

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ АЭРОПОРТА ОЛЕКМИНСК

NUMERICAL SIMULATION CHANGE PERMAFROST CONDITIONS OF THE RUNWAY AIRPORT OLEKMINSK

A. Zhirkov,

*candidate of engineering sciences,
researcher;*

M. Zhelezniak,

doctor of geological-mineralogical sciences;

M. Shatz,

*candidate of geographics sciences,
leading researcher;*

M. Sivtsev,

engineer,

*the Melnikov Permafrost Institute, Siberian branch RAS,
Yakutsk.*

The natural and climatic conditions of the area of the airport «Olekminsk» in Yakutia are highlighted, the unfortunate combination of which in the runway area has led to the development of negative phenomena attributed to two categories. First, degradation of the permafrost roof and a change in soil temperature are observed within the runway and adjacent territories, and forms of subsidence microrelief are formed. Secondly, the runway cover is made of local soils, poorly adapted to the periodic influx of significant amounts of moisture, mainly of atmospheric origin, and coming into a plastic state. Based on the results of numerical modeling of changes in geocryological conditions for a period of 5 years, the most optimal option for reconstruction according to the first principle is the period from January to April. A set of compensatory measures to improve the reliability of the facility is recommended.

Keywords: numerical modeling, permafrost conditions, active layer, negative cryogenic processes, runway, Yakutia.

Развитие и функционирование всех отраслей народного хозяйства Якутии с её обширной территорией во многом определяется состоянием и эффективностью деятельности различных видов транспорта. Учитывая сложные и разнообразные природные условия республики, одним из основных видов является воздушный транспорт, в условиях бездорожья и сезонной работы играющий важную роль и единственным средством круглогодичного сообщения для отдаленных районов.

Проблемы авиации требуют комплексного решения правовых, технических, организационных и финансовых вопросов. Непринятие действенных мер по созданию условий для успешного развития авиации может привести к необратимым социально-экономическим последствиям, труднодо-

А.Ф. Жирков,

научный сотрудник;

М.Н. Железняк,

доктор геолого-минералогических наук,

профессор,

директор;

М.М. Шац,

кандидат географических наук,

ведущий научный сотрудник;

М.А. Сивцев,

инженер,

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова

СО РАН,

г. Якутск.

Ключевые слова: численное моделирование, геокриологические условия, глубина протаивания, негативные криогенные процессы, взлётно-посадочная полоса, Якутия.

тупные районы Якутии по-прежнему будут отставать в своём экономическом развитии [10].

В последнее время наметились решения по обновлению парка самолетов, обслуживающих республику. За время реализации Транспортной стратегии Республики Саха (Якутия) с 2010 г. парк воздушных судов региональных авиакомпаний пополнился самолетами разных типоразмеров для эксплуатации, как на местных, так и магистральных линиях.

Тем не менее, пока множество проведенных преобразований в транспортном комплексе так и не выработали оптимальной организационной формы функционирования транспортной системы, особенно для условий Севера. Исследование опыта зарубежных «северных» стран (Канада, Финляндия, США, Норвегия и др.) позволяет выделить основные направления государственного регулирования процессов социально-экономического развития и решения проблем транспортного обеспечения северных территорий:

- ✦ разработка механизмов государственной поддержки;
- ✦ разработка мер по укреплению доходной базы северных территорий;
- ✦ включение северных территорий в общенациональные программы развития.

Основной объект данной публикации — аэропорт «Олёкминск» обслуживает потребности одноименного района Якутии и расположен в 3 км от центра города.

Аэропорт был создан во время Великой Отечественной войны и использовался для посадки американских самолётов, поставляющих товары по лендлизу, поскольку аэропорт в Якутске не годился для этих целей из-за менее удачного местоположения и часто был покрыт морозным туманом.

В июле 1941 года Государственный комитет обороны принял решение о строительстве особой воздушной трассы

Уэлькаль-Красноярск протяженностью более 5000 км для ускоренной доставки из США самолетов, предоставленных по лендлизу. Аэропорт «Олекминск» был открыт в 1942 году, через него по авиатрассе «Аляска-Сибирь» было доставлено боевые самолёты, следующие из США на фронт [9].

Создание воздушной трассы, проходившей большей частью над труднодоступными и малоосвоенными районами, было осуществлено в небывало короткий срок — менее чем за год. К июню 1942 года завершилось сооружение основных объектов, а в ноябре этого года началась перегонка самолетов.

