

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.131.7

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-168-179

*Ю.В. ГРИГОРЬЕВА, Ю.И. ИГНАТОВА, А.Г. ЧУГУНОВ,  
Д.С. КЛИМЕНТЬЕВ, А.П. КОРОЛЁВА,  
АО «ТомскНИПИнефть»*

## **РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РАСЧЕТА НОРМАТИВНЫХ ГЛУБИН ПРОМЕРЗАНИЯ (ОТТАИВАНИЯ)**

При проектировании поверхностного обустройства месторождений в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов необходимо применение современных проектных решений и новых программных продуктов.

Для изучения многолетнемерзлых грунтов необходимы качественные и достоверные инженерные изыскания, направленные на установление основных факторов инженерно-геокриологических условий. Одной из важнейших характеристик геокриологических условий является глубина сезонного промерзания (оттаивания) грунтов.

Согласно требованиям СП 22.13330 расчет глубин промерзания (оттаивания) при отсутствии данных многолетних наблюдений допускается определять на основе теплотехнических расчетов. Данный расчет связан с параллельным определением физических и теплофизических параметров грунта, корректным выбором климатической станции, с необходимостью внесения климатических данных.

Использование модуля по расчету нормативных глубин оттаивания (промерзания) позволяет оптимизировать эти расчеты. В статье описывается алгоритм работы программного модуля и преимущества его использования.

**Ключевые слова:** нормативная глубина оттаивания; нормативная глубина промерзания; метеостанция; температура воздуха; многолетнемерзлые грунты; задача Стефана; теплофизические параметры грунтов; программный модуль.

**Для цитирования:** Григорьева Ю.В., Игнатова Ю.И., Чугунов А.Г., Климентьев Д.С., Королёва А.П. Разработка и практическое применение программного модуля для расчета нормативных глубин промерзания (оттаивания) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 4. С. 168–179.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-168-179

*Yu.V. GRIGOREVA, Yu.I. IGNATOVA, A.G. CHUGUNOV,  
D.S. KLIMENTEV, A.P. KOROLYOVA,  
AO "TomskNIPIneft"*

## **SOFTWARE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION FOR CALCULATION OF FREEZING/THAWING STANDARD DEPTH**

During field facilities construction in permafrost conditions, it is necessary to use modern design solutions and new software products.

High-quality and reliable engineering surveys are required to study permafrost soils and identify the main factors of geotechnical engineering conditions. One of the most important characteristics of permafrost conditions is the standard depth of seasonal soil freezing/thawing.

According to the SNiP requirements, the depth calculation of the of freezing/thawing can be determined by using thermotechnical calculations in the absence long-term observation results. This calculation is associated with the conversion of one unit of measure to another, determination of physical and thermophysical parameters of soil, correct choice of a climate station, and data recording.

The proposed software for calculating the standard depths of thawing and freezing will allow optimizing the calculations. The paper describes the algorithm and advantages of the software operation and use.

**Keywords:** standard thawing depth; standard freezing depth; meteorological station; air temperature; permafrost soil; Stefan problem; thermophysical soil parameters; software development.

**For citation:** Grigoreva Yu.V., Ignatova Yu.I., Chugunov A.G., Klimentev D.S., Korolyova A.P. Razrabotka i prakticheskoe primeneniye programmnoy modulya dlya rascheta normativnykh glubin promerzaniya (ottaivaniya) [Software development and implementation for calculation of freezing/thawing standard depth]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 168–179.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-168-179

### **Введение**

В последнее десятилетие в нефтегазовой отрасли, и в частности для ПАО «НК «Роснефть», актуален вопрос проектирования поверхностного обустройства месторождений в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов, сопряженный с изменчивостью и разнообразием геокриологических условий осваиваемых месторождений Восточной Сибири, Тюменской области и других северных регионов.

В частности, согласно схеме геокриологического районирования, месторождения Красноярского края расположены в зоне островного и редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) со средними годовыми температурами грунта от плюс 2 до минус 3 °С. Состав пород, слагающих многолетнемерзлые толщи в данной местности, включает суглинки, супеси, песок, щебень, песчаники, алевролиты, аргиллиты, туфы, доломиты, интрузии трапов. Мощность мерзлой толщи может достигать 100 м.

Месторождения же Ямало-Ненецкого автономного округа характеризуются расположением в зоне массивно-островного распространения ММГ со

средними годовыми температурами грунта от минус 1 до минус 3 °С. Состав пород, слагающих многолетнемерзлые толщи в данной местности, включает песчано-глинистые, глинисто-песчанистые и органические грунты. Мощность мерзлой толщи может достигать 300 м [1].

Проектные решения следует принимать, учитывая сложность, неоднородность и разнообразие инженерно-геокриологических условий. Для их изучения необходимы качественные и достоверные инженерные изыскания, направленные на установление основных факторов инженерно-геокриологических условий – температурного режима, состава и состояния грунтов, описания закономерностей развития мерзлотных процессов, глубин сезонного промерзания (оттаивания) грунтов и др.

Значительный объем изыскательских работ, выполняемых силами АО «ТомскНИПИнефть», приходится на месторождения, находящиеся в зоне распространения ММГ. За последние годы объем проектно-изыскательских работ (ПИР) по данным регионам значительно увеличился и составил более половины от всех выполняемых изысканий (рис. 1).



Рис. 1. Объем инженерных изысканий, производимых АО «ТомскНИПИнефть» (с 2010 по 2018 г.)

Таким образом, одной из приоритетных задач, стоящих перед АО «ТомскНИПИнефть», являются инженерные изыскания в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, которые характеризуются весьма разнообразными инженерно-геокриологическими условиями.

