

**Перспектива**

УТВЕРЖДЕНА СХЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ

Управление проектами

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА
НЕФТЕГАЗОВЫХ ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРАКТИКА
ИХ РЕШЕНИЯ В СВЕТЕ ОПЫТА EPC-КОНТРАКТОВАНИЯ

Техника и технологии. Производство

«САХАЛИН-3»: ОПЫТ ОБУСТРОЙСТВА
КИРИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ

Безопасность и эксплуатационная надёжность

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ОТКАЗОВ
НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Экономика

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

«Великий и Отечественный труд...»

«ГАЗ УРЕНГОЯ – МИРУ!..»
К 30-ЛЕТИЮ ВВОДА В СТРОЙ ГАЗОПРОВОДА УРЕНГОЙ – ПОМАРЫ – УЖГОРОД

УЧРЕДИТЕЛИ:

Российский Союз
Нефтегазостроителей,
СРО НП «Нефтегазстрой»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**Председатель совета**

В.Г. Чирсков, д-р техн. наук,
профессор

Главный редактор

В.П. Курамин, д-р техн. наук,
профессор

В.К. Иванец, д-р техн. наук, профессор

О.М. Иванцов, д-р техн. наук,
профессор

В.А. Лагутин

Р.У. Маганов

В.Г. Нагаев

В.М. Павлюченко, д-р техн. наук,
профессор

В.А. Рунов, канд. ист. наук, профессор

П.А. Ревель-Муроз

М.С. Якибчук

РЕДАКЦИЯ:

Информационно-издательский отдел
СРО НП «НГС»

Начальник отдела: И.Е. Асташкин

Редактор: М.В. Якушин

Дизайнер: Д.С. Парсаданян

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-42406 от 21.10.2010 г.

ISSN 2307-0498

Редакция не несёт ответственности
за достоверность информации,
опубликованной в рекламных
объявлениях

Перепечатка и иное коммерческое
использование материалов
допускается только с разрешения
редакции

Отпечатано в типографии
ООО «Юнион Принт»,
г. Нижний Новгород
Тираж 1000 экз.

«Журнал нефтегазового строительства»
распространяется адресно среди
отраслевых и федеральных структур

© «Журнал нефтегазового
строительства», 2013

Адрес редакции:

119571, г. Москва,

ул. Академика Анохина, д. 11

Тел.: (495) 745 8886, доб. 132, 133, 134

Факс: (495) 276 1972

E-mail: magazine@npngs.ru

www.npngs.ru/magazine

В СРО НП «НГС»**3 НОВОСТИ ПАРТНЁРСТВА****Перспектива****4 УТВЕРЖДЕНА СХЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ**

Приводится перечень нефтегазотранспортных объектов, ввод в строй которых в период до 2030 г. предусмотрен схемой территориального планирования трубопроводного транспорта России, утверждённой Председателем Правительства РФ.

5 ДАН СТАРТ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СПГ-ПРОЕКТА НА САХАЛИНЕ

О планируемой реализации совместного проекта компаний «Роснефть» и «ЭксонМобил» – строительстве в Сахалинской области завода по производству сжиженного природного газа.

Форумы. Выставки. Конференции**6 «ГЛАВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ГОДА ДЛЯ ГЛАВНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ»**

Информация о 12-й Московской международной выставке «НЕФТЬ и ГАЗ – 2013» и 11-м Российском нефтегазовом конгрессе.

Управление проектами**7 М.М. Полонский, Группа компаний «Промстрой»****ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРАКТИКА ИХ РЕШЕНИЯ В СВЕТЕ ОПЫТА ЕРС-КОНТРАКТОВАНИЯ**

Рассматривается проблема оптимального использования кадровых и материально-технических ресурсов строительных компаний и повышения эффективности контрактования.

Техника и технологии. Производство**10 А.В. Коликов, ОАО «Межрегионтрубопроводстрой»****«САХАЛИН-3»: ОПЫТ ОБУСТРОЙСТВА КИРИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ**

Российская компания «Межрегионтрубопроводстрой» впервые в практике отечественного нефтегазового строительства осуществила комплексное обустройство морского газоконденсатного месторождения.

