

Самедов А.М., д.т.н., профессор
Сницарь М.А., аспирант
НТУУ «Киевский политехнический институт»

МНОГОСЛОЙНАЯ ТЕПЛО- И ГИДРОЗАЩИТА ОСНОВАНИЙ ИЗ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Предложена конструкция многослойной тепло- и гидрозащиты оснований, состоящих из набухающих глинистых грунтов (бентониты, монтмориллониты, каолиниты и сарматские глины) при увлажнении в гидротермальных условиях.

Взятые образцы из монтмориллонитовых глин испытаны в лабораторных условиях, и определены все технические характеристики при увлажнении водой $T=20^{\circ}\text{C}$ и $T=60^{\circ}\text{C}$. Выяснено, что источником гидротермального увлажнения является высокая температура, которая просачивается через фундаменты промышленных печей ($+300\dots+500^{\circ}\text{C}$ под подошвой фундамента), тепловых агрегатов ($+120\dots+180^{\circ}\text{C}$ под подошвой фундамента), теплотрассы ($+90\dots+96^{\circ}\text{C}$ под подошвой фундамента) и при длительном режиме работы этого оборудования проникает на большую глубину грунтового слоя (до 30 м и более); высокая температура нагревает грунтовую воду до кипения, в куполообразном виде поднимается в виде пара через капилляры грунта и просачивается в активную зону основания сооружения.

Ключевые слова: огнеупорный или жаростойкий бетон, сила сцепления, угол внутреннего трения, сила набухания, модуль деформации, гидротермальные условия.

Самедов А.М., д.т.н., профессор
Сніцар М.О., аспірант
НТУУ «Київський політехнічний інститут»

БАГАТОШАРОВИЙ ТЕПЛО- І ГІДРОЗАХИСТ ОСНОВ З НАБУХАЮЧИХ ҐРУНТІВ У ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ УМОВАХ

Запропоновано конструкцію багат шарового тепло- і гідро захисту основ, що складаються з набухаючих глинистих ґрунтів (бентоніти, монтморилоніти, каолініти і сарматські глини) при зволоженні в гідротермальних умовах.

Узяті зразки з монтморилонітових глин випробувано в лабораторних умовах і визначено всі технічні характеристики при зволоженні водою $T = 20^{\circ}\text{C}$ і $T = 60^{\circ}\text{C}$. З'ясовано, що джерелом гідротермального зволоження є висока температура, яка просочується через фундаменти промислових печей ($+300\dots+500^{\circ}\text{C}$ під підшовою фундаменту), теплових агрегатів ($+ 120\dots+180^{\circ}\text{C}$ під підшовою фундаменту), теплотраси ($+ 90\dots+96^{\circ}\text{C}$ під підшовою фундаменту) і при тривалому режимі роботи цього обладнання проникає на значну глибину ґрунтового шару (до 30 м і більше); висока температура нагріває ґрунтову воду до кипіння, у куполоподібному вигляді піднімається у вигляді пари через капіляри ґрунту і просочується в активну зону основи споруди.

Ключові слова: вогне- або жаротривкий бетон, сила зчеплення, кут внутрішнього тертя, сила набухання, модуль деформації, гідротермальні умови.

MULTILAYER HEAT- AND HYDROPROTECTION GROUNDS OF SWELLING SOIL UNDER HYDROTHERMAL CONDITIONS

The design of multi-layer and heat seal section bases consisting of swelling clay soil (bentonite, montmorillonite, kaolinite clay and Sarmatian) during moistening under hydrothermal conditions, is discussed in the article.

