

УДК 691

doi: 10.53816/23061456_2025_9–10_119

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ЖАРОСТОЙКОГО ПЕНОБЕТОНА В КОНСТРУКЦИИ ГАЗОХОДА
СТАРТОВОГО СООРУЖЕНИЯ**

**TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE USE OF HEAT-RESISTANT FOAM
CONCRETE PRODUCTS IN THE CONSTRUCTION
OF THE LAUNCH FACILITY FLUE**

*Канд. техн. наук А.В. Мацкевич, канд. техн. наук Ф.Е. Ковалев,
канд. техн. наук С.С. Рябова, А.И. Шашков*

Ph.D. A.V. Matskevich, Ph.D. F.E. Kovalev, Ph.D. S.S. Ryabova, A.I. Shashkov

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В работе рассмотрена возможность повышения долговечности конструкции газохода стартового сооружения за счет разработанных технических решений применения изделий из жаростойкого пенобетона с заданными свойствами, закрепленных на огнеупорный клей. Предложено учесть разные знаки величины коэффициента температурного линейного расширения указанных материалов (КТЛР жаростойкого пенобетона — отрицательное значение; КТЛР огнеупорного клея — положительное значение) с целью повышения качества их совместной работы в конструкции газохода. Показан расчет их совместной работы с учетом КТЛР и без него. Установлено, что при учете разных знаков величины КТЛР предложенных материалов происходит наиболее рациональное их использование в конструкции газохода стартового сооружения. Расчет выполнен для трех вариантов размеров изделий: $600 \times 600 \times 100$, $800 \times 800 \times 100$, $1000 \times 1000 \times 1000$ мм.

Ключевые слова: жаростойкий пенобетон, огнеупорный клей, конструкция газохода, коэффициент температурного линейного расширения, совместная работа материалов.

The paper considers the possibility of increasing the durability of the launch facility flue structure due to the developed technical solutions for the use of heat-resistant foam concrete products with specified properties fixed on refractory glue. It is proposed to take into account the different signs of the coefficient of temperature linear expansion of these materials (CTLE of heat-resistant foam concrete is a negative value; CTLE of refractory glue is a positive value) in order to improve the quality of their joint work in the flue structure. The calculation of their joint work with and without CTLE is shown. It is established that when taking into account the different signs of the CTLE value of the proposed materials, their most rational use occurs in the design of the launch facility flue. The calculation is performed for three product sizes: $600 \times 600 \times 100$, $800 \times 800 \times 100$, $1000 \times 1000 \times 1000$ mm.

Keywords: heat-resistant foam concrete, refractory adhesive, flue structure, coefficient of temperature linear expansion, joint work of materials.

Введение

Актуальность исследования связана с возможностью применения жаростойкого пенобетона (ЖПБ) с заданными свойствами в конструкции газохода (ГХ) стартового сооружения (СС) в качестве облицовки вместо металлических листов. Результаты проведенных ранее исследований [1, 2] показали, что использование ЖПБ с заданными свойствами в конструкции ГХ СС будет способствовать снижению теплового воздействия на несущую конструкцию ГХ и позволит увеличить ее долговечность за счет повышенных теплозащитных свойств материала [3–5].

Отличительной физико-механической характеристикой ЖПБ является отрицательный коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР) при повышенных температурах (1000 °C (–6,52); 2000 °C (–18,3); 3000 °C (–19,0); 4000 °C (–22,07)). Этот показатель связан с характеристиками теплопроводности и теплоемкости. Он определяет изменение линейного размера материала при воздействии на него высокой или низкой температуры. КТЛР равен относительному удлинению 1 м материала при увеличении его температуры на 1 °C [6].

Настоящее исследование посвящено вопросу разработки технических решений с использованием изделий из ЖПБ в конструкции ГХ СС с целью увеличения ее долговечности.

Известно, что одной из причин отрыва металлических листов при воздействии газодинамической струи (ГДС) является наличие воздушной прослойки между листом металлооблицовки и бетонным основанием (рис. 1, а) [7, 8].

Такая воздушная прослойка необходима в связи с высоким положительным значением КТЛР металлооблицовки ($10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).

В качестве первого технического решения в работе предложено использовать изделия из ЖПБ, закрепленные на огнеупорный клей (ОгК), в конструкции ГХ СС вместо металлооблицовки. Это обеспечит большую поверхность контакта между материалами и позволит избежать воздушной прослойки между ними (рис. 1, б) [9].