15 ноября 1942 года считается днем основания аэропорта «Олёкминск». Всего за время функционирования воздушной трассы Уэлькаль-Красноярск было доставлено для нужд фронта 7928 самолетов, и почти все они совершали посадки в аэропорту Олёкминска.

Второй всплеск интенсивности работ, выполняемых олёкминскими авиаторами, приходится на вторую половину семидесятых годов, период становления и развития геолого-разведочных работ в республике.

Основная цель настоящей публикации — теплотехнический прогноз динамики инженерно-геокриологических условий территории аэропорта Олекминск, направлена на решение проблемы, способной серьезно ухудшить надежность эксплуатации объекта в ближайшие годы. Статья будет полезна для студентов и специалистов области эксплуатации инфраструктуры авиационной отрасли.

Краткая характеристика природно-геокриологических условий района исследований

Существующий аэропорт «Олёкминск» обслуживает территорию Республики Саха (Якутия) и имеет воздушные связи с различными населенными пунктами республики и г. Иркутском.

Аэропорт г. Олёкминска находится на территории Приленского плато, поверхность которого здесь прорезается сетью больших и малых рек бассейна р. Лены. Схема местоположения участка работ показана на *рис. 1*.



Рис. 1. Местоположение участка исследований.

Район характеризуется резко континентальным климатом с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом, с быстрыми переходами от холодного времени к теплу и наоборот. Среднее годовое количество осадков 315 мм., а толщина снежного покрова 37 см. Максимальная температура воздуха летом $+36^{\circ}\text{C}$, и зимой -57°C .

Согласно мерзлотно-ландшафтной карте Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 [5] территория исследований расположена в области прерывистого и островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) с тальми породами по тектоническим зонам и под крупными водоемами. Мощность ММП, на территориях их развития, в большинстве случаев варьирует от 80 до 200 м, а среднегодовая температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд т.е. на 10-15 м около -2°C .

Мощность деятельного слоя на различных участках изменяется от 2,0 до 3,0 м. Тип местности средневысотный террасовый (*рис. 2*), температура грунтов в которых варьирует от 0°C до $-1,5^{\circ}\text{C}$ [5].



Рис. 2. Фрагмент мерзлотно-ландшафтной карты [5]. Прямоугольником выделен участок работ.

В данной статье используются данные инженерно-геологических изысканий ООО «Геопроектизискания» (2014 г.) и Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (1991 г.).

По материалам изысканий 1991 г. на большей части территории аэропорта Олёкминск на глубине 10 м преобладали температуры пород от $-3,8^{\circ}\text{C}$ до $-4,5^{\circ}\text{C}$ (июль 1991), а глубина протаивания варьировала от 1,8 до 2,4 м. В нижней части ВПП были обнаружены мощные слои высокотемпературной мерзлоты, с температурой от $-0,3^{\circ}\text{C}$ до $-0,7^{\circ}\text{C}$, а в районе профилей 12-14 на глубине 6-8 м были вскрыты повторно-жильные льды. Еще ниже по склону на глубинах 9-10 м залежали суглинки с горизонтально-слоистой криогенной текстурой.

По представленным для прогноза материалам инженерно-геологических изысканий 2014 г на ВПП и прилегающих к нему территориях развиты прерывистые мерзлые толщи с температурой от $+0,7^{\circ}\text{C}$ до $-1,3^{\circ}\text{C}$. Неудачное сочетание грунтово-климатических условий в районе ВПП обусловило развитие негативных явлений, отнесенных к двум категориям. Во-первых, в пределах ВПП и прилегающих к ней территорий наблюдается деградация кровли ММП и изменение температуры грунтов, вследствие изменения климата по сравнению с данными 1991 г. Под действием этого образуются формы просадочного микрорельефа, осложняющие ландшафт в районе ВПП.

Второе, покрытие ВПП аэропорта «Олекминск» выполнено из местных грунтов, плохо приспособленных к периодическому поступлению значительных объемов влаги в ос-

новном атмосферного происхождения и приходящих в пластичное состояние, выводящее объект из строя.

Очевидно, что развитие столь негативных криогенных явлений в пределах важнейшего объекта аэропорта принципиально угрожает его надежности и безопасности в целом. Это обуславливает необходимость проведения серьезных стабилизационных мероприятий, о чем будет сказано в последующих разделах.