The samples of montmorillonite clay were tested in the laboratory. It was identified all specifications during moistening with water under the temperatures $T = 20^{\circ}\text{C}$ and $T = 60^{\circ}\text{C}$. The source of the hydrothermal hydration is temperature, which seeps through the foundation of industrial furnaces ($+300\dots+500^{\circ}\text{C}$ under the sole foundation), thermal units ($+120\dots+180^{\circ}\text{C}$ under the sole foundation), heating duct ($+90\dots+96^{\circ}\text{C}$ under foundation base). During prolonged operation of the equipment it penetrates to great depths of the soil layer (up to 30 m or more). High temperature warms the ground water to a boiling point. As a result, in the domed steam rises through the soil capillaries and invades «the active construction of the base of the zone» (the active zone is the distance from the foot of the basement to the bottom of the compressible strata NGST line).

Samples of montmorillonite clay were tested during moistening with water at temperatures $T=18\dots20^{\circ}\text{C}$ and $T=40\dots80^{\circ}\text{C}$ (the values at $T = 20^{\circ}\text{C}$ and $T = 60^{\circ}\text{C}$ are given in this paper). Thus, the swelling forces SF were obtained: at $T = 20^{\circ}\text{C}$; $SF = 1,52\text{ MPa}$, and at $T = 60^{\circ}\text{C}$; $SH = 1,98\text{ MPa}$. It can be seen that the swelling clay force SH , moistened with water at $T = 60^{\circ}\text{C}$, are higher than the swelling force, moistened with water $T = 20^{\circ}\text{C}$, in 1,3 times. Swelling force at $T = 60^{\circ}\text{C}$ is higher than the allowable pressure on the subsoil more than in 6 times, having a design pressure of about $R = 0,32\text{ MPa}$. Therefore, swelling force can deform any construction causing destruction.

The thickness of the montmorillonite clay in natural conditions was 5,4 m, and testing samples were taken at 3,6 m depth.

It should be noted that the swelling soils structures substrates during moistening with cold water $T = 18\dots20^{\circ}\text{C}$ and especially warm water, $T = 40\dots 80^{\circ}\text{C}$ and more are uneven (because of the inhomogeneity of ground, uneven wetting and drying). It is causing uneven deformation of the foundations and structures causing destruction.

It was obtained the change of technical parameters of swelling soils in the foundations facilities under hydrothermal conditions, which lead to the destruction of all buildings and structures.

The design of multi-layer and heat seal section bases witch consist of a swelling clay soil under the foundation of thermal plants or industrial furnaces, through which the high temperature seeps is proposed.

Keywords: *refractory or heat-resistant concrete, adhesive force, internal friction angle, the force of swelling, modulus, hydrothermal conditions and humidity.*

Введение. Фундаменты под промышленные печи, тепловые агрегаты и оборудование обычно изготавливаются из огнеупорного или жаростойкого бетона с огнеупорными заполнителями, выдерживающими температуру до $T=1380^{\circ}\text{C}$ и более на специальном вяжущем (высокоглиноземистом цементе – стойкость 1770°C и выше; глиноземистом цементе – 1580°C и выше; жидком стекле – 1380°C и выше, портландцементе – $900\div 1100^{\circ}\text{C}$). Известно, что с увеличением температуры нагрева уменьшается модуль деформации E , МПа, жаростойкого бетона, увеличивается коэффициент Пуассона μ и мера ползучести материалов δ , из которых изготовлены фундаменты под промышленные печи и тепловые сооружения.

Анализ последних источников, исследований и публикаций. Применительно к жароупорным бетонным и железобетонным конструкциям известны работы: В. И. Мурашова [8], С. В. Александровского [1], А. Ф. Милованова [7], К. Д. Некрасова [10], Г. В. Исаханова [4], Г. Н. Маслова [6], О. Е. Ольховика [5], А. П. Синицына [13], В. В. Федорова [14], Б. Е. Гейтвуда [2], И. А. Мотовильца [9] и др.

Развитию методов температурного поля и теплоотдачи однородных тел с цилиндрическими источниками тепла посвящены работы В. В. Жукова [3] и А. В. Путанса [11], которые, изучая прочность сцепления раствора с заполнителями из огнеупорных материалов, отметили, что повышение температуры даже до 200°C значительно влияет на прочность при растяжении образцов из жаропрочного раствора и зависит от вида породы заполнителей. Например, при заполнителе из диоритового песка при 200°C прочность на сцепление уменьшается на 87% по сравнению с прочностью при 20°C .

