

УДК 693.547.34

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-7-20](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-7-20)

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСТРУЗИОННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПЕНОПЛЭКС ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ МЕТОДОМ ТЕРМОСА

А.Г. АЛЕКСЕЕВ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук

А.А. ЗВЕЗДОВ<sup>1</sup>

Д.В. ОХАПКИН<sup>1,2,✉</sup>

Я.Э. БЕГИЧ<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский пр., д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

<sup>3</sup>ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб», Саперный пер., д. 1, литер «А», г. Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация

<sup>4</sup>Инженерно-строительный институт ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ул. Политехническая, д. 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** В статье представлены результаты исследовательской работы по изучению возможности применения экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС в опалубочных системах при зимнем бетонировании методом термоса.

**Цель.** Исследование производилось с целью разработки опалубочной системы с применением экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС для сокращения сроков твердения бетона до необходимой прочности и снижения затрат электроэнергии при комбинировании метода термоса с электропрогревом при зимнем бетонировании.

**Материалы и методы.** Для решения поставленной цели выполнен анализ действующих нормативной и методической баз, затрагивающих вопрос исследования. Разработана специальная программа экспериментальных исследований и проведены испытания по определению прочности полученных образцов бетона, выполненных по различным схемам теплоизоляции опалубочной системы без использования электропрогрева бетона и с использованием электропрогрева бетона с фиксацией энергопотребления. Выполненные работы позволяют делать выводы об эффективности применения экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС в универсальных опалубочных системах для зимнего бетонирования методом термоса.

**Результаты.** Выявлено, что наибольшую эффективность при зимнем бетонировании методом термоса в сравнении с разработанными схемами имеет сплошная теплоизоляция из экструзионного пенополистирола. При использовании электропрогрева схема со сплошным утеплением в зависимости от времени выдержки бетона дает экономию энергоресурсов в 3,5–5,5 раза выше, в отличие от схемы без использования экструзионного пенополистирола в качестве теплоизоляции. Испытания по определению прочности бетона показали, что уже на вторые сутки удается получить прочность бетона на сжатие требуемой для снятия опалубки.

**Выводы.** По результатам исследования установлено, что использование плит из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС в опалубочной системе со сплошной теплоизоляцией при бетонировании в зимних

условиях методом термоса позволяет сократить сроки твердения бетона до необходимой прочности, а также снизить энергозатраты на электропрогрев при комбинировании методов зимнего бетонирования.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, метод термоса, экструзионный пенополистирол, ПЕНОПЛЭКС, бетон, железобетон

**Для цитирования:** Алексеев А.Г., Звездов А.А., Охупкин Д.В., Бегич Я.Э. Эффективность применения экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС при зимнем бетонировании методом термоса // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. Т. 32. № 1. С. 7–20. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-7-20](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-7-20)

#### **Вклад авторов**

Алексеев А.Г. – общее руководство, редакция.

Звездов А.А. – ответственный исполнитель, постановка цели и задач исследования.

Охупкин Д.В. – проведение экспериментальных исследований.

Бегич Я.Э. – представитель заказчика, участие при проведении экспериментального исследования.

#### **Финансирование**

Исследование выполнено по заказу ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб».

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## **APPLICATION EFFICIENCY OF THE PENOPLEX EXTRUDED POLYSTYRENE FOAM DURING WINTER CONCRETING BY THE WARM CURING METHOD**

A.G. ALEKSEEV<sup>1,2</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

A.A. ZVEZDOV<sup>1</sup>

D.V. OKHAPKIN<sup>1,2✉</sup>

Y.E. BEGICH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazan Ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

<sup>3</sup> LLC PENOPLEX SPb, Saperny per., 1A, Saint-Petersburg, 191014, Russian Federation

<sup>4</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Polytechnicheskaya str., 29, 195251, Saint-Petersburg, Russian Federation

#### **Abstract**

*Introduction.* The article presents the results of research into the possibility of using PENOPLEX extruded polystyrene foam in formwork systems during winter concreting by the warm curing method.

*Aim.* The study is aimed at the development of the formwork system applying the PENOPLEX extruded polystyrene foam for shortening the periods of concrete hardening to the necessary strength and reducing the electric power costs during the combination of the warm curing with electrical heating in the winter concreting.

*Methods and materials.* The analysis of the acting regulatory and methodical bases, concerning the studied issue, was carried out for solving the stated goals. A special program of experimental studies was developed and tests were carried out to determine the strength of the obtained samples of concrete made according to various schemes of thermal insulating the formwork system both with and without using the concrete

electric heating under fixed energy consumption. The performed works promote for the conclusions about the effectiveness of the extruded polystyrene application in the universal formwork systems during the winter concreting by the warm curing method.

*Results.* In the comparison with the developed schemes, the continuous thermal insulation of the extruded polystyrene foam was revealed to have the greatest effectiveness during the winter concreting by the warm curing method. Depending on the concrete holding time, the continuous thermal insulation scheme under electric heating saves energy resources 3.5–5.5 times efficiently in contrast to the scheme without using the extruded polystyrene foam in terms of the insulation. Concrete strength tests demonstrated that the concrete compressive strength required for removing the formwork can be obtained on the second day already.

*Conclusions.* According to the results of the study, the use of the PENOPLEX extruded polystyrene foam plates in the formwork system with the continuous heat insulation during the winter concreting by the warm curing method reduces the periods of concrete hardening to the necessary strength and decreases power consumption for the electrical heating in the combination of winter concreting methods.