14 В.И. Коваленко, Simmakers Ltd.**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ FROST 3D ДЛЯ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ВЕЧНОМЁРЗЛОМ ГРУНТЕ ПРИ ЕГО ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ**

Рассматривается применение программного комплекса Frost 3D к задачам расчёта трехмерных температурных полей при проектировании оснований и фундаментов, возводимых в областях вечной мерзлоты.

19 А.А. Башлыков, ООО «ТАСМО-БИТ»**КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ В ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ**

Рассмотрены принципы интеллектуализации процессов решения задачи стабилизации частоты в энергосистемах. Предложена и рассмотрена экспертная модель описания области решения задачи и алгоритмы поиска управляющих решений.

Безопасность и эксплуатационная надёжность**26 Г.Г. Васильев, Ю.А. Горяинов, А.Н. Лаврентьева,**

РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ОТКАЗОВ НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Проводится качественный анализ технологических рисков отказов при строительстве морских трубопроводов. Приводится перечень потенциальных опасных ситуаций при сооружении объекта, а также количественное описание риска отказа на стадии строительства морского трубопровода.

Безопасность и эксплуатационная надёжность**30 В.А. Котляревский, МГТУ им. Н.Э. Баумана****МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ПОЭТАПНЫМ ДЕЙСТВИЕМ РАЗНОТИПНЫХ НАГРУЗОК**

В целях оценки предельных состояний представлен метод упруго-пластического моделирования напряжённо-деформированного состояния магистральных трубопроводов, поэтапно нагружаемых по различным сценариям температурным перепадом и внутренним давлением. Расчёт основан на деформационной теории с использованием нелинейной диаграммы растяжения-сжатия металла. В программном алгоритме предусмотрена возможность учёта внутренних давлений от прогрева нефти в трубопроводе при полной конденсации паровой фазы.

36 А.Ф. Пужайло, Е.А. Спиридович, ОАО «Гипрогазцентр»**АНАЛИЗ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ**

Описан ход и представлены результаты анализа информации о трассовых условиях и технических характеристиках протяжённого участка магистрального газопровода с обнаруженными многочисленными дефектами КРН. Целью анализа ставится выявление факторов, влияние которых на возникновение и развитие стресс-коррозии доминантно.

Экономика**40 Л.В. Эдер, И.В. Филимонова, М.В. Мишенин, И.В. Проворная,**

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Рассматриваются итоги функционирования нефтяной промышленности России в 2012 году, анализируется её роль в мировой системе нефтеобеспечения, приводятся данные о добыче нефти в стране, нефтепереработке, структуре и динамике экспорта нефти и нефтепродуктов.

«Великий и Отечественный труд...»**48 В.Г. Чирсков, Российский союз нефтегазостроителей****«ГАЗ УРЕНГОЯ – МИРУ!...»**

К 30-ЛЕТИЮ ВВОДА В СТРОЙ ГАЗОПРОВОДА УРЕНГОЙ – ПОМАРЫ – УЖГОРОД

Посвящается 30-летию сдачи в эксплуатацию крупнейшего в мире экспортного магистрального газопровода, по достижении проектной производительности которого СССР вышел на первое место в мире по добыче газа.

52 В.А. Рунов, ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия ВС РФ»**СТАЛЬНОЕ РУСЛО «БОЛЬШОЙ» ТЮМЕНСКОЙ НЕФТИ**

К 40-ЛЕТИЮ ВВОДА В СТРОЙ НЕФТЕПРОВОДА САМОТЛОР – УСТЬ-БАЛЫК – КУРГАН – УФА – АЛЬМЕТЬЕВСК

Рассказывается о строительстве самого мощного в 1970-е годы в мире нефтепровода, в ходе которого был успешно реализован ряд организационных, управленческих, инженерных и экономических новаций, в дальнейшем взятых за основу при создании принципиально новых стратегии и тактики сооружения крупнейших трубопроводных магистралей.

57 В.А. Рунов, ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия ВС РФ»**ПЕРВЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ГАЗОНОСНЫЙ...**

К 60-ЛЕТИЮ ОТКРЫТИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ БЕРЕЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В результате применения метода ускоренного открытия новых нефтяных и газовых месторождений путём бурения опорных скважин в 1953 году была открыта Берёзовская группа месторождений.

