

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

ЯМАЛ – 2021



25% PERMAFROST ZONE
EARTH'S LAND

CRYOSPHERE TRANSFORMATION &
GEOTECHNICAL SAFETY '21

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ТРАНСФОРМАЦИИ
КРИОСФЕРЫ
И ВОПРОСЫ
ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ
СООРУЖЕНИЙ
В АРКТИКЕ

Ноябрь 8-12

Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике / Под ред. В.П.Мельникова и М.Р. Садуртдинова. – Салехард: 2021. – 502 с.

Международная конференция «Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике» (8-12 ноября 2021 г., г. Салехард) является площадкой междисциплинарного диалога для определения краткосрочных и долгосрочных приоритетных направлений работы органов власти, науки и бизнеса, которые обеспечат качественно новый уровень деятельности предприятий и жизни населения Арктики, изучения криолитозоны. В последние годы в связи с глобальным изменением климата активизировались различные потенциально опасные геокриологические процессы. Под воздействием естественных и антропогенных факторов происходит изменение состояния верхних горизонтов криолитозоны в ряде регионов, несущая угрозу как для хозяйственной деятельности человека, так и для экологической обстановки. Каждому региону в криолитозоне необходимо активно включиться в поиск решений, позволяющих выработать механизмы адаптации к геокриологическим процессам и изменению климата. От региональных органов власти требуется оперативная реакция и принятие эффективных управленческих решений. Это станет возможным при условии, если наряду с созданием государственной системы мониторинга за состоянием «вечной мерзлоты», каждый регион начнет развивать собственную сеть геотехнического мониторинга объектов капитального строительства и инфраструктуры, выстроит долгосрочное сотрудничество с промышленными компаниями для обмена данными, совместного научного сопровождения разработки новых единых стандартов по изучению состояния «вечной мерзлоты» и проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Конференция предусматривает создание плана первоочередных действий на двухлетний период в рамках председательства России в Арктическом Совете по созданию механизмов адаптации регионов криолитозоны к большим вызовам. В настоящий сборник вошли труды, посвященные фундаментальным и прикладным исследованиям криолитозоны, разработке новых методов, технологий, материалов для безопасного освоения и эксплуатации территорий криолитозоны.

Cryosphere Transformation and Geotechnical Safety in the Arctic / Edited by V.P. Melnikov and M.R. Sadurtdinov. - Salekhard: 2021. - 502 p.

International Conference "Cryosphere Transformation and Geotechnical Safety" (November 8-12, 2021, Salekhard) is a platform for interdisciplinary dialogue to define short and long-term priorities of the authorities, science and business, which will provide a better level of enterprise activities, life in the Arctic, and the cryolithozone studies. Recent years, due to global climate change, witnessed the intensification of various hazardous geocryological processes. As a result of natural and anthropogenic factors, there are changes in the state of the upper horizons of the cryolithozone in some regions, threatening both human economic activity and the ecological situation. Each region in the cryolithozone needs to actively engage in the search for solutions to develop mechanisms for adapting to geocryological processes and climate change. Regional authorities are required to react promptly and make effective management decisions. This will be possible if, along with the creation of a state permafrost monitoring system, each region begins to develop its own network of geotechnical monitoring of capital construction and infrastructure facilities, builds long-term cooperation with industrial companies to exchange data and provide joint scientific support for elaborating new unified standards for studying the permafrost condition and the design, construction and operation of engineering structures on permanently frozen ground. The Conference provides for the creation of a plan of priority actions for a two-year period as part of Russia's chairmanship in the Arctic Council to create mechanisms for the adaptation of cryolithozone regions to great challenges. This book of abstracts includes papers on fundamental and applied research of the cryolithozone, the development of new methods, technologies, materials for the safe development and exploitation of the cryolithozone territories.