Методика исследований

В зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП), одной из основных задач при проектировании зданий и сооружений является обоснованное определение принципа использования многолетнемерзлых толщ (I или II принцип) [6]. Также необходимо обоснование момента начала строительства или реконструкции. Выбор принципа и начала работ осуществляется по результатам геокриологического прогноза - теплотехнических расчетов, учитывающего множество факторов, таких как: строение, состав и свойства грунта, метеорологические условия, температура каждого инженерно- геологического элемента до начала строительства, тепловое воздействие от зданий и сооружений в период эксплуатации. При проведении таких прогнозных расчетов в условиях криолитозоны одними из важных задач являются характеристика теплового состояния грунтов и глубины их протаивания в процессе эксплуатации сооружения, которые определяют устойчивость и надежность сооружения.

Frost 3D Universal [7] (Приложение Б) – программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса в многолетнемерзлых грунтах с учётом влияния внешних тепловых воздействий. Этот комплекс позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов ММП в условиях теплового влияния трубопроводов, добывающих скважин, зданий, гидротехнических и других сооружений с учетом термостабилизации грунта.

Математическая модель

Расчет нестационарной задачи распространения тепла в трехмерном пространстве [4] в программе Frost 3D Universal основан на широко апробированном уравнении теплопроводности (1.1), в котором учтены фазовые превращения и перенос тепла за счет конвекции:

$$(C(T) + \rho_b L \times \frac{\partial w_w(T)}{\partial T}) \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-\lambda(T)\nabla T) + C_w u \nabla T = 0, \quad (1.1)$$

где T – температура, °; $C(T)$ – зависимость объемной теплоемкости грунта от температуры, Дж/(м³·°); $w_w(T)$ – зависимость количества незамерзшей воды в грунте от температуры, д. е.; ρ – плотность грунта, кг/м³; L – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг; t – время, с; $\lambda(T)$ – зависимость теплопроводности грунта от температуры, Вт/(м·°); C_w – объемная теплоемкость воды, Дж/(м³·°); u – вектор скорости фильтрации грунтовых вод, м/с.

В рассматриваемой модели теплопереноса при промерзании-протаивании фазовый переход локализован на поверхности раздела фаз (при определенной температуре). Это принято из-за того, что в конкретном рассматриваемом случае, грунты имеют фоновое (нормальное) содержание количества незамерзшей воды, поэтому проводить расчеты процесса промерзания-протаивания в спектре температур не целесообразно.

Для всех имеющихся в моделируемой области типов грунтов и горных пород, а также материалов заданы соответствующие физические и теплофизические свойства. Также для всех используемых в модели условий теплообмена определены параметры граничных условий. За верхнее граничное условие брались:

Граничное условие третьего рода (теплообмен по Ньютону) (1.2), где необходимо задать зависимость температуры, коэффициента теплообмена, а также, при необходимости, дополнительного теплового потока от времени:

$$n \cdot (\lambda \nabla T) = \alpha(t) \cdot (T_{ext}(t) - T) + q_0(t); \quad (1.2)$$

где α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·°); T_{ext} – температура внешней среды, °; T – температура грунта, °; q_0 – тепловой поток, Вт/м²; t – время, с.

Расчет коэффициента теплопередачи (α) между поверхностью грунта и атмосферой, в зависимости от скорости ветра, осуществляется на основании уравнения Д.А. Куртнера и А.Ф. Чудновского [4]

Моделирование фильтрации грунтовых вод в программе Frost 3D Universal основано на широко апробированном уравнении фильтрации грунтовых вод (1.3), выведенном из закона Дарси [5]:

$$\nabla \cdot (-K \nabla H) = 0, \quad (1.3)$$

откуда вектор скорости фильтрации воды в грунте вычисляется по формуле (1.4):

$$u = -K \nabla H, \quad (1.4)$$

где H – гидравлический напор, м; K – коэффициент фильтрации, м/с; u – вектор скорости фильтрации воды.

В качестве гидрологического граничного условия доступно следующее:

✦ величина гидравлического напора, которая вычисляется по формуле (1.5):

$$H = H_{ext}(t), \quad (1.5)$$

где H_{ext} – скорость втекающего потока, м/с.

Решение уравнения теплопроводности в трёхмерной постановке осуществляется численно с помощью явного метода конечных разностей [9, 10]. Конечно-разностный метод является сеточным методом, т.е. расчётная область дискретизируется гексаэдрической сеткой, а решение происходит непосредственно в узлах сетки, для каждой из которых составляется разностное уравнение в соответствии с используемым шаблоном разностной схемы. Получается система линейных уравнений, решение которой позволяет получить необходимый результат в рассматриваемой расчётной области.