**Keywords:** winter concreting, warm curing, extruded polystyrene foam, PENOPLEX, concrete, reinforced concrete

**For citation:** Alekseev A.G., Zvezdov A.A., Okhapkin D.V., Begich Y.E. Application efficiency of the PENOPLEX extruded polystyrene foam during winter concreting by the warm curing method. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022. Vol. 32. No. 1. P. 7–20 (In Russ.). doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-7-20](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-7-20)

#### **Author contribution statements**

Alekseev A.G. – general management, editing.

Zvezdov A.A. – responsible executor, setting the goals and objectives of the study.

Okhapkin D.V. – conducting experimental research.

Begich Y.E. – customer representative, participation in the experimental research.

#### **Funding**

The study was performed by the order of the “PENOPLEX SPb” LLC.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## **Введение**

Непрерывное увеличение объема монолитного строительства в особенности на Севере и Дальнем Востоке России, где зимний период длится более 6 месяцев, а температура наружного воздуха снижается до  $-60$  °C и ниже, вызывает необходимость обеспечения надлежащих условий для твердения бетона.

За последнее время количество новой информации, затрагивающей вопросы зимнего бетонирования, существенно уменьшилось. Качественное развитие опалубочных систем, теплоизоляционных материалов, способов формирования бетонной смеси и ее состава, а также приборов для измерения температуры, позволяют расширить имеющийся опыт в технологии зимнего бетонирования [1].

Одним из экономичных способов зимнего бетонирования является метод термоса. Метод термоса основан на использовании экзотермического тепла, выделяемого цементом в процессе твердения бетона [2–5].

В настоящее время при многообразии методов тепловой обработки перед производителем работ стоит вопрос рациональности применения одного из методов или их сочетания, например метод термоса с электропрогревом [6–8].

В рамках представленной работы рассматривается возможность применения материала ПЕНОПЛЭКС в опалубочных системах при зимнем бетонировании в различных условиях производства работ при отрицательной температуре для сохранения тепла в конструкции в период прогрева.

## Цель

Целью настоящей работы являлось определение эффективности и целесообразности применения метода термоса с использованием экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС при зимнем бетонировании. Также исследование проводилось с целью разработки опалубочной системы с применением материала ПЕНОПЛЭКС, задача которой заключается в сокращении сроков твердения бетона и экономии электроэнергии при комбинировании метода термоса с электропрогревом в условиях зимнего бетонирования.

## Материалы и методы

Для проведения исследований разработан стенд на основе универсальной опалубочной системы для бетонирования колонн, сечением  $400 \times 400$  мм и стационарной морозильной камеры с возможностью поддерживать низкую отрицательную температуру воздуха до  $-20$  °С с точностью  $\pm 0,5$  °С.

Кроме стационарного термометра морозильная камера дополнительно оснащалась «термокосами» – системой высокоточных температурных датчиков, подключенных к компьютеру, с возможностью опроса данных с частотой 1 секунда. На каждую колонну приходилось по две термокосы, располагаемые по центру и ближе к углу колонны (см. рис. 1), каждая из которых оснащалась четырьмя датчиками. Подключенные к компьютеру, датчики позволяли в режиме реального времени следить и анализировать температуру формирования и твердения бетонной смеси.

Лабораторные исследования разделены на 2 этапа.

### *Этап 1*

Для испытаний принят класс бетона В25, а также морозостойкая добавка Sika Antifreeze FS-1, состав бетона представлен в табл. 1.

Для этапа 1 принято два типа универсальных опалубочных систем (рис. 1):

- 1) со сплошной изоляцией из экструзионного пенополистирола, теплоизоляция крепились с внутренней стороны опалубки, также изолировалось дно и формировалась крышка (СО);
- 2) без теплоизоляции (БО).

Бетонирование колонн выполнялось ручным способом с формированием бетонной смеси в электрическом бетоносмесителе. Бетонирование колонн проводилось послойно с применением глубинного вибратора. По завершении формирования бетонной смеси фиксировались дата, время и исходная температура смеси, и опалубка закрывалась крышкой, через которую пропускались концы термокос для обеспечения минимальных теплопотерь.

Для этапа 1 выполнено бетонирование 4 колонн по 2 колонны каждого типа. Первые две колонны каждого типа выдерживались трое суток для последующего вскрытия опалубки и отбора образцов для определения прочности бетона. Вторая пара колонн вскрывалась на седьмые сутки для отбора образцов, далее колонны перемещали на стационарное хранение при той же температуре, что и при испытаниях и хранились до истечения 28 суток, после

Таблица 1

Состав бетона В25

Table 1

B25 concrete composition

Класс	Водоцементное соотношение (В/Ц)	Расход компонентов на приготовление 1м <sup>3</sup> раствора				Добавка морозостойкая, кг
		вода, л	песок, кг	щебень, кг	цемент, кг	
B25	1,94	175	651	1250	340	6,8