Организаторы конференции

Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа
Government of Yamal-Nenets autonomous okrug



Международная ассоциация по мерзлотоведению
International Permafrost Association (IPA)



Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН
Earth Cryosphere Institute



Институт криосферы Земли
ТюмНЦ СО РАН

Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова
Lomonosov Moscow State University



Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН
Melnikov Permafrost Institute



Научный центр изучения Арктики
Arctic Research Center



Российский Центр освоения Арктики
Russian Arctic Development Center



РОССИЙСКИЙ ЦЕНТР
ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ

www.arctic.ru

Расчет нестационарных температурных полей в зоне свайного фундамента зданий с учетом температурного мониторинга

Ваганова Н.А.^{1,2}, Филимонов М.Ю.^{1,2}, Камнев Я.К.¹, Шейн А.Н.³

¹ Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, ул. С.Ковалевской 16, Екатеринбург, 620108, Россия, vna@imm.uran.ru, fmy@imm.uran.ru

² Уральский федеральный университет, ул. Мира 19, Екатеринбург, 620002, Россия, vna@imm.uran.ru, m.y.filimonov@urfu.ru

³ Научный центр Изучения Арктики, Ямало-Ненецкого автономного округа, Тюменская область, ул. Республики 20, Салехард, 629008, Россия, kamnevsk@gmail.com, a.n.shein@yandex.ru

Реферат

Территории России, на которые распространяется вечная мерзлота, чрезвычайно важны для российской экономики. В стратегии развития этих северных территорий значительное место отводится сбалансированному развитию экономики, промышленности и социальной инфраструктуры. Здания и сооружения в зоне вечной мерзлоты построены по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований. С учетом изменения климата и возрастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду начинают изменяться и границы залегания вечной мерзлоты, в том числе и в зонах свайных фундаментов жилых зданий и других инженерных сооружений, что может приводить к серьезным авариям. Поэтому организация температурного мониторинга в этих зонах является насущной проблемой. В работе предложен подход, объединяющий данные температурного мониторинга в городе Салехард под конкретным жилым зданием и методы компьютерного моделирования на основе математических моделей и численных алгоритмов, предложенных авторами. Проведенные численные расчеты показали возможность описывать и давать прогнозы по динамике изменения температуры в зоне свайного фундамента.

Ключевые слова: вечная мерзлота; компьютерное моделирование; температурный мониторинг

Calculation of non-stationary temperature fields in the area of the pile foundation of buildings taking into account temperature monitoring

Vaganova N. A.^{1,2}, Filimonov M. Yu.^{1,2}, Kamnev Y. K.¹, Shein A. N.³

¹ Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of RAS, S. Kovalevskaya str. 16, Yekaterinburg, 620108, Russia, fmy@imm.uran.ru, vna@imm.uran.ru

² Ural Federal University Institute, Mira str. 19, Yekaterinburg, 620002, Russia, m.y.filimonov@urfu.ru, vna@imm.uran.ru

³ Arctic research center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Tyumen region, 20, Republic street, Salekhard, Russia, 629008, kamnevsk@gmail.com, a.n.shein@yandex.ru

Abstract

The territories of Russia, which are covered by permafrost, are extremely important for the Russian economy. In the development strategy of these northern territories, a significant role is given to the balanced development of the economy, industry, and social infrastructure. Buildings and structures in the permafrost zone are considering with the principle of the preservation of the frozen state of the soils of the foundations. Climate change and the increasing anthropogenic load on the environment, the boundaries of the permafrost also begin to change, including in the areas of pile foundations of residential buildings and other engineering structures, which can lead to serious accidents. Therefore, temperature monitoring in these areas is an important task. The paper proposes an approach that combines temperature monitoring data in the city of Salekhard under a specific residential building and computer modeling methods based on mathematical models and numerical algorithms proposed by the authors. The performed numerical calculations showed the possibility of describing and making predictions on the dynamics of temperature changes in the area of the pile foundation.

Key Words: computer modeling; permafrost; remote monitoring

Введение

Более 75% всех зданий и инженерных сооружений в зоне вечной мерзлоты построены и эксплуатируются по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований [Vaganova, Filimonov 2017]. Оттаивание насыщенных льдом пород из-за изменения климата, или различных техногенных воздействий, будет сопровождаться просадками земной поверхности и развитием опасных мерзлотных геологических процессов, называемым термокарстом, приводящих к авариям, возможным последствиями которых могут быть разрушения скважин на нефтегазовых месторождениях, различных опор, сооружений, зданий и серьезные техногенные катастрофы [Шенин, Камнев, 2020; Filimonov, Vaganova, 2017; Vaganova, Filimonov, 2014]. Для предотвращения таких последствий используется температурный мониторинг, основанный на проведении температурных измерений в грунте оснований и анализе динамики их изменений. Долгосрочное прогнозирование таких изменений и влияние их на несущие свойства грунтов оснований под зданиями является актуальной задачей. Один из вариантов температурного мониторинга был разработан и используется в городе Салехард [Громадский и др., 2019].