Люди, дела, годы...**59 Р.И. КАЦЕНУ – 80****59 В.П. ЗИНЧЕНКО – 75****60 ПАМЯТИ ЮРИЯ ПЕТРОВИЧА БАТАЛИНА****64 SUMMARY. Abstracts. Keywords**

УДК 004.94:624.139.2

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ FROST 3D ДЛЯ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ВЕЧНОМЁРЗЛОМ ГРУНТЕ ПРИ ЕГО ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

При строительстве на вечномёрзлых грунтах необходимо долгосрочное прогнозирование распределения температур, с учётом которого применяются соответствующие технические решения для управления температурным режимом грунтов. В основе такого прогнозирования лежат результаты расчёта трехмерных температурных полей в основаниях и фундаментах сооружений, возводимых в областях вечной мерзлоты.

Согласно современным оценкам около 60 % территории России занимает область вечной мерзлоты. В то же время, именно здесь сосредоточено свыше 30 % разведанных запасов российской нефти и около 60 % природного газа [1]. Высокое содержание льда в грунте оказывает доминирующее влияние на свойства последнего при температурах близких к температуре фазового перехода «лёд – вода» и, таким образом, обуславливает принципы проектирования зданий и сооружений в области вечной мерзлоты. Многолетняя практика возведения и безопасной эксплуатации сооружений в условиях сезонного промерзания и оттаивания деятельного слоя грунта показала целесообразность проведения детальных геотехнических обоснований работ с последующим мониторингом [2, 3]. Такой подход позволяет достоверно прогнозировать процессы промерзания и оттаивания, а также сопутствующие им явления (термокарст, морозное пучение грунта, образование морозо-

бойных трещин и наледей, миграция влаги к фронту промерзания, разрушение криопёгов и пр.) и, таким образом, эффективно использовать современные материалы и технологии для снижения или исключения негативных воздействий на сооружение.

.....
согласно современным оценкам около 60 % территории России занимает область вечной мерзлоты. В то же время, именно здесь сосредоточено свыше 30 % разведанных запасов российской нефти и около 60 % природного газа
.....



КОВАЛЕНКО Валерий Иванович, технический директор Simmakers Ltd.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

3D-моделирование, вечная мерзлота, наукоёмкое программное обеспечение, задача Стефана, достоверные вычисления

Отмеченные выше детальные геотехнические обоснования работ сопряжены с определением трехмерного температурного поля в грунте (в частности, максимальной глубины и скорости промерзания грунта, времени образования твердомёрзлого грунта [4]). Эта задача представляет собой пример сложной и ресурсоёмкой проблемы, решение которой требует учитывать как происходящие в области моделирования фазовые переходы (т.е.