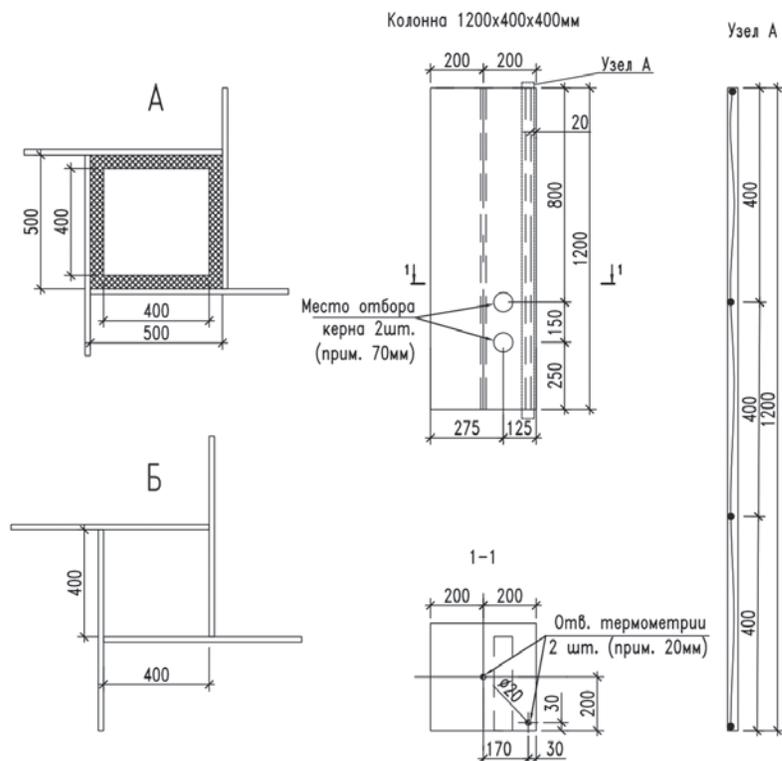


Рис. 1. Модель колонны с опалубочной системой на этапе 1:

А – схема колонны в опалубочной системе при сплошной изоляции (утеплитель крепится с внутренней стороны опалубочной системы); Б – схема колонны в опалубочной системе без изоляции

Fig. 1. Model of the column with the formwork system in the stage 1: А – scheme of the column in the formwork system with continuous insulation (the insulation is attached inside of the formwork system); Б – scheme of the column in the formwork system without insulation

чего из колонн повторно отбирались образцы для контрольного определения прочности и получения прочности  $R_{28}$ .

По завершении необходимой выдержки бетонной смеси производилось вскрытие и снятие опалубки для последующего отбора образцов бетона (рис. 2).

Образцы для определения прочности бетона отбирались из колонн электрическим сверлильным пробоборником.



**Рис. 2.** Общий вид колонны без экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС на этапе 1  
**Fig. 2.** General view of the column without the PENOPLEX extruded polystyrene foam in the stage 1

гопотребления и армированием, а также, в соответствии с Руководством по прогреву бетона в монолитных конструкциях [9], температурный режим твердения бетона во время проведения всех экспериментов выбран и поддерживался в диапазоне  $+35-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Армирование необходимо для обеспечения прогрева бетонной смеси. Температура окружающего воздуха во время испытаний  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для этапа 2 принято два типа универсальных опалубочных систем (рис. 3):

- со сплошной изоляцией из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС, теплоизоляция крепится с внутренней стороны опалубки, также изолируется дно и формируется крышка (СО);
- без теплоизоляции (БО).

Процесс подготовки системы электропрогрева осуществлялся следующим образом:

После непрерывной навивки провода (ПНСВ) с инвентарного барабана через расчетное количество петель (оборотов) делались выводы провода. Провод крепился к арматуре мягкой вязальной проволокой, чтобы сохранить электроизоляцию и несмещаемость. Перед установкой опалубки (бетонированием) провод проверялся мультиметром на отсутствие короткого замыкания.

Контроль за режимом электропрогрева бетона производился с помощью пирометров и датчиков температуры, устанавливаемых в бетонную смесь. Датчики температуры позволяли автоматически регулировать режим электропрогрева бетона.

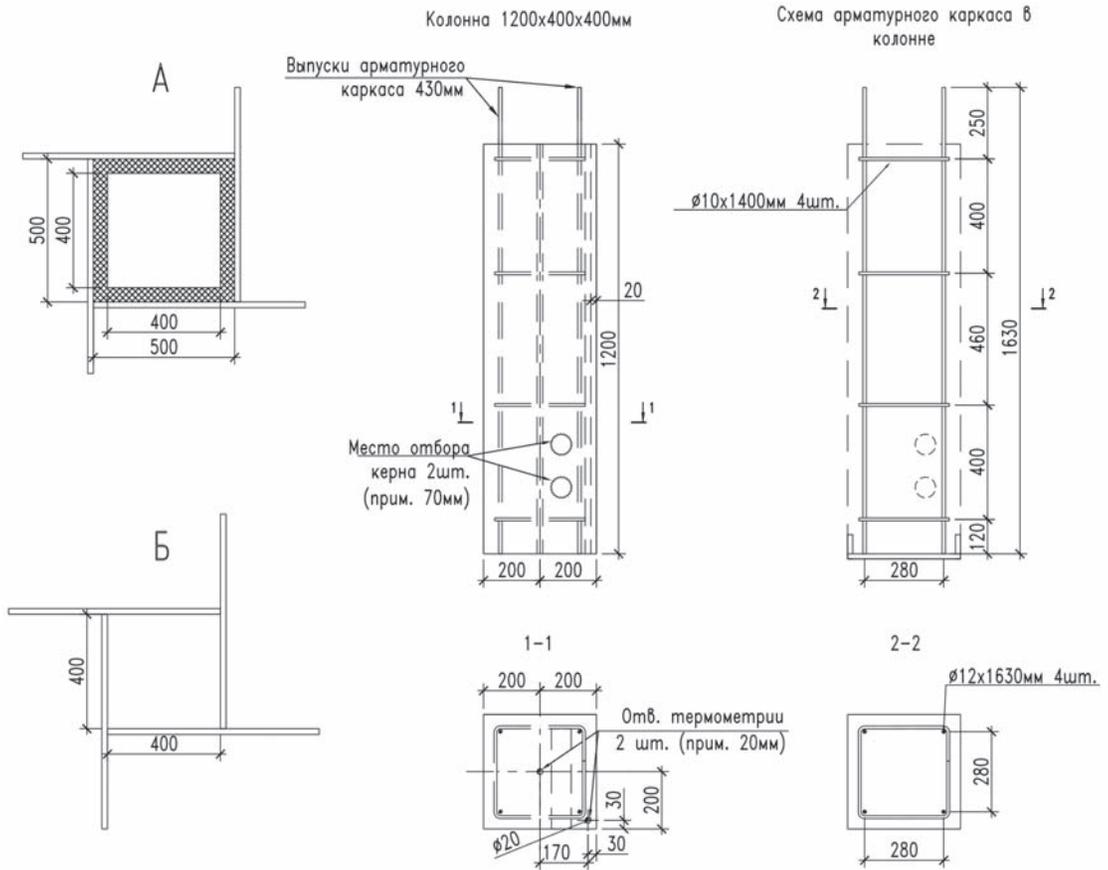
До проведения испытаний по определению прочности бетона из конструкции керны хранились при отрицательной температуре, в соответствии с температурой окружающего воздуха, принятой при испытаниях ( $-5$  и  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с целью исключить размораживание образцов и их последующий набор прочности.