Особенности моделирования

Программный комплекс Frost 3D Universal предназначен для оценки теплового влияния различных тепловых источников на ММП: скважин, трубопроводов, зданий и других технических сооружений; т.е. рассматривается конкретно массив грунта, в котором и решается численно уравнение теплопроводности. Влияние всех этих объектов на ММП моделируется через граничные условия, т.е. нет необходимости,

моделировать всё сооружение или скважину со всеми её слоями, достаточно лишь задать их тепловое влияние на границе «грунт-объект». Это значит, что задача решается в одном направлении, т.е. определяется, как различные источники тепла влияют на тепловое состояние ММП, но не как ММП влияет на тепловое состояние строительных объектов, сооружений.

Исходные данные

За основу расчетов были взяты данные инженерно-геологических изысканий ООО «Геопроектизыскания» (2014) и Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (1991).

За параметры внешней среды были взяты среднемесячные значения температуры воздуха за последние 10 лет (табл. 1.) из интернет источников [8].

Таблица 1

Среднемесячные значения температуры воздуха.

Дата	Температура, °С
15.01.2020	-30,59
14.02.2020	-25,77
15.03.2020	-13,96
15.04.2020	-2,06
15.05.2020	8,08
15.06.2020	16,09
15.07.2020	18,23
15.08.2020	14,62
14.09.2020	5,92
14.10.2020	-4,69
14.11.2020	-20,03
14.12.2020	-30,09

Значение среднегодовой температуры воздуха, при этом, равнялось $-5,3^{\circ}\text{C}$.

Распределение температуры грунтов по глубине на участке расчетного профиля варьирует от $-0,3$ до $-25,7^{\circ}\text{C}$.

Теплофизические и физические свойства материалов (грунтов) представлены в табл. 2.

Результаты исследований

Используя вышеупомянутые исходные данные была сконструирована расчетная область (физическая модель) с параметрами: длиной 85 м; высотой 32 м. С целью получения более кондиционных данных расчетов бралась наклонная плоскость (на основе абсолютных отметок) с высотой насыпи от 1,5 м до 2,00 м. Расчетная область представляет собой часть ИВПП (половина от осевой части профиля), включающая: плиту ПАГ-14 (по представленной конструкции); грунтовое сопряжение; грунтовую часть за пределами ИВПП.

При геокриологическом прогнозе рассматривался вариант конструкции ИВПП – насыпь с теплоизолятором только под плитой ПАГ-14.

Этот вариант конструкции был смоделирован по трем сценариям:

- 1 сценарий – начало строительства с февраля месяца;
- 2 сценарий – начало строительства с июня месяца;
- 3 сценарий – начало строительства с ноября месяца.

В всех сценариях температурное распределение грунтов и возводимых насыпей отличаются в зависимости от времени года (месяца) (см. таблицу 2). Снежный покров отсутствует только над плитой ПАГ-14. Прогноз выполнен на 5 лет с 2020 по 2025 год.

С целью расчетов были сделаны следующие варианты: 1.1. – насыпь с теплоизолятором только под плитой, начало строительства с февраля; 1.2. – насыпь с теплоизолятором только под плитой, начало строительства с июня; 1.3. – на-

Таблица 2

Теплофизические параметры материалов и грунтов.

Наименование материала	λ , Вт/м·°С			C , Дж/м ³ ·°С			$T_{фл}$
	T	M	Един.	T	M	Един.	
Суглинок пылеватый, легкий, мягкопластичный	1,45	1,65		2710000	2210000		-0,2
Суглинок тугопластичный, кирпично-красный, с вкл. щебня аргиллита	1,43	1,6		2640000	2140000		-0,2
Супесь песчаная, массивная, текучая	1,61	1,72		2700000	2050000		-0,15
Непучинистый грунт	2,05	2,3		3038000	2133000		-0,58
Суглинок пылеватый, легкий, тугопластичный	1,44	1,59		2770000	2110000		-0,3
Суглинок пылеватый, легкий, текучепластичный	1,47	1,56		2480000	1880000		-0,29
Щебень осадочных пород - СП 121-13330-2019	1,4	2,05		1760000	1590000		0
Плита			1,9			1675000	0
Песок	2,09	2,35		2590000	2150000		-0,11
Пескоцемент СП 121-13330-2019	1,65	1,8		2010000	1540000		0
Пеноплекс			0,03			60000	0

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С; C – объемная теплоемкость, Дж/м³·°С; T – талое состояние; M – мерзлое состояние; Един. – единый в мерзлом и талом состояниях; $T_{фл}$ – теплота фазовых переходов, Дж/кг.

