

**STABILIZATION OF PERMANENT FROZEN SUBSTRATE OF INDUSTRIAL BUILDING BY ARTIFICIAL COOLING OF SOIL**

**Glushchenko K.S.<sup>1</sup>, Komarova N.D.<sup>2</sup>, Daironas M.V.<sup>3</sup>, Dolbin N.S.<sup>4</sup>  
(Russian Federation) Email: Glushchenko520@scientifictext.ru**

<sup>1</sup>*Glushchenko Ksenia Sergeevna – Engineer-Estimator,  
CAPITAL CONSTRUCTION DEPARTMENT;*

<sup>2</sup>*Komarova Natalya Dementyevna - Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor;*

<sup>3</sup>*Daironas Marina Vladimirovna - Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor,  
DEPARTMENT OF DESIGN OF BUILDINGS, URBAN CONSTRUCTION AND  
ECONOMY,  
NORTH-CAUCASUS BRANCH  
BELGOROD STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY NAMED AFTER  
V.G. SHUKHOV,  
MINERALNYE VODY;*

<sup>4</sup>*Dolbin Nikita Sergeevich - Undergraduate Student,  
DIRECTION: CONSTRUCTION,  
DEPARTMENT OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY,  
BELGOROD STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY NAMED AFTER  
V.G. SHUKHOV, BELGOROD*

**Abstract:** *the active development of the territories of the Far North makes certain requirements for the buildings and structures under construction in this region. Climate change is also making its own adjustments to the construction industry. The need to achieve stability and preserve the bearing capacity of buildings on thermally shrinkable permafrost foundations is one of the main goals during construction in this area. These goals can be achieved by thermal strengthening of the bases using the local cooling method. Cooling is carried out by a system of horizontal channels located within the heat-insulating bed and ventilated with cold air in winter. The cooling effect provides the required temperature regime in the most stressed areas of the base, both in the first and subsequent years of the building's operation.*

**Keywords:** *foundations, cooling, strengthening, parameters, thermal resistance.*

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛОГО ОСНОВАНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫМ  
ОХЛАЖДЕНИЕМ ГРУНТА**

**Глущенко К.С.<sup>1</sup>, Комарова Н.Д.<sup>2</sup>, Дайронас М.В.<sup>3</sup>, Долбин Н.С.<sup>4</sup>  
(Российская Федерация)**

<sup>1</sup>*Глущенко Ксения Сергеевна – инженер-сметчик,*

*управление капитального строительства;*

<sup>2</sup>*Комарова Наталья Дементьевна - кандидат технических наук, доцент;*

<sup>3</sup>*Дайронас Марина Владимировна - кандидат технических наук, доцент,  
кафедра проектирования зданий, городского строительства и хозяйства,  
Северо-Кавказский филиал*

*Белгородский государственный технологический университет им  
В.Г. Шухова,  
г. Минеральные Воды*

<sup>4</sup>*Долбин Никита Сергеевич – магистрант,  
направление: строительство,*

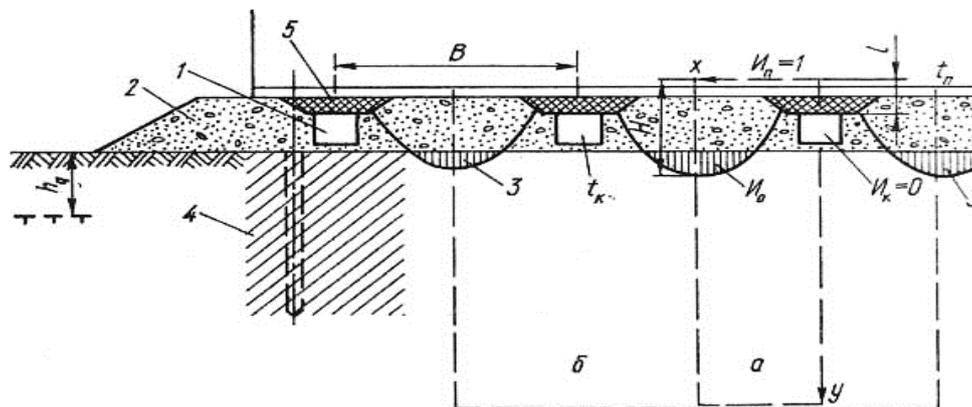
*кафедра строительства и городского хозяйства,  
Белгородский государственный технологический университет им.  
В.Г. Шухова, г. Белгород*

**Аннотация:** активное освоение территорий Крайнего Севера предъявляет определенные требования к возводимым зданиям и сооружениям в этом регионе. Изменение климата также вносит свои коррективы в индустрию строительства. Необходимость достижения устойчивости и сохранения несущей способности зданий на термопросадочных вечномерзлых основаниях одна из основных целей при строительстве в этом районе. Данные цели можно достигнуть термическим упрочнением оснований применяя метод локального охлаждения. Охлаждение осуществляется системой горизонтальных каналов, расположенных в пределах теплоизолирующей подсыпки и вентилируемых холодным воздухом в зимнее время. Эффект охлаждения обеспечивает необходимый температурный режим в наиболее нагруженных областях основания как в первый, так и в последующие годы эксплуатации здания.