Далее керны обрабатывались и распиливались на цилиндры. Грани цилиндров шлифовались с целью передачи равномерного сжимающего усилия без эксцентриситета. Температура образцов при определении прочности бетона поддерживалась в соответствии с температурой окружающего воздуха принятой при испытаниях ( $-5$  и  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### *Этап 2*

Состав бетона аналогичен этапу 1 (см. табл. 1).

Этап 2 выполнялся с учетом дополнительных требований, а именно с дальнейшим определением прочности бетона возрастом 2, 3 и 5 суток. С прогревом, фиксацией энер-



**Рис. 3.** Модель колонны с опалубочной системой на этапе 2:

А – схема колонны в опалубочной системе при сплошной изоляции (утеплитель крепится с внутренней стороны опалубочной системы), Б – схема колонны в опалубочной системе без изоляции

**Fig. 3.** Model of the column with the formwork system in the stage 2: A – scheme of the column in the formwork system with continuous insulation (the insulation is attached inside of the formwork system); Б – scheme of the column in the formwork system without insulation

В бетонную смесь между проводами монтировался пенал из тонкостенной трубки. Датчики температуры устанавливали в пенал и подключали к программному комплексу для фиксации температурного режима. Контроль за электропотреблением производился с помощью электрических ваттметров.

Бетонирование колонн на этапе 2 выполнялось аналогично этапу 1 – ручным способом.

Для этапа 2 выполнено бетонирование шести колонн по три колонны каждого типа. Первые две колонны, по одной каждого типа, выдерживались двое суток для последующего вскрытия опалубки и отбора образцов для определения прочности бетона. Вторая пара колонн вскрывалась на третьи сутки. Третья пара колонн вскрывалась на пятые сутки.

По завершении необходимой выдержки бетонной смеси производилось вскрытие и снятие опалубки для последующего отбора образцов (кернов).

До проведения испытаний по определению прочности бетона из конструкции керны, аналогично этапу 1, хранились при отрицательной температуре, в соответствии

с температурой окружающего воздуха, принятой при испытаниях ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с целью исключить размораживание образцов и их последующий набор прочности. Далее, аналогично этапу 1, образцы распиливались на цилиндры и определялась их прочность при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Результаты

Результаты определения прочности бетона показали, что при использовании опалубочной системы со сплошным слоем теплоизоляции (СО) из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС, бетон набрал достаточную прочность на сжатие для снятия опалубки, в отличие от бетона с опалубочной системой без теплоизоляции (БО). В обоих случаях бетон в опалубочной системе без теплоизоляции (БО) замерз и показал критически низкую прочность на сжатие. Результаты определения прочности бетона на этапе 1 представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты испытаний на этапе 1