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Вышеперечисленные исследователи установили ряд важных особенностей тепло- и массопереноса в конструкциях, в том числе и фундаментах, изготовленных из огнеупорного (температура до 1580°C) и жаростойкого (температура до 1380°C) бетона во время эксплуатации промышленных печей и теплового оборудования.

Например, А. Ф. Милованов установил, что прочность при сжатии и изгибе жаростойкого бетона на вяжущем портландцементе при нагреве и увлажнении даже до $60^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$ снижается в течение суток на 20 – 40%, а при повторном нагреве и охлаждении она резко падает.

Однако диапазон температурных воздействий, проходящих через толщу фундамента под печными сооружениями на поверхность грунтовых оснований, эти ученые не изучили, и какие-либо данные об изменении свойств набухающих грунтов, составляющих массив, как основания сооружений при гидротермальных условиях отсутствуют.

Постановка задачи. Задача заключается в защите массива, состоящего из набухающих грунтов, как основания сооружения при гидротермальных увлажнениях водой $T = 18 - 20^{\circ}\text{C}$ и $T = 40 - 80^{\circ}\text{C}$ и более от разрушения.

Мы провели испытания на изменение технических параметров массивов, состоящих из набухающих грунтов, которые приведены в таблице 1.

Сила набухания S_n измерялась с помощью динамометра после увлажнения водой $T = 20^{\circ}\text{C}$ и $T = 60^{\circ}\text{C}$, которая имела значение при $T = 20^{\circ}\text{C}$ $S_n = 1,52$ МПа; при $T = 60^{\circ}\text{C}$ $S_n = 1,98$ МПа и водонасыщении $W = 18\% = \text{const}$ (табл. 1).

Эти данные показывают, что набухание глинистых грунтов непосредственно зависит от температуры воды. При увлажнении набухающих грунтов сила набухания S_n увеличивается настолько, что около шести раз превышает допустимую величину давления от сооружения (примерно 0,32 МПа) на основание. Поэтому необходимо принимать меры защиты основания из набухающих грунтов в условиях увлажнений, особенно в гидротермальных условиях.

**Таблица 1 – Технические характеристики
монтмориллонитовых глин при увлажнении**

Показатели	Обозначения	Ед.изм.	Технические характеристики		
			в природном состоянии	при увлажнении водой	
				T = 20°C	T = 60°C
- удельный вес частицы	γ_s	кН/м ³	27,2	27,2	27,2
- удельный вес	γ	кН/м ³	16,8	17,2	17,6
- удельный вес в сухом виде	γ_d	кН/м ³	13,6	13,64	13,68
- естественная влажность	W	доли ед.	0,0806	–	–
- влажность набухания	W _{sw}	доли ед.	–	0,18÷0,2	0,18÷0,2
- пористость	n	%	42	–	–
- коэффициент пористости	e ₀	-	0,72	0,96	1,16
- предел текучести	W _L	доли ед.	0,55	–	–
- предел раскатывания	W _p	доли ед.	0,16	–	–
- сила сцепления	C	МПа	2,5	0,312	0,136
- угол внутреннего трения	φ	град.	14° 30′	7° 12′	2° 30′
- модуль общей деформации	E ₀	МПа	40	5,22	3,42
- коэффициент жесткости массивов из набухающей монтмориллонитовой глины при K=K ₀ b ₀ , где b ₀ =1 п. м сооружений подошвы; K ₀ =2,4·10 ⁴ кН/м ³	K	кН/м ³	–	(2,0÷2,4)·10 ⁴	(2,7÷3,2)·10 ⁴
- пороговое давление набухания	P _{sw}	МПа	-	(0,48÷0,52)	(0,68÷0,76)
- относительное свободное набухание при уплотняющем давлении:					
- P = 0 МПа; W = 0,18	E _{sw}	-	-	(0,16÷0,18)	(0,24÷0,28)
- P = 0,2 МПа; W = 0,18	E _{sw}	-	-	(0,12÷0,13)	(0,14÷0,16)
- P = 0,6 МПа; W = 0,18	E _{sw}	-	-	(0,06÷0,07)	(0,09÷0,12)
- коэффициент Пуассона	μ_0	-	(0,28÷0,32)	(0,24÷0,26)	(0,20÷0,22)
- скорость набухания при P = 0	V _{sw}	м/сут	–	1,0·10 ⁻⁴	(1,4÷1,6)·10 ⁻⁴
- параметр набухания, описывающий траекторию поверхности	c	м ⁻¹	–	1,0·10 ⁻²	(1,1÷1,23)·10 ⁻²
- коэффициент фильтрации	k _f	м/сут	(2,3·10 ⁻⁹)	–	–
- сила набухания	S _n	МПа	-	(1,38÷1,52)	(1,71÷1,98)