Таблица 3

Высота снежного покрова.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Высота снега, м	0,36	0,41	0,44	0,30	0	0	0	0	0	0,07	0,17	0,28

сыпь с теплоизолятором только под плитой, начало строительства с ноября.

Вариант 1.1. — подразумевает I принцип строительства, вследствие отсутствия данных о температуре грунтов ранее февраля месяца (материалы изысканий, представленные Заказчиком), было взято температурное распределение грунтов и насыпи в феврале.

Вариант 1.2. — подразумевает II принцип строительства, для оценки возможности устройства насыпи грунтового сопряжения в теплое время года.

Вариант 1.3. — предполагает начало строительства с ноября 2020.

Результаты расчета глубины протаивания представлены в таблице 4.

В таблице 4 приведены максимальные глубины протаивания на 3 выбранных участках: 1 — юго-восточная часть от ИВВП на грунте; 2 — юго-восточная часть от плиты на насыпи; 3 — под плитой (рис. 3).

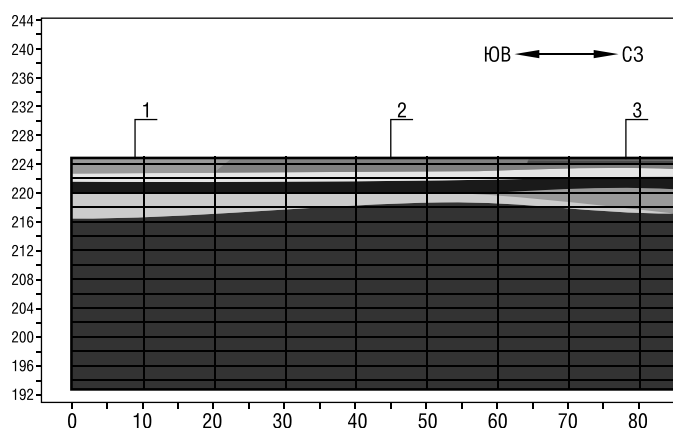


Рис. 3. Схема расположения участков замера глубины протаивания.

По результатам численного моделирования были построены графики изменения фронта протаивания за 5 лет по разным участкам (а, б, в) и вариантам (1.1.; 1.2.; 1.3.) (рис. 4).

В результате, вне ИВПП в грунтах наблюдается практически идентичная динамика глубины протаивания, не более 5 см (см. рис. 4а).

Под плитой (см. рис. 4в) глубины протаивания идентичны и варьируют в пределах 1 см. Это объясняется наличием теплоизолирующего слоя под плитой на этой глубине.

