафинсодержащих систем. *Изв. ВУЗов. Нефть и газ*.1975, 10, 57-65.
7. Переверзев А.Н., Калиниченко А.Ю., Овчаров С.Н. Исследование усадки теплоаккумулирующих материалов, полученных смешением индивидуальных n-алканов и фракций жидких парафинов. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2004, 129-130.

References:

1. Serov S.F., Degtyarev N.S. Sistemyi akkumulyatsii teplotyi v sistemah teplosnabzheniya individualnykh domov [Heat storage systems in heat supply systems of individual houses] *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2010,10, 36-39. (in Russ.)
2. Mikhaylik V.A., Snezhkin YU.F., Korinchevskaya T.V., Parnyakov A.S., Postnikov V.A. Teplofizicheskiye svoystva kompozitsionnykh teploakkumuliruyushchikh materialov na osnove organicheskikh soyedineniy [Thermophysical properties of composite heat storage materials based on organic compounds] *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2011, 33(5), 96-103. (in Russ.) <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/60381>
3. Aimbetova I.O., Suleimenov U.S., Kostikov O.A., Ristavletov R.A. Development of heat storage materials based on commodity paraffins. *NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020, 6 (444), 6-13. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.124>
4. Kalinichenko A.YU. Razrabotka i issledovaniye teploakkumuliruyushchikh materialov na osnove zhidkikh parafinov: diss...kand. tekhn. nauk. [Development and research of heat storage materials based on liquid paraffins: diss...cand. of techn. sci.] – Stavropol. 2014. 145. (in Russ.)
5. Aimbetova I.O., Suleymenov U.S., Kostikov O.A., Imanaliev K.E., Ristavletov R.A., Kambarov M.A. Energoactive multilayered construction of fencing with a thermal-accumulating layer. *The Bulletin of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan*. 2018, 4 (374), 57-62. (in Russ.)
6. Aleksandrova E.A., Grishin A.P., Lobachev YU.YU. Issledovaniye napryazheniy kontrakttsii v dispersnykh strukturakh parafinsoderzhashchikh sistem [Investigation of contraction stresses in dispersed structures of paraffin-containing systems] *Izv. VUZov. Neft i gaz*.1975, 10, 57-65. (in Russ.)
7. Pereverzev A.N., Kalinichenko A.YU., Ovcharov S.N. Issledovaniye usadki teploakkumuliruyushchikh materialov, poluchennykh smesheniyem individual'nykh n-alkanov i fraktsiy zhidkikh parafinov. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskkiye nauki*. 2004, 129-130. (in Russ.)

**Р.Б. Кудабаяев¹, И.О. Касимов², Р.А. Риставлетов¹,
Э.Н. Қалшабекова¹, М.А. Қамбаров^{1,*}**

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

²Ташкент сәулет-құрылыс институты, Ташкент, Өзбекстан,

Авторлар туралы ақпарат:

Кудабаяев Руслан Бахтиярович – докторант, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3482-8423>, email: kudabaev_81@mail.ru,

Касимов Эркин Умаралиевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, «Құрылыс материалдары және химия» кафедрасы, Ташкент сәулет-құрылыс институты, Ташкент, Өзбекстан

<https://orcid.org/0000-0003-4478-2457>, email: qosimov-erkin@bk.ru

Риставлетов Райымберди Аманович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7106-6611>, email: rar_1967@mail.ru,

Қалшабекова Эльмира Нурлыбаевна – техника ғылымдарының кандидаты, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9941-688X>, email: elmyra-56@mail.ru

Қамбаров Медетбек Абильдаевич – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-6397-1451>, medet_2030@mail.ru

КЕҢЕЙТІЛМЕЙТІН ЖИНАҚТАҒЫШ ҚҰРЫЛЫМДАРДАҒЫ КҮТІЛЕТІН ҚЫСЫМДЫ АНЫҚТАУ ӘДІСТЕМЕСІ

***Андатпа.** Шөгү жылу аккумуляторы негізіндегі конструкцияның жұмысына үлкен әсер етеді, сондықтан жылу аккумуляциялаушы материалдары бар құрылымдарды әзірлеу кезінде материалдың сығылу коэффициентінен кеңейтілмейтін (жабық) құрылымдағы қысымын анықтау қажеттілігі туындайды, мұны материалдың эксплуатациялық сипаттамасы деп санауға болады. Мақалада зерттелетін жылу аккумуляциялаушы материалдарының шөгүі (және кеңеюі) туралы деректер және кристалдық күйдегі жылу аккумуляциялаушы материалдарымен толтырылған герметикалық батарея құрылымдарында пайда болатын қысымды бағалау әдісі берілген. Жылу аккумуляциялаушы материалы бар құрылымдардың қалыпты жұмыс істеуі үшін онда қысымның жоғарылауын болдырмайтын жағдайларды жасау немесе жылу аккумуляциялаушы материалы бар құрылымдарын толтыру кезінде материалдың шөгүін ескеру қажет немесе балқу температурасы төмен жылу аккумуляциялаушы материалын пайдалану қажет екендігі анықталды.*

***Түйін сөздер:** қоршау конструкциялары, n-алкандар, жылуаккумуляциялаушы материалдар, шөгү, аккумулятордағы қысым, фазалық ауысу, сұйық парафин.*

**R.B. Kudabaev¹, I.O. Kasimov², R.A. Ristavletov¹,
E.N. Kalshabekova¹, M.A. Kambarov^{1,*}**

¹M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

²Tashkent University of Architecture and Construction, Tashkent, Uzbekistan

Information about the authors:

Kudabayev Ruslan Bakhtiyarovich – Doctoral student, Department of Construction and Building Materials, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3482-8423>, e-mail: kudabaev_81@mail.ru,

Kasimov Erkin Umaralievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Building Materials and Chemistry", Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0000-0003-4478-2457>, e-mail: qosimov-erkin@bk.ru

Ristavletov Raiymerdi Amanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction and Building Materials, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7106-6611>, e-mail: rar_1967@mail.ru,

Kalshabekova Elmira Nurlybaevna – Candidate of Technical Sciences, Department of Construction and Building Materials, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9941-688X>, e-mail: elmyra-56@mail.ru

Kambarov Medetbek Abildaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction and Building Materials, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-6397-1451>, medet_2030@mail.ru

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE EXPECTED PRESSURE IN NON-EXPANDING ACCUMULATING STRUCTURES

Abstract. *Shrinkage has a great influence on the operation of the heat accumulator design, therefore, when developing structures with heat storage materials, it becomes necessary to determine the pressure in a non-expanding (closed) storage structure from the compressibility coefficient of the material, which can be considered an operational characteristic of the material. The article presents data on shrinkage (and expansion) of the investigated heat-storage materials and a method for estimating the pressure that can develop in sealed battery structures completely filled with heat-storage materials in a crystalline state. It has been determined that, for the normal operation of structures with heat storage material, it is necessary either to create conditions in it that allow avoiding an increase in pressure, or when filling the structures of the accumulator of heat storage material, take into account the shrinkage of the material, or use heat storage material with melting temperatures lower than is required when working at atmospheric pressure. pressure.*

Keywords: *enclosing structure, n-alkanes, heat storage materials, shrinkage, pressure in the accumulator, phase transition, liquid paraffin.*