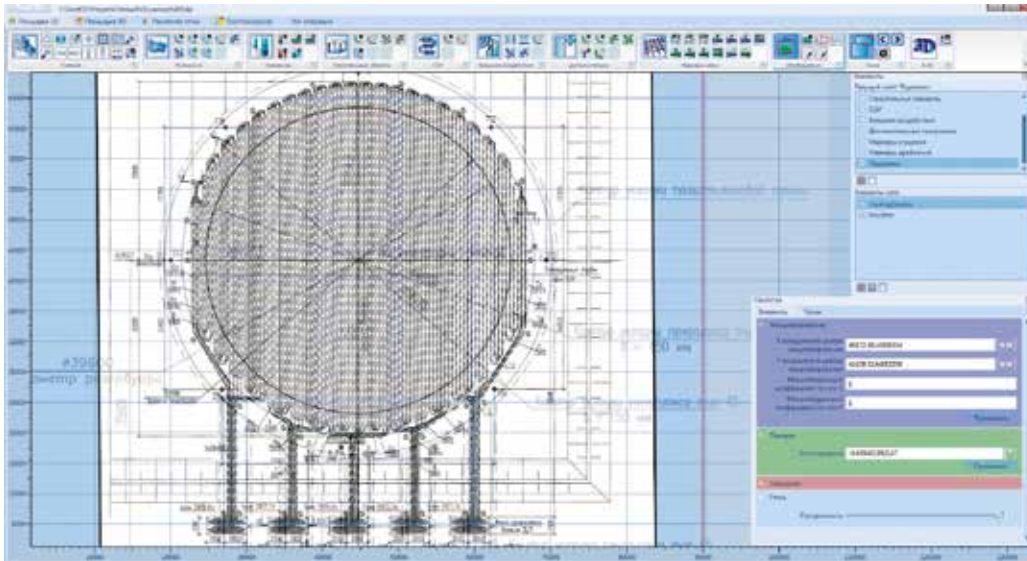


рисунок 1. Чертёж комплекса «резервуар – охлаждающие устройства», наложенный на двумерную площадку на первом этапе создания компьютерной модели в программе Frost 3D

решение задачи Стефана), так и крупные масштабы и неоднородности исследуемой области.

В данной статье рассматривается применение программного комплекса Frost 3D, разработанного компанией Simmakers по заказу ООО НПО «Фундаментстройаркос», для расчёта трехмерных температурных полей в основаниях фундаментов сооружений, возводимых в областях с вечной мерзлотой. Показано, что приведённые выше критерии эффективности программного обеспечения удовлетворяются, а достоверность получаемых результатов расчёта соответствует общепринятым критериям [5].

АКТУАЛЬНОСТЬ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ГРУНТАХ

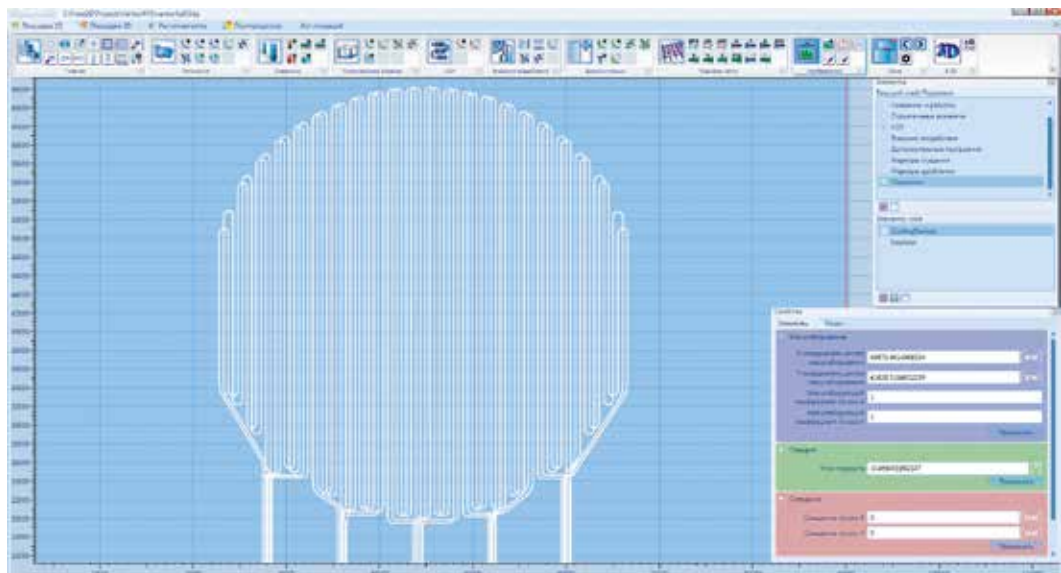
Во время сезонов оттаивания и промерзания деятельного слоя структура и свойства грунта могут претерпевать значительные изменения, учёт которых требует рассмотрения множества взаимосвязанных процессов, имеющих в своей основе как чисто тепловые, так и гидромеханические эффекты.

Тот факт, что в деятельном слое и в верхних слоях вечномёрзлых грунтов, подвергающихся наиболее резким тепловым воздействиям, температура является наиболее активным и изменяющимся параметром, выде-

ляет тепловые эффекты как доминирующий класс, требующий особого внимания. Именно изменение температуры грунта приводит к таким явлениям, как замерзание и оттаивание грунтов, миграция влаги к фронту промерзания, морозное пучение грунта, образование наледей и морозобойных трещин, солифлюкция и поверхностные оползни [6] и, таким образом, требует учёта при проектировании. Кроме того, эксплуатация строительных объектов на вечномерзлых грунтах часто предполагает применение методов термостабилизации, призванных контролировать температурное поле в грунте.