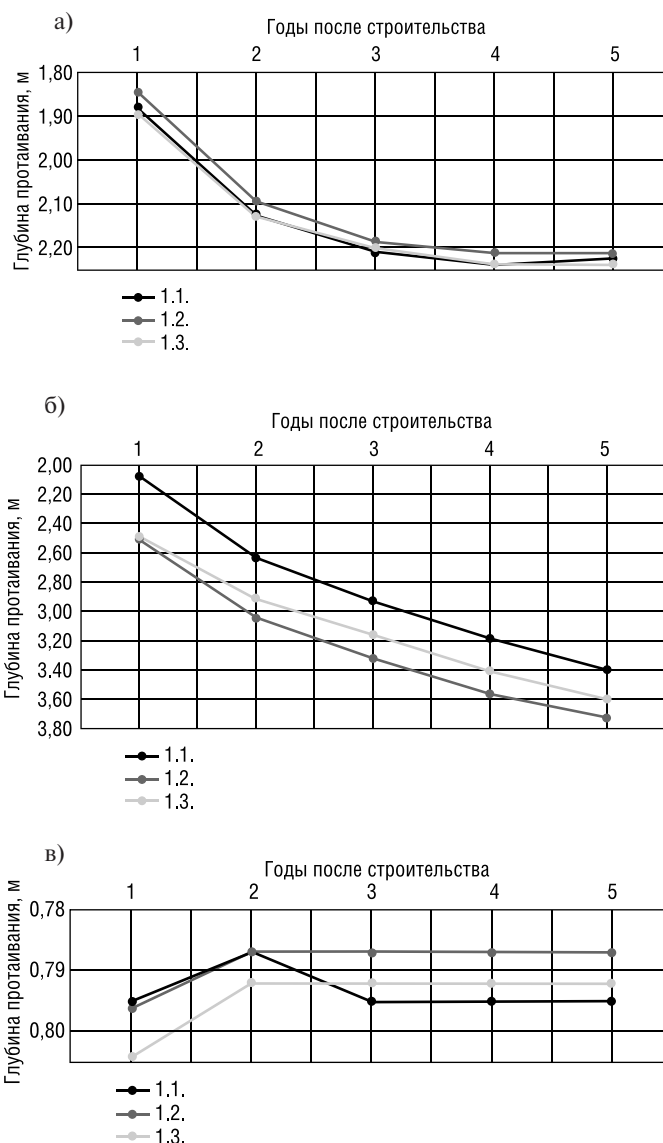


Рис. 4. Изменение фронта промерзания за 5 лет.

а. В грунтах; б. В насыпи; в. Под плитой.

Наибольшее протаивание грунтов и его различие по всем сценариям, наблюдается под насыпью (грунтового сопряжение). Здесь максимальное протаивание наблюдается в варианте 1.2. (начало строительства в июне). Разница глубины протаивания между разными вариантами изменяется от 20 до 40 см. Минимальные протаивания наблюдаются, как и пред-

Таблица 4

Максимальная глубина протаивания, м.

Года	Участок								
	1. В грунтах			2. В насыпи			3. Под плитой		
	1.1.	1.2.	1.3.	1.1.	1.2.	1.3.	1.1.	1.2.	1.3.
1	1,88	1,89	1,84	2,07	2,50	2,49	0,79	0,79	0,80
2	2,12	2,13	2,09	2,63	3,04	2,91	0,78	0,78	0,79
3	2,21	2,20	2,18	2,93	3,32	3,16	0,79	0,78	0,79
4	2,24	2,23	2,21	3,18	3,56	3,41	0,79	0,78	0,79
5	2,22	2,23	2,21	3,40	3,73	3,59	0,79	0,78	0,79

полагалось, при I принципе строительства (вариант 1.1. — начало строительство с февраля месяца).

В варианте 1.2. (начало строительства с июня), как уже отмечалось, наблюдается максимальное протаивание и образование высокотемпературной мерзлоты до глубины 5 метров. Происходит деградация верхней кромки мерзлоты (см. рис. 4б).

В варианте 1.3. (начало строительства с ноября) значения хода глубины протаивания лучше, чем в варианте 1.2., однако хуже, чем 1.1. (см. рис. 4б). Здесь, как показывает распределения температуры грунтов, по нашим расчетам, в ноябре талая зона смыкается (рис. 5).

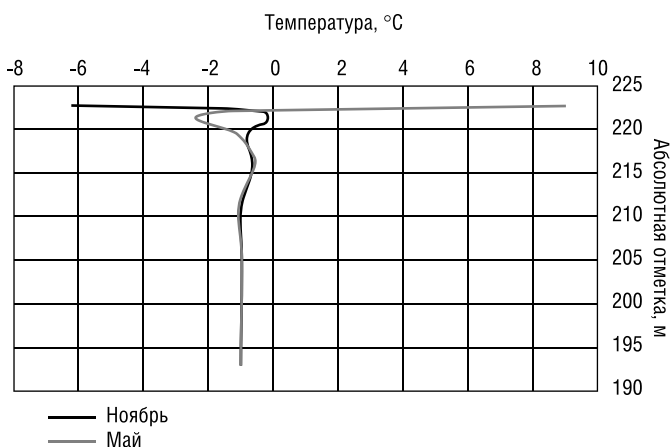


Рис. 5. Распределение температуры грунтов по глубине в конце ноября первого года вне ИВПП.

Тем не менее, I принцип строительства означает не только сохранение мерзлого состояния оснований, но и предполагает максимальный запас холода. По этой причине, начало строительства полосы с ноября 2020, по-нашему мнению, не представляется возможным.

Для устройства основания насыпи и грунтового сопряжения наиболее оптимальным является вариант 1.1., который по всем характеристикам подходит к проектному решению для данных условий с учетом изменения климата и геокриологической обстановкой участка.

Оценка возможности продления строительных работ до конца мая можно оценить по температурному распределению грунтов на конец мая (см. рис. 5).