Следует отметить, что общая величина набухания зависит не только от мощности (толщины) слоя набухающего грунта, но и от природной влажности грунтов W (чем меньше влажность, тем набухание больше при увлажнении), от начальной плотности ρ_0 , тс/м³ (возрастая почти линейно с увеличением плотности) и от величины внешнего (уплотняющего) давления P , МПа, значительно уменьшаясь с его увеличением. Зависимость величины относительного набухания ε_{sw} при действующем уплотняющем давлении $P = 0$ составляет свободное набухание ε_{sw} (образцы взяты с глубины $H = 3,6$ м): $\varepsilon_{sw} = 0,45 \div 0,48$; при $P = 0,5$ МПа $\varepsilon_{sw} = 0,26 \div 0,28$; при $P = 0,3$ МПа $\varepsilon_{sw} = 0,16 \div 0,18$.

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h' - h}{h}, \quad (1)$$

где h – высота образца грунта природного сложения и влажности, обжатого без возможности бокового расширения заданным давлением P , МПа;

h' – высота того же образца после замачивания $W = 18 \div 28\%$ при том же внешнем давлении P .

Реологические функции ползучести или относительное набухание зависит от функции уплотняющего давления $f(P)$ и от функции времени $\psi(t)$, тогда можно записать

$$\varepsilon_{sw}(P, t) = f(P)\psi(t). \quad (2)$$

Функция времени $\psi(t) = \alpha t^\beta$ зависит только от времени t и реологических параметров α и β . Эти параметры определяются испытанием набухающих грунтов при увлажнении. Например, по нашим исследованиям получены значения α и β при увлажнении $W = 18\% = \text{const}$ монтмориллонитовой глины при $T = 20^\circ\text{C}$, уплотняющем давлении $P = 0$, $\alpha = 38 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,46 \cdot 10^{-2}$; при этих же условиях, только при $T = 60^\circ\text{C}$, $\alpha = 34 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,52 \cdot 10^{-2}$; при $W = 18\% = \text{const}$, $P = 0,2$ МПа, $T = 20^\circ\text{C}$, $\alpha = 31 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,66 \cdot 10^{-2}$; при этих же условиях, только при $T = 60^\circ\text{C}$, $\alpha = 28 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,72 \cdot 10^{-2}$; при $W = 18\% = \text{const}$, $P = 0,6$ МПа, $T = 20^\circ\text{C}$, $\alpha = 22 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,84 \cdot 10^{-2}$; при $W = 18\% = \text{const}$, $P = 0,6$ МПа, $T = 60^\circ\text{C}$, $\alpha = 18 \cdot 10^{-4} \text{сут}^{-1}$; $\beta = 99,92 \cdot 10^{-2}$.

Как видно, температура воды резко влияет на изменение реологических параметров α и β при функции ползучести только времени $\psi(t) = \alpha t^\beta$.