Table 2

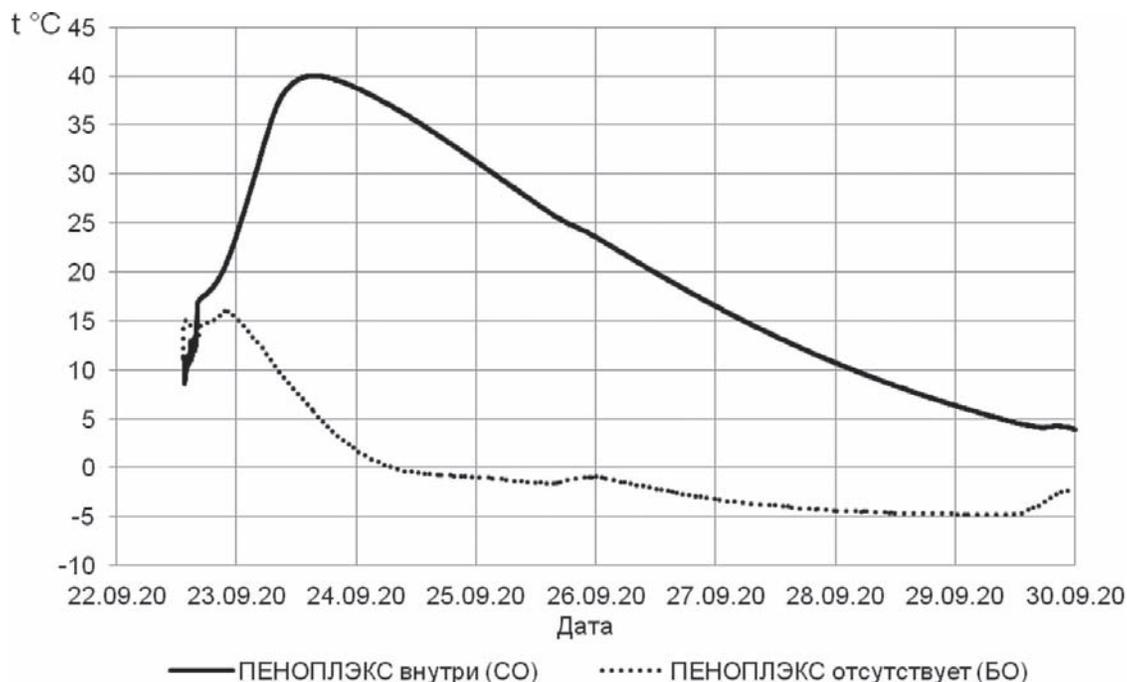
#### Stage 1 test results

№ п/п	Выдержка, сутки	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Опалубочная система	Средняя прочность, МПа
1.1	3	-5	БО	-
1.2			СО	12,3
1.3		-20	БО	2,3
1.4			СО	15,4
1.5	7	-5	БО	-
1.6			СО	18,5
1.7		-20	БО	1,7
1.8			СО	15,5
1.9	28	-5	БО	10,9
1.10			СО	24,5
1.11		-20	БО	19,5
1.12			СО	25,8

После окончания лабораторных испытаний на этапе 1 производилась обработка и анализ данных термометрии, полученных при формировании и твердении бетонной смеси.

Результаты термометрии показывают, что использование в качестве материала теплоизоляции плит из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС в зимнем бетонировании методом термоса позволяют достичь температуры бетона до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  уже на вторые сутки при температуре окружающего воздуха  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после чего отмечено плавное снижение температуры тела бетона до  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При температуре окружающего воздуха  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  максимальная температура бетона, которой удалось достичь, составила  $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 1-е сутки, после чего отмечено снижение температуры до  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 3-и сутки и далее до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 7-е сутки (рис. 4).

При отсутствии плит из экструзионного пенополистирола максимальная отметка температуры тела бетона составляла  $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающего воздуха  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



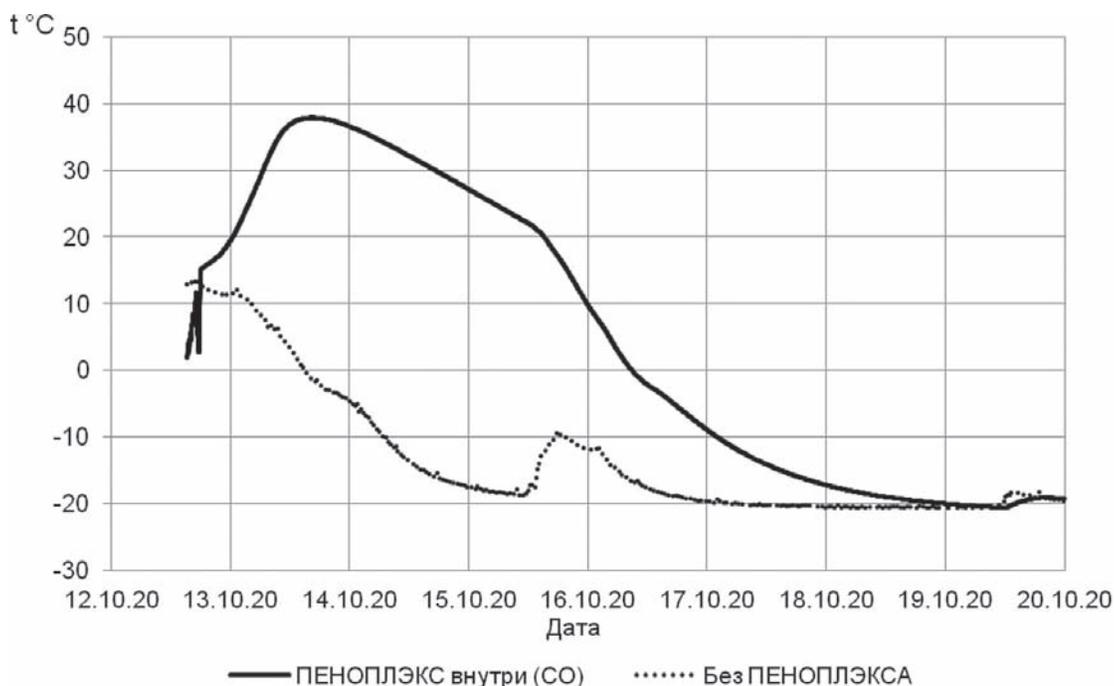
**Рис. 4.** Изменение средних значений температуры бетона семисуточной выдержки при температуре окружающего воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$

**Fig. 4.** Variations in the average temperature of the 7-day concrete at the ambient air temperature of  $-5^{\circ}\text{C}$

При температуре окружающего воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  максимальная температура бетона, которой удалось достичь, составила  $+13^{\circ}\text{C}$ . В обоих испытаниях при отсутствии теплоизоляции тело бетона замерзло (рис. 5).