В конце мая (по расчетам) грунты протаивают на 56 см, и имеют в этот период еще достаточный запаса холода (см. рис. 5). На основании этого, считаем, что срок окончания работ можно продлить до конца мая.

Изменение температурного режима грунтов варианта 1.1. представлены на рисунке 6.

Заключение

В процессе прогноза были выполнены 3 расчета по разным сценариям, которые производились с учетом фактического геологического строения, физических свойств грунтов с учетом фазовых переходов воды в грунтовом основании. Расчетный период составлял 5 лет.

По результатам численного моделирования изменения геокриологических условий на период в 5 лет, наиболее оптимальным вариантом, с учетом изменения глубины протаивания и температурного режима для строительства по I принципу, является период с января по апрель, при необходимости

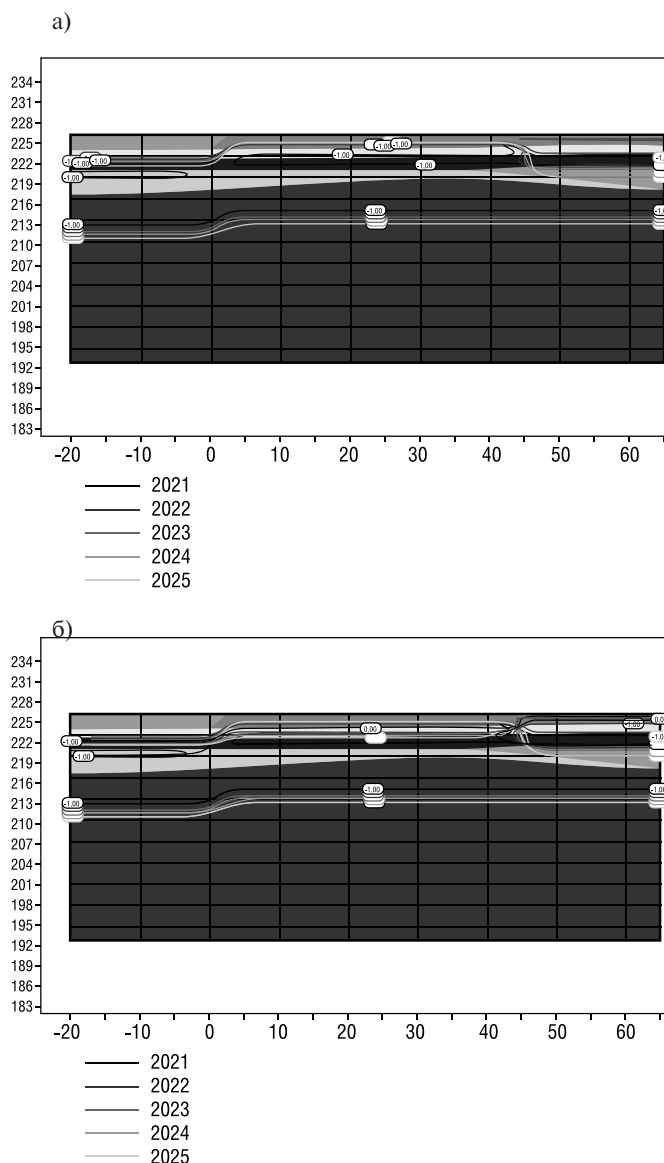


Рис. 6. Температурное распределение в середине марта (а) и в середине сентября (б) 2021-2025 гг.

и определенных условиях, этот срок можно продлить до конца мая. Такой режим строительства обусловлено климатическими и сложными геокриологическими условиями района аэропорта «Олёкминск».

Обязательным мероприятием функционирования ВПП в данных природных условиях должны быть тепло- и влагоизоляция откосов насыпи. Эти меры необходимы для защиты сооружения от процессов термопросадки и эрозии.

Территория аэропорта Олёкминск имеет сложные геокриологические условия и орографическое положение. Изменение динамики и периодов выпадения аномальных атмосферных осадков, а также аномально теплые зимние периоды, которые не учитываются в модели, могут привести к серьезным последствиям и нежелательному развитию криогенных процессов.

Для максимального охлаждения насыпи и подстилающих грунтов рекомендуется, в следующем сезоне строительства предварительное, перед обустройством основания насыпи и грунтового сопряжения, удаление в течение всей зимы снежного покрова.

Следует отметить значительные изменения геокриологических условий в пределах аэропорта Олекминск в период с 1991 по 2014 гг. Если эти тенденции будут сохраняться, то в ближайшее время может произойти полная деградация мерзлых толщ.