Функция напряжений $f(P)$ при $\psi(t) = 0$ описывает изохронную кривую $P = f(\varepsilon_{sw})$ для мгновенной деформации при $t = 0$.

Основной материал и результаты. Наши исследования показали, что в зависимости от теплового режима работы и качества теплоизоляции под подошвой фундаментов промышленных печей может возникать температура от 100 до 500°C, которая, проходя через толщу грунтового основания на большую глубину (до 30 м и более), при непрерывном режиме работы этих сооружений может нагревать грунтовую воду до кипения и резко изменять (уменьшать) прочностные параметры: силу сцепления S , МПа, и угол внутреннего трения ϕ , град; модуль общей деформации E_0 , МПа, и увеличивать силу набухания S_n в случаях, когда основание сооружений состоит из набухающих глинистых грунтов. Поэтому необходимо принимать меры защиты массивов как оснований сооружений, состоящих из набухающих грунтов. Такие меры можно рекомендовать в виде конструкции из «многослойной защиты», показанной на рис.1. Для такой конструкции можно использовать металлургические шлаки или керамзитовый гравий крупностью 10÷70мм.

В случае отсутствия металлургических шлаков при изготовлении «многослойной тепло- и гидрозащиты» конструкции можно применять керамзитовый гравий с сохранением размеров гранул на каждом слое.

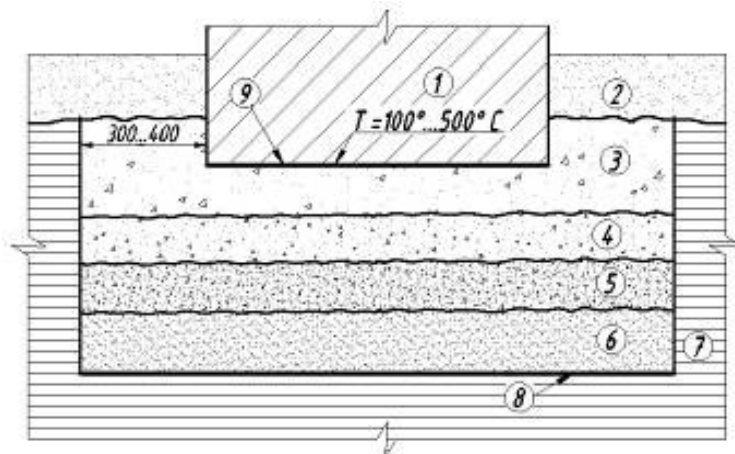


Рисунок 1 – Конструкция «многослойной защиты» основания из набухающих глинистых грунтов под фундаментами промышленных печей в гидротермальных условиях увлажнения:

- 1 – фундаменты из огнеупорного или жаростойкого бетона;
- 2 – верхний слой из песка средней крупности;
- 3 – слой из металлургических шлаков крупностью 40 – 70 мм – 120 мм;
- 4 – слой из металлургических шлаков крупностью 20 – 40 мм – 100 мм;
- 5 – слой из металлургических шлаков крупностью 10 – 20 мм – 100 мм;
- 6 – слой из крупного песка с диаметром частиц $>0,5$ мм – 100 – 190 мм;
- 7 – слой из набухающего глинистого грунта;
- 8 – гидроизоляция из толи или рубероида – два слоя;
- 9 – днище (подошва) фундамента, который передает тепло на грунтовое основание

Изменение параметров набухающих грунтов покажем на примере по полученным экспериментальным данным.

Пример. Допустим, массив как основание под тепловыми сооружениями состоит из монтмориллонитовой набухающей глины и подвергается гидротермальным воздействиям от проходящей температуры через фундамент из жаростойкого бетона. Под подошвой фундамента на поверхности основания из набухающих грунтов действует температура $T = 300^{\circ}\text{C}$, которая нагревает на определенной глубине грунтовую воду до температуры $T = 60\div 80^{\circ}\text{C}$ и более и приводит к набуханию грунтов.