Цель данного исследования состоит в разработке как новых трехмерных нестационарных математических моделей теплопереноса в зоне свайного фундамента с учетом данных из термометрических скважин в грунте со сложной литологией, ориентированных на конкретные здания в городе Салехард, так и в разработке высокоточных численных алгоритмов для проведения долгосрочных прогнозов по динамике изменения температурного поля под зданиями, в том числе и вдоль свай фундамента.

Наличие информации о температурном режиме вдоль свай фундамента позволяет оценить их несущие способности и сделать выводы о возможных шагах для исправления ситуации в случае необходимости. Например, предложить варианты по термостабилизации грунта с помощью дополнительных сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ) [Vaganova N.A., Filimonov, 2019]. Приведены результаты численных расчетов по динамике изменения температурного поля под конкретным зданием в городе Салехард.

Математическая модель

Для моделирования тепловых полей в грунте, содержащем свайные фундаменты жилых зданий в северных городах, следует учитывать различные климатические и физические факторы. К первой группе факторов относится, сезонное изменение температуры воздуха, приводящее к периодическому протаиванию (промерзанию) грунта, снежный покров, учет солнечного излучения в случае необходимости и т.п. Ко второй группе факторов относятся теплофизические параметры грунтов, которые могут меняться при изменении температуры. Для полного моделирования тепловых полей в расчетной области, содержащей свайный фундамент, следует учитывать геометрические места расположения свай, их размеры, наличие СОУ и возможные источники тепла, выявляемые в ходе мониторинга с помощью термометрических скважин.

Пусть $T = T(t, x, y, z)$ – температура грунта в точке (x, y, z) в момент времени t . В общем случае моделирование процесса распространения тепла в мерзлом грунте сводится к решению в области Ω уравнения

$$\rho(c_p(T) + kb(T - T^*)) \partial T / \partial t - \text{div}(\lambda(T) \text{grad } T)$$

с учетом начального условия

$$T(t_0, x, y, z) = T_0(x, y, z). \quad (2)$$

Здесь $\rho = \rho(x, y, z)$ – плотность, $T^* = T^*(x, y, z)$ – температура фазового перехода, $c_p(T)$ – удельная теплоемкость, $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности. Использование такого подхода обосновано в монографии [Самарский, Вабищевич, 2003]. Расчетная область Ω для конкретного здания в городе Салехард содержит N термометрических скважин (T_i) , M свай и K СОУ (S_k) . Для жилого здания $N = 24$, $M = 229$, $K = 186$. Таким образом, для учета данных мониторинга при решении задачи (1) - (2) необходимо, чтобы значения температур $T(t_0, z)_i^{(1)}$ на поверхностях термометрических скважин $(\partial\Omega)$ вошли в качестве начальных данных.

$$T_{i, \text{in}} = T(t_0, z)_i^{(1)}, i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Обозначим поверхности устройства S_k через ∂S_k , на которых задается температура $T_k(t)$, зависящая от температуры грунта для устройства S_k и температуры воздуха $T_{\text{air}}(t)$. Тогда появляются следующие дополнительные краевые условия (источники холода) на поверхностях ∂S_k :

$$T_{i, \text{out}} = T_k(t), t \geq t_0, k = 1, \dots, K. \quad (4)$$

Таким образом, требуется решить задачу (1) - (4) на заданном промежутке времени $[t_0, \tau]$.

Численные расчеты и температурный мониторинг

Численный алгоритм, реализованный на основании этой модели, учитывает данные мониторинга температуры грунта и технические особенности конкретного свайного фундамента. На рис. 1 приведена схема свайного фундамента в плоскости (x, y) . Красным цветом обозначены места расположения свай, синим цветом обозначены СОУ.