По этой причине сосредоточимся на рассмотрении именно задач

рисунок 2. Результат задания системы охлаждающих устройств в соответствии с чертежом, изображённым на рисунке 1



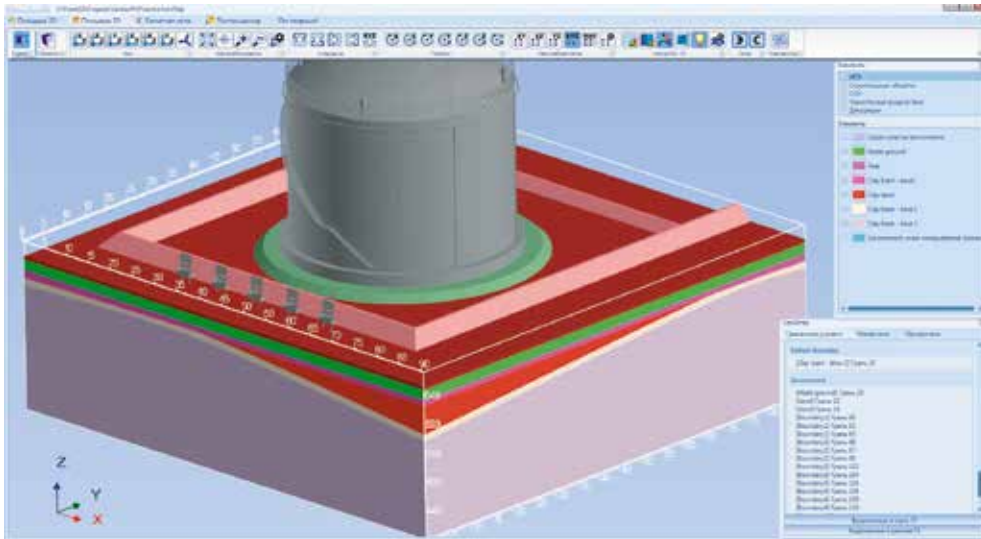


рисунок 3. Восстановленная трёхмерная область моделирования с заданной системой охлаждающих устройств и резервуаром

теплопередачи и тех проблем, которые возникают при их решении.

МЕТОДЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FROST 3D

Решение задачи, описанной в предыдущем разделе, требует рассмотрения нелинейного уравнения теплопроводности следующего вида:

$$C(T)_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k(T) \text{grad}(T)) + v \cdot \text{grad}(T) + f \quad (1)$$

где $C(T)_{\text{eff}}$ – эффективная теплоёмкость грунта, учитывающая наличие фазового перехода, $K(T)$ – теплопроводность грунта, v – вектор

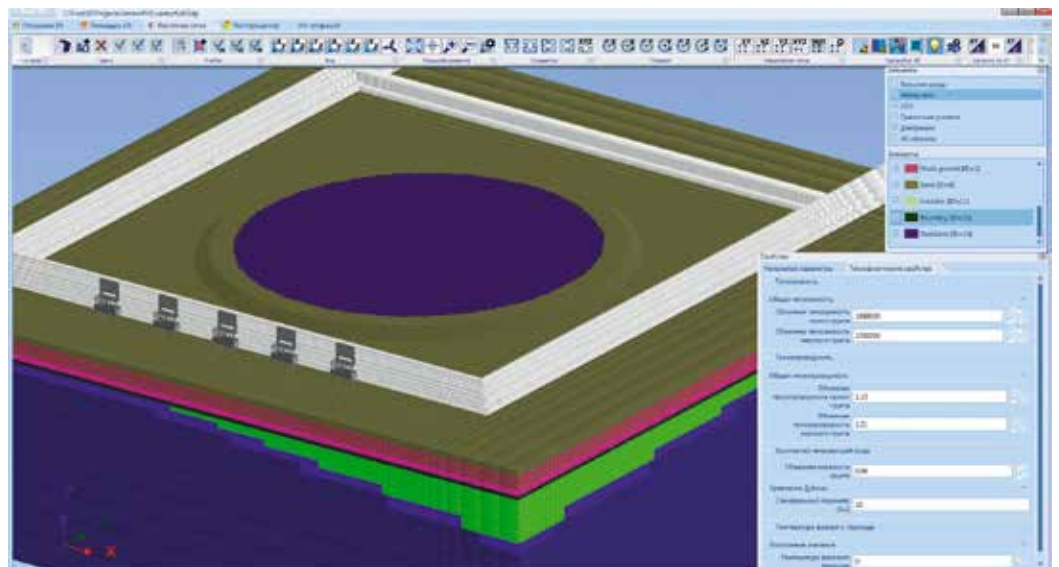
скорости движения влаги в порах грунта, f – функция, определяющая наличие источников или стоков тепла в грунте, $T(x, y, z, t)$ – трёхмерное поле температур, изменяющееся с течением времени. Видно, что теплоёмкость и теплопроводность грунта в каждой точке пространственной области зависят от температуры. Это является отражением факта взаимозависимости физических свойств грунта и температуры.