**Ключевые слова:** основания, охлаждение, укрепление, параметры, термическое сопротивление.

Устойчивость и несущая способность зданий на термопросадочных вечномерзлых основаниях обеспечивается сохранением естественных отрицательных температур грунта под всем зданием и понижением их в наиболее ответственных местах основания [1, 7, 8]. Для термического укрепления оснований многопролетных промышленных зданий с полами по грунту и при наличии внутренних источников тепла целесообразно применять локальное охлаждение.

Охлаждение осуществляется системой горизонтальных каналов (рисунк 1), расположенных в пределах теплоизолирующей подсыпки и вентилируемых холодным воздухом в зимнее время.



*Рис. 1. Принципиальная схема термического укрепления вечномерзлого основания многопролетного промышленного здания и расчетного фрагмента:*

*а — электромодель; б — физическая модель; 1 — охлаждающий канал; 2 — теплоизолирующая подсыпка; 3 — граница зоны оттаивания в пролете; 4 — область термического укрепления грунта; 5 — теплоизоляция над каналом  $h_a$  — деятельный слой*

На входе в канал или коллектор, объединяющий несколько каналов, устанавливается вентилятор. Его мощность подбирается такой, чтобы скорость движения воздуха в канале (2—5 м/сек) обеспечивала необходимый холодоприток в основание. Вентиляционная установка включается при температуре наружного воздуха, не превышающей температуру стенок канала; эта температура должна быть ниже минус 10—15°C. Система отключается при метелях и оттепелях. Выполнение этих требований исключает образование инея на стенках каналов и закупорку их льдом. Консервация системы на летний период обеспечивает в каналах более низкую среднегодовую температуру, чем температура наружного воздуха, и сохранение постоянно-мерзлого состояния грунта в укрепленных зонах.

Температурное поле в основании формируется в зависимости от охлаждающего эффекта каналов и теплоизолирующих свойств подсыпки. Подбор оптимального соотношения параметров каналов и подсыпки дает возможность ограничить или полностью исключить локальное оттаивание грунта в пролетах между каналами и понизить температуру укрепляемых зон. Каналы и подсыпка, обладая терморегулирующими и теплоизоляционными свойствами, являются также и несущими конструкциями [2, 4, 9].

Оптимальные значения этих параметров и термического сопротивления подсыпки должны обеспечить сохранение или понижение естественной температуры массива вечномерзлого грунта под зданием, исключить или ограничить оттаивание грунта в пролетах между каналами, обеспечить стабильность размеров и расчетную температуру охлажденных зон.

Оценка эффективности той или иной схемы канального охлаждения должна проводиться путем сравнения наибольших (предельных) глубин замкнутых зон оттаивания в центре пролета между соседними каналами, а также путем сопоставления размеров и средней максимальной температуры укрепляемых зон.

Предельная глубина локального оттаивания основания достигается при длительном тепловом взаимодействии системы «здание — система охлаждения — вечномерзлое основание», характеризующимся стационарным полем температур.

При длине здания и канала, значительно превосходящих расстояние между каналами, предельный температурный режим основания достаточно точно аппроксимируется решением уравнения Лапласа для плоской задачи (расчетное сечение  $a$ , см. рисунок 1).

Температура на открытой поверхности грунта вне здания незначительно влияет на формирование температурного поля во внутренних пролетах, где отрицательная температура укрепленных зон и массива в целом поддерживается в результате охлаждающего эффекта каналов. В среднем пролете предельное оттаивание между каналами и температура грунта укрепленных зон являются максимальными, расчетными для всей рассматриваемой области температурного поля.

Под влиянием суммарного теплового потока от здания и охлаждающих каналов происходит изменение температурного состояния вечномерзлого основания до некоторой глубины. Естественная температура вечномерзлых грунтов будет сохраняться ниже этой глубины, зависящей от параметров здания и системы охлаждения, теплофизических свойств подсыпки и грунта основания. В ходе исследований проанализированы влияния способа задания нижнего граничного условия, учитывающего естественную температуру вечномерзлого массива, на предельный температурный режим фрагмента, в частности, на глубину локального оттаивания в центре пролета. В первом варианте полагали, что предельные температуры в основании здания формируются только под влиянием температуры в здании и в канале; влияние же температур вечномерзлого массива ниже зоны термического укрепления не учитывалось. Во втором варианте учитывалось влияние естественной температуры вечномерзлых грунтов на температурное поле фрагмента.