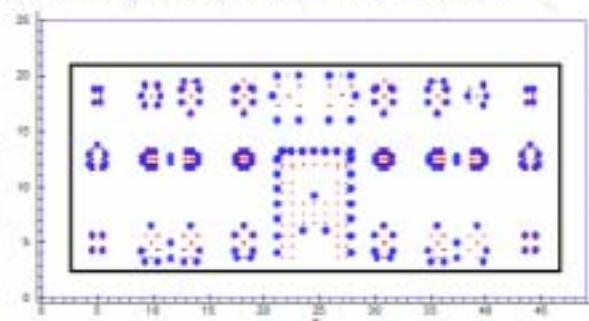


Рис. 1. Схема с Громадский А.Н. свайного фундамента под жилым домом в городе Салехард.

На рис. 2 приведено поле температур на глубине 2.3 м. в плоскости (x, y) в декабре и январе 2020 г. Отчетливо видна работа СОУ по охлаждению грунта, усиливающаяся в январе. Теплая область грунта, выявленная с помощью термометрических скважин, в процессе работы СОУ начинает охлаждаться, что соответствует дальнейшему мониторингу температуры грунта.

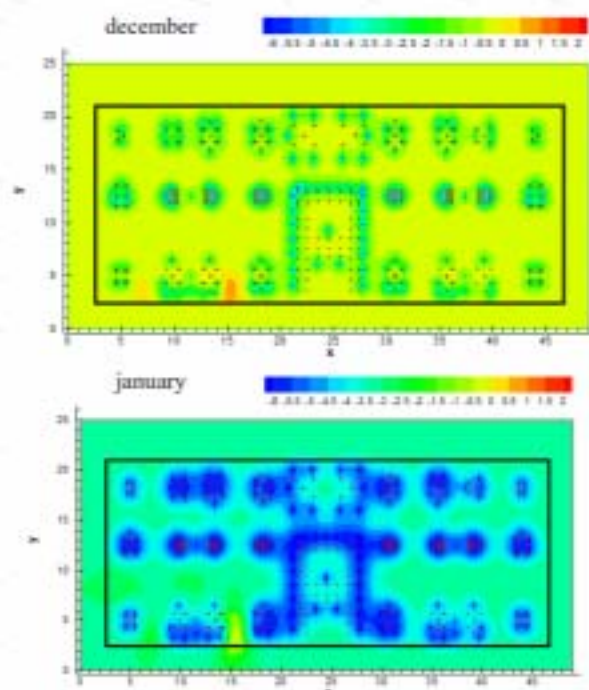


Рис. 2. Поле температур на глубине 2.3 м. под жилым зданием в декабре и январе.

Таким образом, полученные результаты, основанные на сочетании данных мониторинга температуры грунта и компьютерного моделирования, позволяют оценить безопасность эксплуатации жилых зданий в городах, расположенных в зонах распространения вечной мерзлоты. Дальнейшее накопление данных по температурному мониторингу позволит уточнить предложенную модель и использовать эти данные при дальнейшем моделировании тепловых полей в зоне свайного фундамента.

Литература

Ваганова Н.А., Филимонов М.Ю. Прогнозирование изменений в вечной мерзлоте и оптимизация эксплуатации инженерных систем // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Математика, механика, информатика. Т. 13, № 4 – 2013 – С. 37–42.

Громадский А.Н., Арефьев С.В., Волков Н.Г., Камнев Я.К., Синацкий А.И. Дистанционный контроль за температурным режимом вечномёрзлых грунтов под зданиями г. Салехард // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. № 3 (104) – 2019 – С. 17–21. DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.104.3.003

Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003 – 784 с.

Шенин А.Н., Камнев Я.К. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемерзлых пород в естественных и антропогенных условиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. № 4 (109) – 2020 – С. 52–57. DOI:10.26110/ARCTIC.2020.108.3.007

Filimonov M., Vaganova N. Permafrost thawing from different technical systems in Arctic regions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 72 – 2017 – P. 012006. DOI:10.1088/1755-1315/72/1/012006.

Vaganova N., Filimonov M. Simulation of freezing and thawing of soil in Arctic regions. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Vol. 72 – 2017 – P.012006. DOI:10.1088/1755-1315/72/1/012005.

Vaganova N.A., Filimonov M.Yu. Simulation of Cooling Devices and Effect for Thermal Stabilization of Soil in a Cryolithozone with Anthropogenic Impact. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 11386 – 2019 – Pp. 580–587. DOI:10.1007/978-3-030-11539-5_68.