Результаты определения прочности бетона на этапе 2 показали, что при использовании опалубочной системы со сплошным слоем теплоизоляции (СО) плитами из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС бетон набрал прочность на 2,1 и 1,1 МПа больше, в отличие от бетона с опалубочной системой без теплоизоляции (БО) при выдержке 2 и 3 суток соответственно. При этом следует отметить, что энергопотребление опалубки без теплоизоляции против опалубки со сплошной теплоизоляцией имеет энергопотребление выше в 3,5 раза на вторых сутках, при этом уже на пятые сутки выдержки бетона это соотношение превышает 5,5 раза. Эта разница увеличивается в зависимости от времени выдержки бетона. Результаты определения прочности бетона и энергопотребления на этапе 2 представлены в табл. 3.

После окончания лабораторных испытаний на этапе 2 производилась обработка и анализ данных термометрии, полученных при формировании и твердении бетонной смеси. Результаты термометрии показывают, что использование в качестве материала теплоизоляции из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС в зимнем бетонировании методом термоса с использованием электропрогрева позволяют достичь отметки температуры тела бетона в  $+60^{\circ}\text{C}$  спустя 12 ч с начала бетонирования и ее поддержания при температуре окружающего воздуха.



**Рис. 5.** Изменение средних значений температуры бетона семисуточной выдержки при температуре окружающего воздуха  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Fig. 5.** Variations in the average temperature of the 7-day concrete at the ambient air temperature of  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 3

**Результаты испытаний на этапе 2**

Table 3

**Stage 2 test results**

№	Выдержка, сутки	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Опалубочная система	Средняя прочность, МПа	Энергопотребление, кВт
2.1	2	-20	БО	21,3	22,97
2.2			СО	23,2	5,77
2.3	3		БО	21,7	36,23
2.4			СО	22,8	10,71
2.5	5		БО	18,8	79,27
2.6			СО	18,0	14,73

При отсутствии плит теплоизоляции из экструзионного пенополистирола с использованием электропрогрева максимальная положительная отметка температуры тела бетона составила  $+41\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результаты термометрии представлены на рис. 6–8.

Из рисунка 8 следует вывод, что при пятисуточной выдержке бетона в опалубочной системе без теплоизоляции (БО) химическая реакция твердения бетона завершается на 3-суточном интервале, мощности выбранной системы электропрогрева недостаточно для поддержания заявленного температурного режима твердения бетона ( $+35\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

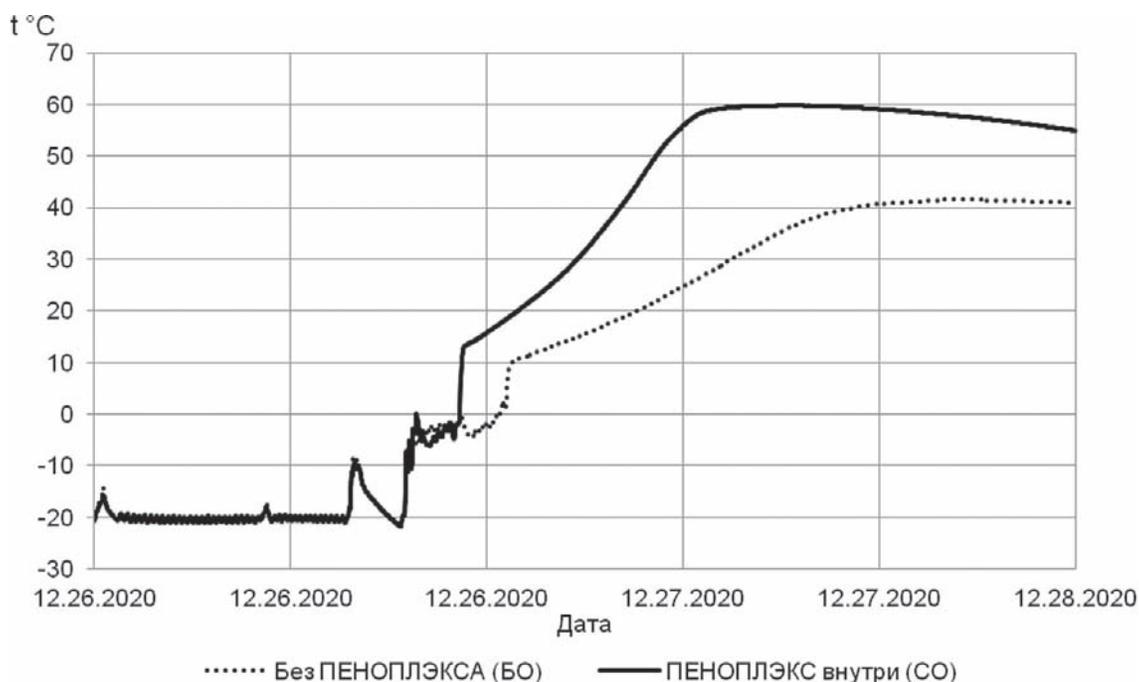


Рис. 6. Изменение средних значений температуры бетона 2-суточной выдержки при температуре окружающего воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$

Fig. 6. Variations in the average temperature of the 2-day concrete at the ambient air temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$