Технические характеристики набухающей монтмориллонитовой глины при гидротермальных увлажнениях приведены в табл. 1.

Выводы:

1. Фундаменты промышленных печей и теплового оборудования изготавливают из огнеупорного или жаростойкого бетона на специальных вяжущих и огнеупорных заполнителях. Однако из-за слабой теплоизоляции они пропускают через тело фундамента высокую температуру, в результате чего под его подошвой и на поверхности основания возникает высокая температура ($100\div 500^{\circ}\text{C}$). Она проходит через слои грунтового основания на большую глубину (до 30 м и более), нагревая грунтовую воду до кипения, в куполообразном виде поднимается в виде пара через капилляры грунта и просачивается в активную зону основания сооружения.

2. В случае увлажнения набухающие грунты резко изменяют свои свойства и набухают, увеличивая объем примерно до 100%. Сила сцепления C уменьшается приблизительно в 8 – 18 раз, а угол внутреннего трения φ – в 2 – 6 раз.

3. Набухающие силы S_n при увлажнении водой $T = 60^\circ\text{C}$ в 1,3 раза превышают набухающие силы при увлажнении водой $T = 20^\circ\text{C}$. Силы набухания при $T = 60^\circ\text{C}$ более чем в 6 раз больше, чем допустимое давление на грунтовое основание, имеющее примерно расчетное давление $R = 0,32$ МПа. Поэтому силы набухания могут деформировать любые сооружения до разрушения.

4. Предложены эффективные меры защиты оснований сооружений, состоящих из набухающих грунтов, при возможном увлажнении холодной и горячей водой и от просачивания высокой температуры через фундаменты промышленных печей и тепловых агрегатов.

Литература

1. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести) / С. В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1966. – 176 с.
2. Гейтвуд Б. Е. Температурные напряжения / Б. Е. Гейтвуд. – М.: ИЛ, 1959. – 349 с.
3. Жуков В. В. Влияние технологических факторов на внутренние напряжения в бетонных блоках / В. В. Жуков, В. И. Шевченко // Труды Волгоградского института инженеров городского хозяйства. – Волгоград: Главнижневолжстрой, 1969. – С. 132 – 138.
4. Исаханов Г. В. Прочность неметаллических материалов при неравномерном нагреве / Г. В. Исаханов // Институт проблем прочности АН УССР. – К.: Наукова думка, 1971. – С. 173 – 176.
5. Ольховик О. Е. О температурно-временной аналогии при объемной ползучести некоторых жестких полимеров / О. Е. Ольховик, А. Я. Гольдман, Е. С. Григорян // Механика полимеров. – 1974. – Вып. 5. – С. 930 – 934.
6. Маслов Г. А. Элементарные статические расчеты сооружений на температурные изменения / Г. А. Маслов // Известия ЛН СССР. – 1940. – Т. 26. – С. 18 – 26.
7. Милованов А. Ф. Прочность бетона при нагреве / А. Ф. Милованов. – М.: Госстрой СССР, НИИЖБ, Стройиздат, 1972. – С. 6 – 18.
8. Мурашев В. И. Принципы расчета и проектирования фундаментов доменных печей / В. И. Мурашев, Я. М. Немировский // Исследования по жароупорным бетону и железобетону. – М.: Госстройиздат, 1954. – С. 70 – 84.
9. Мотовилец И. А. Механика связанных полей в элементах конструкций / И. А. Мотовилец, В. И. Козлов // Институт механики АН УССР. – К.: Наукова думка, 1987. – Т.1. – 263 с.
10. Некрасов К. Д. Жароупорный бетон / К. Д. Некрасов. – М.: Промстройиздат, 1957. – 180 с.
11. Путанс А. В. Усадка и ползучесть бетона при циклическом нагревании и охлаждении / А. В. Путанс // Исследования по бетону и железобетону. – Рига, Изд-во АН Латв.ССР, 1963. – С. 46 – 56.
12. Самедов А. М. Деформирование и разрушение конструкций при термосиловых воздействиях / А. М. Самедов. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
13. Сеницын А. П. Расчет конструкций на тепловой удар / А. П. Сеницын. – М.: Стройиздат, 1971. – 231 с.
14. Федоров В. В. Термодинамические представления о прочности и разрушении твердого тела / В. В. Федоров // Проблемы прочности. – 1971. – № 3. – С. 32 – 34.