Известно, что уравнение (1) допускает аналитическое решение только в одномерном случае для полубесконечной прямой (что при проектировании фундаментов и оснований на вечномёрзлых грунтах не имеет никакой практической

ценности), а во всех остальных случаях необходимо применять численные методы решения.

При разработке численного метода решения уравнения (1) учитывался как отечественный [2, 4], так и зарубежный опыт [7] решения задач теплопередачи. В процессе разработки численного метода при решении задачи теплопередачи с фазовыми переходами были исследованы устойчивость, сходимость и вычислительная сложность наиболее широко используемых численных методов: метода конечных элементов, метода конечных разностей и метода переменных направлений. В результате в программном комплексе Frost 3D был реализован численный метод, в котором в зави-

рисунок 4. Дискретизированная трёхмерная область моделирования с заданной системой охлаждающих устройств и резервуаром



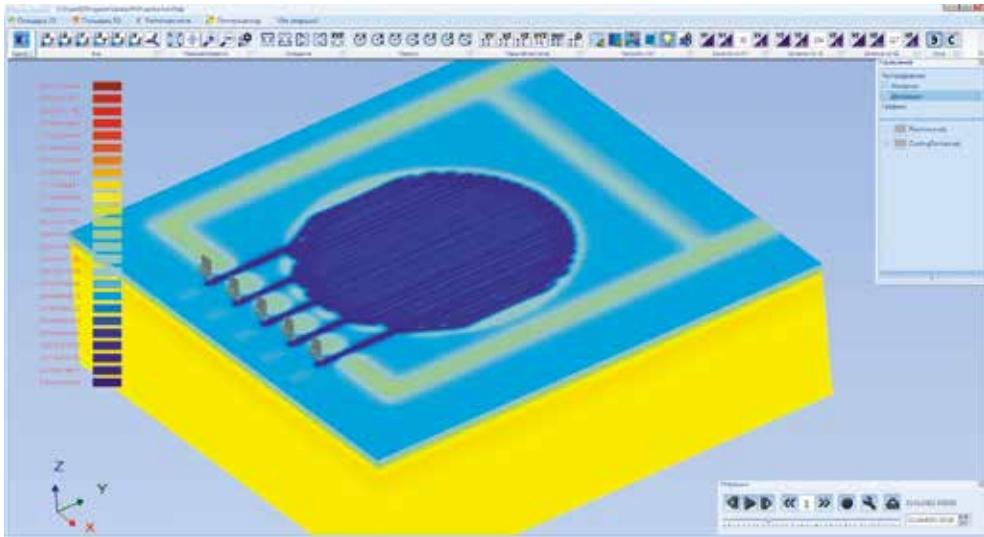


рисунок 5. Результат расчёта типовой компьютерной модели – продольное сечение расчётной области в месте расположения охлаждающих устройств; цветом отражено распределение трехмерного поля температур для момента времени, равного 90 дням с начала моделирования

симости от нелинейности задачи, величины скорости фильтрации и количества узлов расчётной сетки используется подход, обладающий наименьшей вычислительной сложностью.