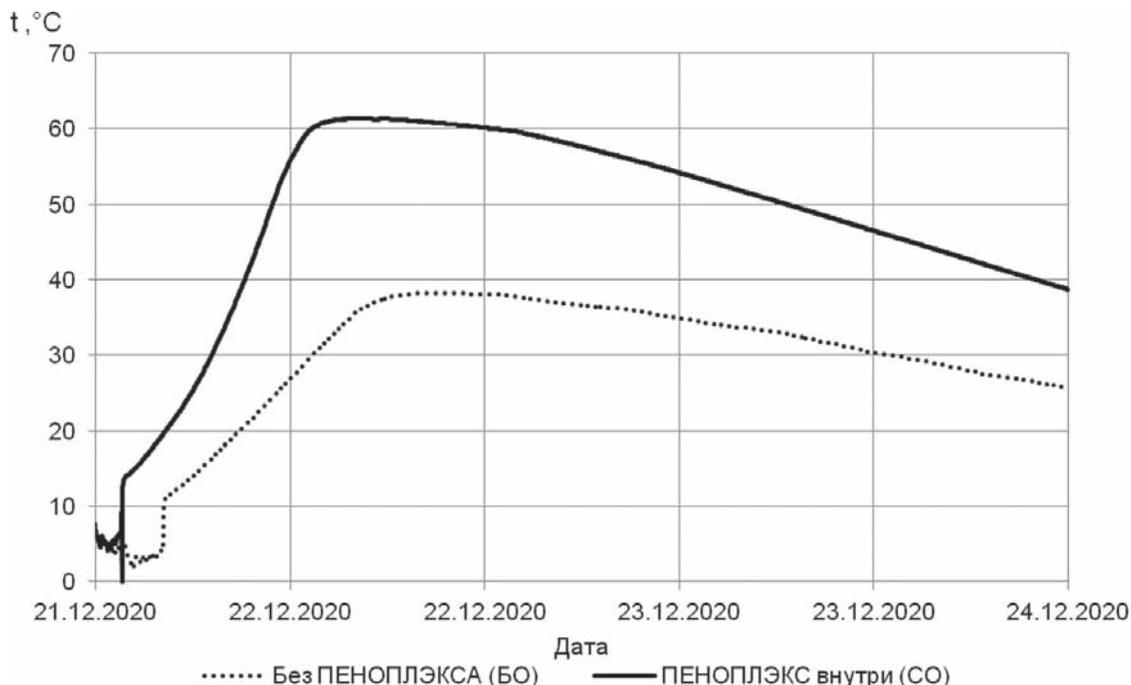


Рис. 7. Изменение средних значений температуры бетона 3-суточной выдержки при температуре окружающего воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$

Fig. 7. Variations in the average temperature of the 3-day concrete at the ambient air temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$

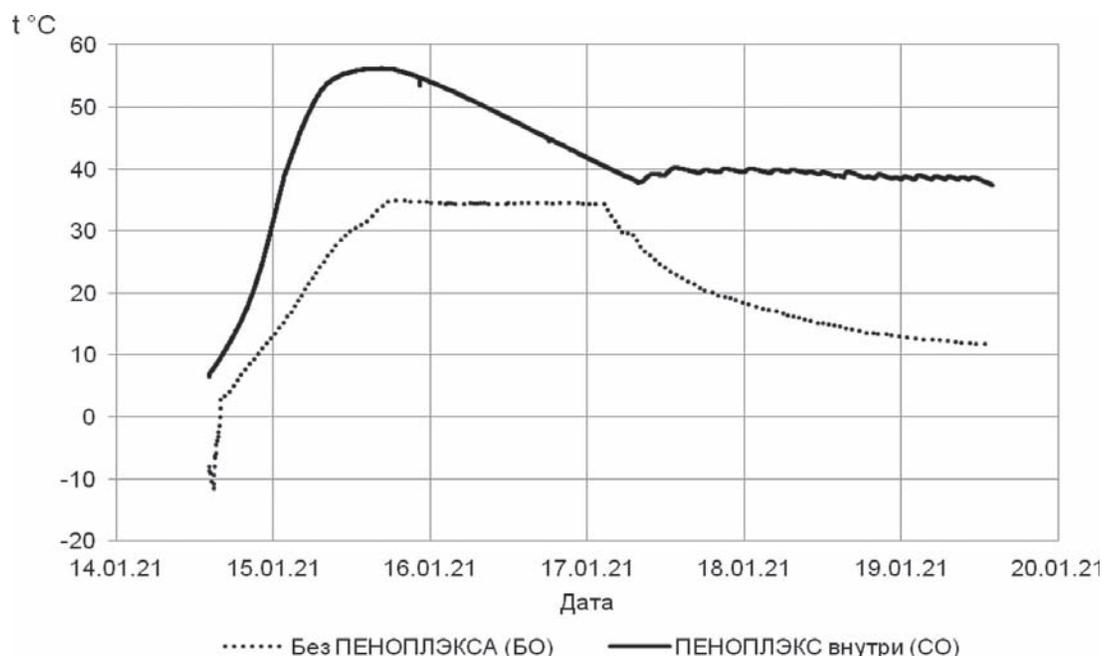


Рис. 8. Изменение средних значений температуры бетона 5-суточной выдержки при температуре окружающего воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$

Fig. 8. Variations in the average temperature of the 5-day concrete at the ambient air temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$

## Выводы

Установлено, что при бетонировании железобетонных конструкций в зимних условиях наибольшую эффективность имеет комбинированный метод, а именно метод термоса с применением сплошной теплоизоляции из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС и электропрогрева.

Опалубочная система с применением сплошной теплоизоляции из экструзионного пенополистирола позволяет достичь оптимального температурного режима для твердения бетона в отличие от других типов опалубочных систем.

Прочность бетона на сжатие при использовании в опалубочной системе с теплоизоляцией экструзионного пенополистирола на вторые сутки твердения соответствует прочности бетона, требуемой для снятия опалубки.

При этом следует отметить, что энергопотребление опалубки без теплоизоляции против опалубки со сплошной теплоизоляцией имеет энергопотребление выше в 3,5 раза на вторых сутках, при этом уже на пятые сутки выдержки бетона это соотношение превышает 5,5 раза. Эта разница увеличивается в зависимости от времени выдержки бетона.