В качестве второго технического решения в работе предложено подобрать такой состав конструкции облицовки ГХ СС, который повысит качество их совместной работы за счет различных знаков величины КТЛР предложенных материалов. Тогда при воздействии ГДС будет происходить одновременное сужение и расширение материалов конструкции облицовки (рис. 2), что уменьшит возникающие внутренние напряжения при нагреве и повысит ее долговечность.

Далее в работе производился выбор вяжущей основы для ОгК так, чтобы она обеспечивала получение положительного значения КТЛР. Этим требованиям удовлетворяет ОгК на алюмофосфатном связующем, который может применяться при температуре эксплуатации до 1600 °C. КТЛР такого клея составляет $4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при температуре от 20 до 9000 °C [10].

Кроме этого с целью обеспечения качественной совместной работы материалов в конструкции ГХ СС необходимо было определить оптимальный размер изделий из ЖПБ и толщину слоя ОгК. С точки зрения удобства монтажа было рассмотрено три варианта размеров изделий: 600×600×100, 800×800×100, 1000×1000×100 мм. Толщина ОгК принята равной 20 мм в соответствии его техническими условиями.

Далее в работе производился расчет совместной работы изделий из ЖПБ закрепленных на ОгК в конструкции ГХ СС. Такой расчет не-



Рис. 1. Варианты применения облицовки газохода: а — из металлооблицовки; б — из ЖПБ

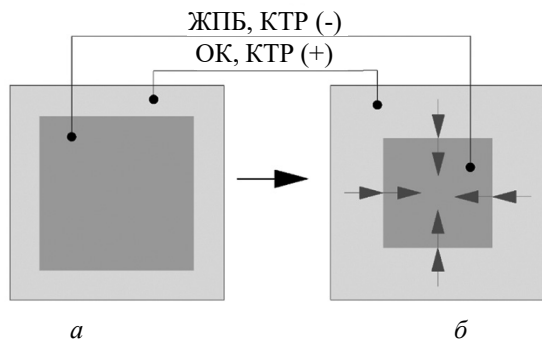


Рис. 2. Схема совместной работы ЖПБ и ОгК в конструкции ГХ СС: а — материалы до воздействия ГДС; б — расширение ОгК и одновременное сужение ЖПБ при воздействии ГДС

обходим для определения наиболее подходящего размера изделий с учетом различных знаков величины КТЛР этих материалов. Расчет выполнен для всех выбранных размеров изделий из ЖПБ с учетом значений КТЛР и без них.

Совместная работа материалов конструкции ГХ рассчитывалась на основе теории упругости с учетом отрицательного значения КТЛР ЖПБ и положительного значения КТЛР ОгК.

Поскольку в предложенном техническом решении изделия из ЖПБ со всех сторон окружено ОгК и составляет с ним единую конструкцию, деформации в такой конструкции будут одинаковы при силовых и температурных воздействиях от ГДС. При воздействии внешних нагрузок на ГХ СС внутренние усилия, возникающие в ОгК и ЖПБ, будут распределяться неравномерно за счет разных физико-механических характеристик материалов.

Для определения внутренних усилий в конструкции ГХ СС применен известный метод в сопротивлении материалов — «Метод сечений» (правило РОЗУ). Для определения возникающих усилий в ОгК и ЖПБ, необходимо выполнить поперечный разрез конструкции ГХ, отбросить одну из частей, заменить отброшенную часть внутренними усилиями в виде продольных сил (N) и уравновесить данную расчетную схему с учетом воздействия внешней нагрузки.

На рис. 3 показаны возникающие усилия в ОгК и ЖПБ.