.....
когда вся серия по-разному решённых задач приводит к одному и тому же выводу – получен верный результат

Для верификации численного метода результаты расчётов, полученные в программе Frost 3D, сравнивались с результатами расчётов широко известных программных комплексов ANSYS™ и COMSOL™, а также с аналитическими решениями. Отметим, что верификация расчётных программ путём сравнения результатов моделирования с результатами, полученными в программах, прошедших широкую апробацию, является общепризнанной. В частности, в работе [5] сформулирован критерий достоверности результатов: «Когда вся серия по-разному решённых задач приводит к одному и тому же выводу – получен верный результат». Результаты верификации показали, что про-

грамма Frost 3D не уступает по точности решения программам ANSYS™ и COMSOL™ и при этом осуществляет решение задачи теплопередачи с фазовыми превращениями на порядок быстрее.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Весь процесс создания компьютерной модели в программном комплексе Frost 3D разделён на три этапа:

1. Задание параметров двумерной площадки и восстановление площадки в трёхмерную область.
2. Выбор поверхностей, на которых будут задаваться различные граничные условия, и создание расчётной сетки.
3. Задание теплофизических параметров грунтов, используемых строительных материалов, граничных условий, режимов работы охлаждающих устройств, параметров расчёта и выполнение расчёта.

Рассмотрим каждый этап подробнее.

На первом этапе могут быть заданы линейные размеры области моделирования, неоднородности поверхности, наличие строительных объектов и сезонных охлаждающих устройств. На **рисунке 1** представлен чертёж комплекса «резервуар – охлаждающие устрой-

ства», наложенный на двумерную площадку.

На **рисунке 2** представлен результат задания системы охлаждающих устройств в соответствии с чертежом, изображённым на **рисунке 1**.

На втором этапе, когда двумерная площадка восстановлена в трёхмерную область (**рисунок 3**), предоставляется возможность выбора плотности пространственной сетки, а также создание однородной либо адаптивной сеток.

На третьем этапе, после создания расчётной сетки (**рисунок 4**) задаются значения теплоёмкости и теплопроводности слоев грунта в талой и в мёрзлой фазах, а также функциональные зависимости этих величин от температуры. Пользователем также задаются начальное распределение температуры, температура фазового перехода, параметры граничных условий и режимы работы охлаждающих устройств. Благодаря возможности задания изменяющихся во времени граничных условий и режимов работы охлаждающих устройств расчёт может производиться для больших промежутков времени, исчисляемых в годах.

По завершении третьего этапа пользователь отправляет созданную компьютерную модель на расчёт. Результат расчёта может быть визуализирован в удобных и наглядных формах – в виде графиков,

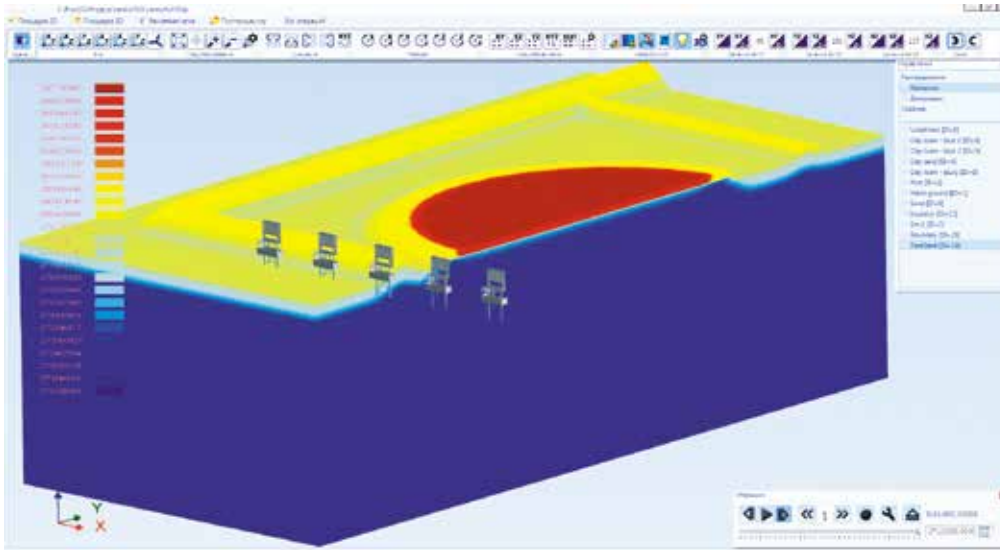


рисунок 6. Результат расчёта типовой компьютерной модели – поперечное сечение расчетной области; цветом отражено распределение трехмерного поля температур для момента времени, равного 1 году