Учитывая происходящие климатические изменения, обязательным условием для контроля состояния насыпи и разработки превентивных мероприятий по обеспечению устойчивости ВПП и аэродромного хозяйства, является создание системы контроля (мониторинга) за состоянием грунтов и развитием криогенных процессов. Это может быть достигнуто оборудованием для специальных наблюдений 3-5 скважин и осуществлением контроля (геофизическими методами) за состоянием ключевых участков.

В настоящий момент, одним из превентивных мероприятий возможного сокращения темпов деградации мерзлых толщ на территории ВПП является удаление снежного покрова в зимний период с поверхности ВПП и насыпи.

Реконструкция взлетно-посадочной полосы аэропорта Олекминск вошла в «Комплексный план модернизации

и расширения магистральной инфраструктуры Якутии до 2024 года» за счет средств Федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Дальневосточного федерального округа» до 2026 года. Техническое задание включает такие работы, как:

- ✧ поэтапная реконструкция существующей грунтовой ВПП с укладкой на выравнивающий слой из пескоцементной смеси плит ПАГ-14, длина новой искусственной взлетно-посадочной полосы составит 1772,94 м, ширина – 36 м;
- ✧ строительство нового пассажирского перрона, который соединяется с ИВПП и рулежной дорожкой;
- ✧ оснащение ИВПП с двух направлений посадки средствами радиотехнического обеспечения полетов и светосигнальным оборудованием ОМИ;
- ✧ строительство сетей связи и электроснабжения с трансформаторными подстанциями.

В сочетании с упомянутым мониторингом, это несомненно позволит повысить достоверность прогноза состояния инфраструктуры и эффективность реконструкции объекта в целом. ■

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИМЗ СО РАН АААА-А20-120111690010-2 Тепловое поле и криогенная толща Северо-Востока России. Особенности формирования и динамика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куртнер Д. А. Чудновский А. Ф. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте - л: Гидрометеиздат, 1969.
2. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации. Москва: Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2009. 88 с.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. 3-е-е изд. Москва: Наука, 1989. 616 с.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. Москва: Научный мир, 2003. 316 с.
5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1 500 000 / Ред. М.Н. Железняк. - Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. - 4 у.и.л.
6. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с Изменением N 1). Москва. 2013.
7. Специализированный программный комплекс Frost 3D. Сертификат соответствия № РОСС RU.НА36.Н04808, выданный центром сертификации программной продукции в строительстве.
8. <https://fp5.ru/>.
9. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D1%91%D0%BA%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA_\(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D1%91%D0%BA%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA_(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82)).
10. <https://yakutiamedia.ru/news/901184/?from=70>.



SOKKIA GX-105L



МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ДАЛЬНОМЕР REDTECH ПОЗВОЛЯЕТ УВЕРЕННО ИЗМЕРЯТЬ РАССТОЯНИЯ БЕЗ ОТРАЖАТЕЛЯ ДО 500 МЕТРОВ. БЛАГОДАРЯ ПОСЛЕДНИМ ТЕХНИЧЕСКИМ РАЗРАБОТКАМ СТАЛИ ВОЗМОЖНЫ БЫСТРЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ТРУДНОДОСТУПНЫЕ ЦЕЛИ - ТЕМНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ, УГЛЫ ЗДАНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ. ЛЮКИ, ПРОВОДА, ИЗМЕРЕНИЯ СКВОЗЬ ЛИСТВУ, ВЕТВИ, ЗАБОРЫ И ПОДОБНЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ. ОПЕРАТИВНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЕК ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДИТСЯ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНОЙ КЛАВИШИ НА КЛАВИАТУРЕ. А БЫСТРЫЙ ЗАПУСК ИЗМЕРЕНИЙ ВЫПОЛНЯЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ КЛАВИШИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА БОКОВОЙ ПАНЕЛИ ИНСТРУМЕНТА. ЭТА ФУНКЦИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ПРОВОДИТЬ ИЗМЕРЕНИЯ, НЕ ОТРЫВАЯСЬ ОТ ОКУЛЯРА И НЕ ТЕРЯЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ НАВЕДЕНИЯ НА ЦЕЛЬ.

ГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД СОСТАВЛЯЕТ 5 ЛЕТ



ООО «Геомар Недра», 127521, Москва, 17-й проезд Марьиной рощи, д.9
Тел./факс (495) 618-7001, 618-0510, e-mail: geomarnedra@mail.ru