В работе для расчета определения допускаемой нагрузки на конструкцию ГХ при воздействии ГДС были определены возникающие внутренние усилия. Применяя данный метод к

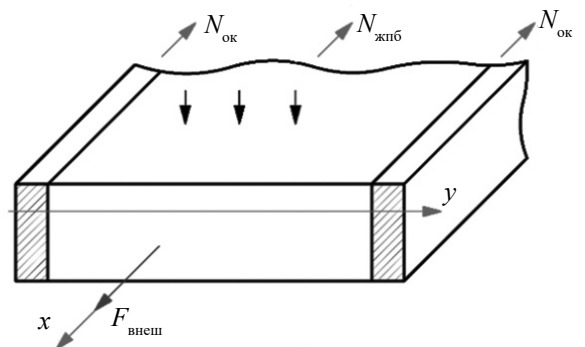


Рис. 3. Расчетная схема новой конструкции ГХ на основе ОгК и ЖПБ

новой конструкции ГХ на основе ОгК и ЖПБ, можно сказать, что действующая сила $F_{\text{внеш}}$ будет уравновешена двумя внутренними усилиями $N_{\text{ОгК}}$ и $N_{\text{ЖПБ}}$:

$$F_{\text{внеш}} = N_{\text{ОгК}} \cdot N_{\text{ЖПБ}}.$$

Учитывая разные значения КТЛР материалов, видно, что задача становится один раз статически неопределимой, с двумя неизвестными — $N_{\text{ОгК}}$ и $N_{\text{ЖПБ}}$.

С учетом совместной работы материалов в конструкции ГХ СС их деформация будет одинаковой, а следовательно, можно записать уравнение, выражающее геометрическую взаимосвязь между элементами:

$$\Delta l_{\text{ЖПБ}} = \Delta l_{\text{ОгК}};$$

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA}. \quad (1)$$

Применив известный закона Гука (1), связывающий усилия и деформации, получаем дополнительное уравнение, позволяющее раскрыть статистическую неопределимость и найти процентное соотношение между усилиями:

$$N_{\text{ЖПБ}} = N_{\text{ОгК}} \cdot \frac{E_{\text{ЖПБ}} \cdot A_{\text{ЖПБ}}}{E_{\text{ОгК}} \cdot A_{\text{ОгК}}}.$$

Из условия прочности при растяжении (сжатии) конструкций $\sigma_{\text{max}} = N / A \leq [\sigma]$ произведен расчет допускаемой нагрузки для ЖПБ $[F]_{\text{ЖПБ}}$ и ОгК $[F]_{\text{ОгК}}$.

При проектировании состава конструкции ГХ СС и с целью обеспечения ее прочности необходимо учитывать максимально допускаемую внутреннюю силу.

Таким образом, для решения поставленной задачи было составлено два уравнения, содержащих два неизвестных. В результате решения этих уравнений было найдено соотношение между распределением нагрузок на материалы в конструкции ГХ СС. Далее, для оценки совместной работы материалов в конструкции ГХ были найдены допускаемые напряжения для материалов.

Для оценки эффективности совместной работы материалов в работе было предложено использовать введенные коэффициенты их рационального использования

$$K_{\text{эф}} = \frac{[F]_{\text{ОгК}}}{[F]_{\text{ЖПБ}}}.$$

Принято, что при условии $K_{\text{эф}} = 1$ происходит наиболее рациональное использование материалов в конструкции ГХ СС.

В начале был выполнен расчет рационального использования материалов заданного размера без учета значений их КТЛР.

1. Произведен расчет для изделий из ЖПБ размером $600 \times 600 \times 100$ мм при различных температурах.

1.1. Исходные данные для расчета рационального использования материалов показаны в табл. 1.

1.2. Полученные значения $N'_{\text{ЖПБ}}$ и $N'_{\text{ОгК}}$ показаны в табл. 2.

1.3. Расчет допускаемой нагрузки для ЖПБ $[F]_{\text{ЖПБ}}'$ и $[F]_{\text{ОгК}}'$ показан в табл. 3.

2. Расчет для изделия из ЖПБ размером $800 \times 800 \times 100$ мм при различных температурах. Исходные данные для расчета рационального использования материалов показаны в табл. 4.

2.1. Полученные значения $N'_{\text{ЖПБ}}$ и $N'_{\text{ОгК}}$ показаны в табл. 5.

2.2. Расчет допускаемой нагрузки для ЖПБ $[F]_{\text{ЖПБ}}'$ и $[F]_{\text{ОгК}}'$ показан в табл. 6.

3. Расчет для изделия из ЖПБ размером $1000 \times 1000 \times 100$ мм при различных температурах. Исходные данные для расчета рационального использования материалов показаны в табл. 7.

3.1. Полученные значения $N'_{\text{ЖПБ}}$ и $N'_{\text{ОгК}}$ показаны в табл. 8.