изолиний или сечений трехмерной области.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ

На **рисунках 5 и 6** представлены результаты расчёта типовой компьютерной модели: изображено продольное и поперечное сечение расчётной области, показано цветное распределение температур. Расчёт производился для трёхмер-

ной пространственной сетки, состоящей из 3056328 гексаэдрических ячеек с 3131580 узлами; период времени, для которого вычислялось температурное поле, – 1 год. Время, затраченное на проведение расчёта на ПК с процессором Intel Core i3-2100, составило 179 мин. На сегодняшний день такая высокая скорость вычислений является беспрецедентной. Например, решение задачи теплопередачи с фазовыми превращениями в коммерческом программном комплексе ANSYS™

требует в десятки раз большего времени.

Следует отметить, что полученные значения температур являются физически правдоподобными, и при численном решении рассматриваемой задачи отсутствуют проблемы сходимости и устойчивости численного метода (поскольку в самой программе осуществляется автоматическое определение параметров численного метода, гарантирующие выполнение критерия устойчивости и сходимости).

ВЫВОДЫ

Как было отмечено, результаты типовых расчётов, полученные при помощи различных программных комплексов, совпадают. Таким образом, достоверность получаемых результатов расчёта удовлетворяет сформулированному выше общепризнанному критерию. Необходимо также отметить, что численные методы, реализованные в Frost 3D, прошли апробацию на Международном конгрессе инженеров (World Congress on Engineering, International Association of Engineers, Лондон, Великобритания) [8]. В работах [8, 9] показано, что в частном случае, для которого известно аналитическое решение задачи Стефана о фазовом переходе, аналитическое решение и численное решение, полученное в Frost 3D, совпадают, что также свидетельствует о достоверности получаемых результатов. Таким образом, программный комплекс Frost 3D может быть эффективно использован для создания компьютерной модели и расчёта трехмерного поля температур при проектировании оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах.

[1] Самая большая в мире территория распространения вечной мерзлоты // Информационный портал Русского географического общества. 10.01.12 URL: <http://www.rgo.ru/otkroj-rossiyu/kniga-rekordov/samaya-bolshaya-v-mire-territoriya-rasprostraneniya-vechnoj-merzloty/> (дата обращения: 04.07.13).

[2] Кудрявцев С.А. Численное моделирование процесса промерзания, морозного пучения и оттаивания грунтов. / Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – Т. 1, № 5. – С. 21–26.

[3] Улицкий В.М. Основы совместных расчетов зданий и оснований. / Развитие городов и геотехническое строительство. – 2006. – Т. 2, № 10. – С. 56–62.

[4] Абжалимов Р.Ш. Определение расчётных значений распределения отрицательной температуры в грунтах по глубине промерзания. / Развитие городов и геотехническое строительство. – 2007. – Т. 2, № 11. – С. 204 – 210.

[5] Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике. – СПб.: ПИ Геореконструкция, 2010. – 208 с.

[6] Магнушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов. – М.: Издво Ассоциации строительных ВУЗов, 2009. – 264 с.

[7] Thomas H.R., Cleall P., Li Y.C., Harris C., Kern-Leutschg M. Modelling of cryogenic processes in permafrost and seasonally frozen soils. (2009) *Geotechnique*. 59 (3), pp. 173 – 184. doi: 10.1680/geot.2009.59.3.173.

[8] Dauzhenka T.A., Gishkelyuk I.A. Quasilinear heat equation in three dimensions and Stefan problem in permafrost soils in the frame of alternating directions finite difference scheme. // *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013, WCE 2013, July 3 – 5, London, UK.*

[9] Dauzhenka T.A., Gishkelyuk I.A. Consistency of the Douglas – Rachford splitting algorithm for the sum of three nonlinear operators: Application to the Stefan problem in permafrost soils. (2013) *Applied and Computational Mathematics*. 2(4): pp. 100-108. doi: 10.11648/j.acm.20130204.11