References

1. Aleksandrovskiy S. V. Raschet betonnyh i zhelezobetonnyh konstruksiy na temperaturnye i vlazhnostnye vozdeystviya (s uchetom polzuchesti) / S. V. Aleksandrovskiy. – M.: Stroyizdat, 1966. – 176 s.
2. Geytvud B. E. Temperaturnye napryazheniya / B. E. Geytvud. – M.: IL, 1959. – 349 s.
3. Zhukov V. V. Vliyanie tehnologicheskikh faktorov na vnutrennie napryazheniya v betonnyh bloках / V. V. Zhukov, V. I. Shevchenko // Trudy Volgogradskogo instituta inzhenerov gorodskogo hozyaystva. – Volgograd: Glavnizhnevzhstroy, 1969. – S. 132 – 138.

4. Isahanov G. V. *Prochnost nemetallicheskih materialov pri neravnomernom nagreve* / G. V. Isahanov // *Institut problem prochnosti AN USSR*. – K. : Naukova dumka, 1971. – S. 173 – 176.
5. Olhovich O. E. *O temperaturno-vremennoy analogii pri obemnoy polzuchesti nekotorykh zhestkiykh polimerov* / O. E. Olhovich, A. Ya. Goldman, E. S. Grigoryan // *Mehanika polimerov*. – 1974. – Vyp. 5. – S. 930 – 934.
6. Maslov G. A. *Elementarnye staticheskie raschety sooruzheniy na temperaturnye izmeneniya* / G. A. Maslov // *Izvestiya LN SSSR*. – 1940. – T. 26. – S. 18 – 26.
7. Milovanov A. F. *Prochnost betona pri nagreve* / A. F. Milovanov. – M. : Gosstroy SSSR, NIIZhB, Stroyizdat, 1972. – S. 6 – 18.
8. Murashev V. I. *Printsipy rascheta i proektirovaniya fundamentov domennykh pechey* / V. I. Murashev, Ya. M. Nemirovskiy // *Issledovaniya po zharoupornym betonu i zhelezobetonu*. – M. : Gosstroyizdat, 1954. – S. 70 – 84.
9. Motovilets I. A. *Mehanika svyazannykh poley v elementakh konstruksiy* / I. A. Motovilets, V. I. Kozlov // *Institut mehaniki AN USSR*. – K. : Naukova dumka, 1987. – T.1. – 263 s.
10. Nekrasov K. D. *Zharoupornyy beton* / K. D. Nekrasov. – M. : Promstroyizdat, 1957. – 180 s.
11. Putans A. V. *Usadka i polzuchest betona pri tsiklicheskom nagrevanii i ohlazhdenii* / A. V. Putans // *Issledovaniya po betonu i zhelezobetonu*. – Riga, Izd-vo AN Latv.SSR, 1963. – S. 46 – 56.
12. Samedov A. M. *Deformirovanie i razrushenie konstruksiy pri termosilovykh vozdeystviyah* / A. M. Samedov. – M. : Stroyizdat, 1989. – 432 s.
13. Sinitsyn A. P. *Raschet konstruksiy na teplovoy udar* / A. P. Sinitsyn. – M. : Stroyizdat, 1971. – 231 s.
14. Fedorov V. V. *Termodinamicheskie predstavleniya o prochnosti i razrushenii tverdogo tela* / V. V. Fedorov // *Problemy prochnosti*. – 1971. – № 3. – S. 32 – 34.

© Самедов А.М., Сницарь М.А.
Надійшла до редакції 25.03.2016