3.2. Расчет допускаемой нагрузки для ЖПБ $[F]_{\text{ЖПБ}}'$ и $[F]_{\text{ОгК}}'$ показан в табл. 9.

Таблица 1

Исходные данные

$t, ^\circ\text{C}$	ЖПБ				ОгК			
	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс/см}^2$	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ОгК}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ОгК}}, \text{кгс/см}^2$
100	600	13890	8334000	20	40	2800	11200	30
200	600	9830	589000	18	40	2600	104000	28
300	600	5350	3210000	17	40	2400	96000	26
400	600	5350	3210000	15	40	2300	92000	24

Таблица 2

Значения $N'_{\text{ЖПБ}}$ и $N'_{\text{ОгК}}$

Соотношение между усилиями	Значение $N_{\text{ОгК}}$	Значение $N_{\text{ЖПБ}}$
$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 74N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{100} = 0,0133F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 0,987F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 56N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{200} = 0,0175F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 0,983F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 33N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{300} = 0,0294F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 0,970F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 35N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{400} = 0,0278F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 0,970F$

Таблица 3

Значения $[F]_{\text{ЖПБ}}^t$ и $[F]_{\text{ОрК}}^t$

$[F]_{\text{ОрК}}^t$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^t$	$K_{\text{эф}}$
$[F]_{\text{ОрК}}^{100} \leq \frac{1200}{0,0133} = 90226$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{100} \leq \frac{13200}{0,978} = 12158$	7,4
$[F]_{\text{ОрК}}^{200} \leq \frac{1200}{0,0175} = 64000$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{200} \leq \frac{10800}{0,983} = 10987$	5,8
$[F]_{\text{ОрК}}^{300} \leq \frac{1040}{0,0294} = 35374$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{300} \leq \frac{10200}{0,970} = 10515$	3,4
$[F]_{\text{ОрК}}^{400} \leq \frac{960}{0,0278} = 34532$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{400} \leq \frac{9000}{0,970} = 9278$	3,7

Таблица 4

Исходные данные

$t, ^\circ\text{C}$	ЖПБ				ОрК			
	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс/см}^2$	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ОрК}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ОрК}}, \text{кгс/см}^2$
100	800	13820	11112000	20	40	2800	11200	30
200	800	9830	7864000	18	40	2600	104000	28
300	800	5350	4280000	17	40	2400	96000	26
400	800	5350	4280000	15	40	2300	92000	24

Таблица 5

Значения $N_{\text{ЖПБ}}^t$ и $N_{\text{ОрК}}^t$

Соотношение между усилиями	Значение $N_{\text{ОрК}}$	Значение $N_{\text{ЖПБ}}$
$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 99 N_{\text{ОрК}}$	$N_{\text{ОрК}}^{100} = 0,01F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 0,990F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 75 N_{\text{ОрК}}$	$N_{\text{ОрК}}^{200} = 0,01316F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 0,983F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 44 N_{\text{ОрК}}$	$N_{\text{ОрК}}^{300} = 0,0222F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 0,978F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 46 N_{\text{ОрК}}$	$N_{\text{ОрК}}^{400} = 0,0212F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 0,979F$

Таблица 6

Значения $[F]_{\text{ЖПБ}}^t$ и $[F]_{\text{ОрК}}^t$

$[F]_{\text{ОрК}}^t$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^t$	$K_{\text{эф}}$
$[F]_{\text{ОрК}}^{100} \leq \frac{1200}{0,01} = 120000$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{100} \leq \frac{16000}{0,99} = 16160$	7,4
$[F]_{\text{ОрК}}^{200} \leq \frac{1120}{0,01316} = 85106$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{200} \leq \frac{14400}{0,983} = 14590$	5,8
$[F]_{\text{ОрК}}^{300} \leq \frac{1040}{0,0222} = 46846$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{300} \leq \frac{13600}{0,978} = 13906$	3,4
$[F]_{\text{ОрК}}^{400} \leq \frac{960}{0,0212} = 45283$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{400} \leq \frac{12000}{0,979} = 12257$	3,7