Сравнение температурных полей для обоих вариантов моделирования нижнего граничного условия позволяет сделать заключение о весьма незначительном различии между ними.

Уменьшение шага каналов и увеличение их ширины ведет к удорожанию конструкций и осложняет размещение фундаментов под оборудование; в то же время некоторое допустимое оттаивание в пролете практически не снижает несущей способности укрепленных зон основания [1, 5, 10]. На основе технико-экономического анализа результатов исследований

рекомендуются следующие геометрические параметры систем охлаждения: шаг каналов в плане 6—12 м, ширина канала 1—2 м и высота не более 2 м.

Динамика температурного режима области термического укрепления под каналом исследовалась на объемной физической модели фрагмента б (см. рисунок 1) из однородного мелкозернистого песка.

Моделирование выполнено для двух вариантов: а —  $V=6$  м;  $b=1,5$ ;  $h=1$ ;  $v_1=0,05$ ; б —  $V=18$  м;  $b=2$ ;  $h=1$   $v_1=0,02$ . Для варианта б на стенке канала поддерживали постоянную среднегодовую температуру. В варианте а учтена летняя консервация охлаждающей системы, в течение периода охлаждения на стенке канала поддерживали среднезимнюю температуру; на летний период вентиляционную систему модели отключали и герметично изолировали от внешней среды. Изучено влияние летнего прогресса подсыпки и грунта на термический режим укрепленных зон.

Наиболее интенсивное оттаивание грунта между укрепленными зонами наблюдается в первые два года эксплуатации здания; далее этот процесс замедляется. Вблизи канала естественные температуры грунта интенсивно понижаются, и происходит достаточно быстрый процесс термического укрепления вечномерзлого основания. Наиболее интенсивное понижение температур отмечается в первые 3—4 года работы системы. В дальнейшем эффект охлаждения проявляется медленнее, но охватывает большую по объему зону грунта. Такая интенсивность охлаждения обеспечивает необходимый температурный режим в наиболее нагруженных областях основания как в первый, так и в последующие годы эксплуатации здания [3, 6, 9, 11]. Результаты физического моделирования подтверждают принципиальную возможность укрепления основания здания с помощью системы вентилируемых каналов.

Экономическая эффективность применения данной схемы охлаждения выявлена путем сравнения сметной стоимости по нулевому циклу для здания с охлаждающими каналами и с традиционным проветриваемым подпольем. Экономический эффект применения канального охлаждения для термического укрепления оснований четырех проектируемых зданий составляет в среднем 20%.

### *Список литературы / References*

1. *Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., Komarova K.S. INCREASING OF THE ENERGY EFFICIENCY IN CIVILIAN BUILDINGS APPLYING FIXED TYPE OF FACADE SYSTEMS // В сборнике: IOP Conference Series: Journal of Physics, 2018. С. 49-54.*
2. *Комарова К.С., Шаповалов С.М. ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // В сборнике: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ*

- СОВРЕМЕННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, 2017. С. 127-131.
3. *Комарова К.С., Комарова Н.Д.* РИСКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ // Инновационная наука, 2016. № 10-3. С. 175-180.
  4. *Комарова Н.Д., Лениш А.Ф., Долбин Н.С., Мишурич В.В.* АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВ // Университетская наука, 2020. № 1 (9). С. 41-44.
  5. *Комарова Н.Д., Лениш А.Ф.* АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ - УСИЛЕНИЕ // Университетская наука, 2019. № 1 (7). С. 13-16.
  6. *Лениш А.Ф., Комарова Н.Д., Глущенко К.С.* СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ // Университетская наука, 2019. № 1 (7). С. 36-40.
  7. *Комарова Н.Д.* ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - НАШЕ БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ // В сборнике: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика, 2016. С. 72-76.
  8. *Комарова К.С., Комарова Н.Д.* РИСКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ // Инновационная наука, 2016. № 10-3. С. 175-180.
  9. *Комарова Н.Д., Есипова А.А., Комарова К.С.* НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ // Университетская наука, 2016. № 1 (1). С. 29-31.
  10. *Курбатов В.Л., Комарова Н.Д.* ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И ИНСТРУМЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ДОМА // Актуальные вопросы современной науки, 2015. С. 7.
  11. *Комарова Н.Д.* ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА // Наука и современность, 2015. № 38. С. 12-16.