Применение энергоэффективных опалубочных систем для бетонирования особенно актуально на объектах, расположенных в районах с дефицитной электроэнергией (например, в районах Крайнего Севера). При прогреве железобетонных строительных конструкций в зимний период особое внимание важно уделять расчетам необходимой нагрузки на сеть и наличию требуемого количества трансформаторов с учетом возможного аварийного выхода из строя некоторых из них. За счет сохранения тепла в теле бетона увеличивается время на ремонт или замену источников электроэнергии для систем обогрева.

Применение данной технологии позволяет сократить сроки бетонных работ в зимних условиях, уменьшить общие экономические издержки на объекте в целом, а также снизить риски, связанные с перегревом или замерзанием бетонной смеси.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве рекомендаций при выполнении работ по бетонированию в зимних условиях методом термоса.

При дальнейших исследованиях по данной теме предполагается полномасштабное проведение эксперимента с применением опытного образца опалубочной системы при отрицательной температуре на открытом воздухе, возможно в суровых климатических условиях с экстремально низкими температурами воздуха до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

## Список литературы

1. Головнев С.Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития / С.Г. Головнев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. – 2013. – Вып. 31(50), Ч. 2. Строительные науки. – С. 529–534.
2. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов. – Москва: Стройиздат, 1975. – 700 с.
3. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – Москва: Стройиздат, 1982. – 213 с.
4. ТР 80-98. Технические рекомендации по технологии бетонирования безобогревным способом монолитных конструкций с применением термоса и ускоренного термоса. – Москва: Мосоргстрой, 1998. – 64 с.
5. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. – Москва: Стройиздат, 1975. – 192 с.
6. Гныря А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях: учеб. пособие / А.И. Гныря, С.В. Коробков. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 412 с.
7. Молодин В.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях: монография / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев; науч. ред. Ю.А. Попов; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Новосибирский гос. архитектурно-строит. ун-т. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 300 с.
8. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования: учеб. пособие для вузов / Б.М. Красновский. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2016. – Ч. 2. – 231 с. – (Серия: Университеты России).
9. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Российская акад. архитектуры и строительных наук (РААСН), науч.-исслед., проектно-конструкторский и технологический ин-т бетона и железобетона (НИИЖБ); [принимали участие: С.А. Амбарцумян и др.]; под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. – Москва: б. и., 2005. – 275 с.

## References

1. Golovnev S.G. Winter concreting: stages of formation and development. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture. 2013;(31) Part 2:529–534 (in Russian).
2. Mironov S.A. Theory and methods of winter concreting. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1975 (in Russian).
3. TSNIOMTP Gosstroy of the USSR. Guidelines for the production of concrete works in winter conditions, areas of the Far East, Siberia and the Far North. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1982 (in Russian).
4. TR 80-98. Technical recommendations on the technology of concreting by a non-heating method of monolithic structures using a thermos and an accelerated thermos. Moscow: Mosorgstroy; 1998 (in Russian).
5. Guidelines for winter concreting using the thermos method. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1975 (in Russian).
6. Gnyrya A.I., Korobkov S.V. Technology of concrete works in winter conditions: studies. Manual. Tomsk: Publishing House of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2011 (in Russian).

7. *Molodin V.V., Lunev Yu.V.* Concreting of monolithic building structures in winter conditions. Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Construction; 2006 (in Russian).
8. *Krasnovsky B.M.* Engineering and physical foundations of winter concreting methods. Part 2. Moscow: Yurayt Publ.; 2016 (in Russian).
9. *Krylov B.A., Ambartsumyan S.A., Zvezdov A.I.,* editors. Guidelines for heating concrete in monolithic structures. Moscow; 2005 (in Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Андрей Григорьевич Алексеев**, канд. техн. наук, руководитель Центра геокриологических и геотехнических исследований НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», доцент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России, Москва

e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Andrey G. Alekseev**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center for Geocryological and Geotechnical Research, NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Associate Professor of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Антон Андреевич Звездов**, младший научный сотрудник Лаборатории № 8 Механики мерзлых грунтов и расчета оснований, Сектор полевых испытаний грунтов и мониторинга, Центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 89636885828@mail.ru

**Anton A. Zvezdov**, Junior Researcher, Laboratory No. 8 of Frozen Soil Mechanics and Base Calculation, Field Testing and Monitoring Sector, Center for Geocryological and Geotechnical Research, NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 89636885828@mail.ru

**Денис Вадимович Охупкин**<sup>✉</sup>, студент 6-го курса кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России; техник Лаборатории № 8 Механики мерзлых грунтов и расчета оснований, Сектор полевых испытаний грунтов и мониторинга, Центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: gemiotik@yandex.ru

**Denis V. Okhapkin**<sup>✉</sup>, 6th year student of the Thermal and Nuclear Power Construction Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering; technician of the Laboratory No. 8 of Frozen Soil Mechanics and Base Calculation, Field Testing and Monitoring Sector, Center for Geocryological and Geotechnical Research, NIIOSP named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: gemiotik@yandex.ru

**Ясмин Эдинович Бегич**, аспирант Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Инженерно-строительный институт ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», заместитель начальника технического отдела ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб», Санкт-Петербург

e-mail: yasmin1010@yandex.ru

**Yasmin E. Begich**, Postgraduate student of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Deputy Head of the Technical Department LLC PENOPLEX SPb, St. Petersburg

e-mail: yasmin1010@yandex.ru

<sup>✉</sup>Автор, ответственный за переписку / Corresponding author