Таблица 7

Исходные данные

$t, ^\circ\text{C}$	ЖПБ				ОгК			
	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ЖПБ}}, \text{кгс/см}^2$	$A, \text{см}^2$	$E, \text{кгс/см}^2$	$C_{\text{ОгК}}, \text{кгс}$	$\sigma_{\text{ОгК}}, \text{кгс/см}^2$
100	1000	13890	13890000	20	40	2800	11200	30
200	1000	9830	9830000	18	40	2600	104000	28
300	1000	5350	5350000	17	40	2400	96000	26
400	1000	5350	5350000	15	40	2300	92000	24

Таблица 8

Значения $N'_{\text{ЖПБ}}$ и $N'_{\text{ОгК}}$

Соотношение между усилиями	Значение $N_{\text{ОгК}}$	Значение $N_{\text{ЖПБ}}$
$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 124 N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{100} = 0,0080F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{100} = 0,0992F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 95 N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{200} = 0,0104F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{200} = 0,9896F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 56 N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{300} = 0,0178F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{300} = 0,9820F$
$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 58 N_{\text{ОгК}}$	$N_{\text{ОгК}}^{400} = 0,0172F$	$N_{\text{ЖПБ}}^{400} = 0,9830F$

Таблица 9

Значения $[F]_{\text{ЖПБ}}'$ и $[F]_{\text{ОгК}}'$

$[F]_{\text{ОгК}}'$	$[F]_{\text{ЖПБ}}'$	$K_{\text{эф}}$
$[F]_{\text{ОгК}}^{100} \leq \frac{1200}{0,008} = 150000$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{100} \leq \frac{20000}{0,0992} = 20161$	7,4
$[F]_{\text{ОгК}}^{200} \leq \frac{1120}{0,0104} = 107692$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{200} \leq \frac{18000}{0,9896} = 18189$	5,8
$[F]_{\text{ОгК}}^{300} \leq \frac{1040}{0,0178} = 58427$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{300} \leq \frac{17000}{0,9820} = 17312$	3,4
$[F]_{\text{ОгК}}^{400} \leq \frac{960}{0,0172} = 55814$	$[F]_{\text{ЖПБ}}^{400} \leq \frac{15000}{0,9830} = 15259$	3,7

Таблица 10

Далее в работе был проведен расчет рационального использования материалов с учетом отрицательного значения КТЛР ЖПБ и положительного значения КТЛР ОгК (табл. 10) на основе исходных данных (табл. 1–9) по следующей формуле:

$$\delta^{\Delta t} = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A, \quad (5)$$

где α — значение КТЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;
 Δt — температура, $^\circ\text{C}$;
 E — модуль упругости, кгс/см^2 ;
 A — площадь, см^2 .

Значения КТЛР ЖПБ и ОгК при различных температурах

Температура, $^\circ\text{C}$	Значение КТЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	
	ЖПБ [3]	ОгК [5]
100	–6,52	4
200	–18,3	
300	–19	
400	–22,07	

Далее, в табл. 11 приведены сравнительные результаты расчета величины коэффициентов рационального использования материалов $K_{\text{эф}}$

Таблица 11

Величина коэффициентов рационального использования ($K_{эф}$) изделий из ЖПБ выбранных размеров

Т, °С	600×600×100		800×800×100		1000×1000×100	
	$K_{эф}$ (без учета КТЛР)	$K_{эф}$ (с учетом КТЛР)	$K_{эф}$ (без учета КТЛР)	$K_{эф}$ (с учетом КТЛР)	$K_{эф}$ (без учета КТЛР)	$K_{эф}$ (с учетом КТЛР)
100	7,4	2,77	7,4	2,77	7,4	2,77
200	5,8	1,03	5,8	1,03	5,8	1,03
300	3,4	0,77	3,4	0,77	3,4	0,77
400	3,7	0,59	3,7	0,59	3,7	0,59

для выбранных размеров изделий с учетом отрицательного значения КТЛР ЖПБ и положительного значения КТЛР ОгК.

Заключение

1. Установлено, что при учете отрицательного значения КТЛР ЖПБ и положительного значения КТЛР ОгК происходит наиболее рациональное использование материалов в конструкции ГХ СС ($K_{эф}$ наиболее близок к 1).

2. Коэффициент эффективного использования не зависит от геометрических размеров изделий из ЖПБ.

3. Полученные результаты подтверждают высказанные ранее предположения о влиянии отрицательного и положительного значения КТЛР применяемых материалов на их совместную работу в конструкции ГХ СС под воздействием ГДС, которая обладает силовым и температурным воздействием.

4. Применение разработанных технических решений позволит повысить долговечность конструкции ГХ СС за счет отсутствия воздушного зазора между изделиями из ЖПБ закрепленных на ОгК и учета отрицательного и положительного значений КТЛР предлагаемых материалов.

Список источников

1. Сычева А.М., Рябова С.С., Поспишенко В.И. Экспериментальное исследование жаростойкого пенобетона с целью применения в газоходах стартовых сооружений // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 11–12 (185–186). С. 149–155.

2. Гера В.И., Гула Д.Н., Котович В.Г. и др. Технические решения с применением жаростой-

кого пенобетона для конструкций газохода универсального стартового комплекса космического ракетного комплекса «Ангара» // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2022. № 681. С. 141–146.

3. Некрасов К.Д., Тарасова А.П. Жаростойкий бетон на портландцементе. М.: Стройиздат, 1969. 192 с.

4. Некрасов К.Д., Масленикова М.Г. Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1982. 152 с.

5. Жаростойкие пенобетоны: моногр. / В.А. Береговой [и др.]. Пенза: ПГУАС, 2007. 111 с.

6. Головчинский В.О., Каменев Ю.А., Рябова С.С. и др. Определение коэффициента температурного линейного расширения жаростойкого пенобетона для применения в конструкциях газохода стартовых сооружений // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2022. № 684. С. 334–341.

7. Ефимов М.П., Прокофьев Ю.В., Стешенко Р.В. и др. Универсальный стартовый комплекс «Ангара» 14П221 создание второй пусковой установки. М.: Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры «Научно-исследовательский институт стартовых комплексов им. В.П. Бармина», 2013. С. 110–112.

8. Пеньков М.М., Петров Г.Д., Птушкин А.И. Новые принципы построения системы эксплуатации космодромов // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 55–65.

9. Рябова С.С., Гула Д.Н. К вопросу применения энергопоглощающих материалов для повышения долговечности строительных конструкций газоходов стартовых комплексов Космических войск // Военный инженер. 2022. № 4 (26). С. 52–60.

10. Сычев М.М. Неорганические клеи. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Химия, 1986. 152 с.

Resources

1. Sycheva A.M., Ryabova S.S., Pospishenko V.I. Experimental study of heat-resistant foam concrete for use in flues of launch facilities // *Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism*. 2023. No 11–12 (185–186). Pp. 149–155.
2. Gera V.I., Gula D.N., Kotovich V.G. et al. Technical solutions using heat-resistant foam concrete for flue structures of the universal launch complex of the Angara space rocket complex // *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky*. 2022. No 681. Pp. 141–146.
3. Nekrasov K.D., Tarasova A.P. Heat-resistant concrete on Portland cement. Moscow: Stroyizdat, 1969. 192 p.
4. Nekrasov K.D., Maslenikova M.G. Light heat-resistant concretes on porous aggregates. Moscow: Stroyizdat, 1982. 152 p.
5. Heat-resistant foam concrete: monograph / V.A. Beregovoy [et al.]. Penza: PGUAS, 2007. 111 p.
6. Golovchinsky V.O., Kamenev Yu.A., Ryabova S.S. et al. Determination of the coefficient of temperature linear expansion of heat-resistant foam concrete for use in the structures of the flue launch facilities // *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky*. 2022. No 684. Pp. 334–341.
7. Efimov M.P., Prokofiev Yu.V., Steshenko R.V. et al. Angara universal launch complex 14P221 creation of a second launcher. Moscow: Center for the operation of ground-based space infrastructure facilities «Scientific Research Institute of Launch Complexes named after V.P. Barmin», 2013. Pp. 110–112.
8. Penkov M.M., Petrov G.D., Ptushkin A.I. New principles of building a system for the operation of cosmodromes // *Aerospace instrumentation*. 2015. No 4. Pp. 55–65.
9. Ryabova S.S., Gula D.N. On the issue of the use of energy-absorbing materials to increase the durability of building structures of flues of launch complexes of the Space Forces // *Military Engineer*. 2022. No 4 (26). Pp. 52–60.
10. Sychev M.M. Inorganic adhesives. 2nd ed., reprint. and additional. L.: Chemistry, 1986. 152 p.