Следует отметить тот факт, что из-за сезонных колебаний температуры, состава грунтов и ряда других факторов (наличие и уровень грунтовых и под-

земных вод, степень пучинистости грунта и пр.) в зимнее время грунты промерзают на некоторую глубину, а в теплое время года оттаивают. Эта глубина является глубиной сезонного промерзания или оттаивания грунтов. Глубины эти неодинаковы для различных регионов – от долей метра в южных районах и до 3–5 м в северных. Глубина сезонного промерзания (оттаивания) грунтов зависит от широтного и высотного расположения местности, продолжительности периода с отрицательной температурой и ее величины, влажности грунтов, их состава и других факторов, влияющих на теплообмен грунта с атмосферой и расположенными ниже породами. Наибольшее промерзание (оттаивание) отмечается в рыхлых грунтах с открытыми порами (пески, гравий), меньше промерзают (оттаивают) глинистые грунты. Глубина сезонного промерзания (оттаивания) грунта даже для одной и той же местности колеблется в значительных пределах. Это определяет температурный режим местности [2].

### Методики расчета

В связи с сезонными колебаниями температур в течение годового цикла наиболее достоверно определять глубину сезонного промерзания (оттаивания) грунта рекомендуется путем режимных наблюдений в скважинах.

Согласно нормативной документации нормативную глубину сезонного промерзания (оттаивания) грунта  $d_f$ , м, принимают равной средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов (по данным наблюдений за период не менее 10 лет) на открытой, оголенной от снега, растительного и торфяного покрова горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов.

Однако при проведении инженерных изысканий такая возможность отсутствует из-за временных ограничений проведения изысканий. В связи с этим при проектировании зданий и сооружений руководствуются требованиями п. 5.5.3 СП 22.13330 и приложения Г СП 25.13330, которые допускают определять эту глубину расчетным путем.

Также необходимо отметить, что полученная глубина сезонного промерзания (оттаивания) имеет большое значение при принятии проектных решений. Например, это касается расчёта высоты насыпи/осадки основания при оттаивании в зависимости от выбранного принципа использования грунтов. Согласно СП 25.13330, для определения высоты насыпи по принципу I необходимо предусматривать устройство теплоизоляционной подсыпки. Толщина подсыпки напрямую зависит от нормативной глубины сезонного оттаивания природного грунта и грунта подсыпки соответственно. Согласно СП 313.1325800.2017, для определения высоты насыпи по принципу II необходимо рассчитать строительную осадку, которая зависит от следующих параметров: коэффициента уплотнения грунтов основания, коэффициента оттаивания грунтов основания, удельного давления на поверхность грунта основания, плотности грунта основания, начального коэффициента пористости грунта основания и расчетной глубины оттаивания грунтов основания.

При определении глубины заложения фундамента зданий и сооружений нормативная глубина промерзания (оттаивания) также имеет большое значение:

чем больше величина деятельного слоя, тем больше будет воздействие от касательных сил морозного пучения. А в отношении фундаментов мелкого заложения (в особенности при отсутствии подвальных помещений) возможно проявление нормальных сил пучения, что отрицательно сказывается на их устойчивости.

При проектировании фундаментов по принципу I необходимо руководствоваться п. 6.2.2 СП 25.13330, согласно которому минимальную глубину заложения фундаментов рекомендуется принимать в зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта. При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II минимальную глубину заложения фундаментов следует принимать в соответствии с требованиями СП 22.13330 в зависимости от расчетной глубины сезонного промерзания грунта и уровня подземных вод.

Таким образом, значения нормативных глубин промерзания (оттаивания) являются обоснованием глубины заложения фундамента, высоты насыпи на промышленных площадках и других проектных решений.

Расчет глубин промерзания (оттаивания) согласно п. 5.5.3 СП 22.13330, при отсутствии данных многолетних наблюдений, следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение зависит от суммы абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год в данном районе.

Определение глубины в этом случае не составляет особенных трудностей, т. к. показатели среднемесячных отрицательных температур принимаются из метеорологических справочников или из СП 131.13330, в котором содержится перечень метеостанций с результатами наблюдений за климатическими параметрами за многолетний период. Но, тем не менее, основным спорным моментом при расчете нормативных глубин промерзания (оттаивания) согласно методике СП 22.13330 является выбор репрезентативной метеостанции для определения значений среднемесячных отрицательных температур. Основные параметры, которыми следует руководствоваться, – кратчайшее расстояние от объекта исследований до метеостанции и наличие всех требуемых для расчета климатических характеристик.

При проверке отчетов субподрядных организаций нередко выявляются разночтения в выборе метеостанции для одного и того же проектируемого объекта, несмотря на соответствие всем требуемым критериям. Вдобавок при прохождении Главгосэкспертизы результатов изысканий поступают замечания по выбору метеостанции или необходимости обновления климатических данных нормативных документов путем запроса справок с метеостанций, которые необходимо обновлять согласно требованиям п. 7.1.8 СП 47.13330.2016.

Из этого следует, что при расчете нормативных глубин промерзания (оттаивания) согласно СП 22.13330 корректный выбор репрезентативной метеостанции является первоочередной задачей.

В свою очередь, нормативную глубину промерзания (оттаивания) грунта в районах, где глубина промерзания превышает 2,5 м, а также в горных районах, где резко изменяются рельеф местности, инженерно-геологические и климатические условия, следует определять теплотехническим расчетом в соответствии с требованиями СП 25.13330, приложение Г. Данный расчет

учитывает теплофизические и физические параметры грунта, в том числе торфованность и засоленность, климатические особенности территории. Методика расчета основывается на задаче Стефана с некоторыми уточнениями, касающимися температуры начала замерзания грунтов. При решении задачи предполагается, что в каждый момент времени распределение температуры в мерзлой (талой) зоне линейно, температура на поверхности грунта постоянна во времени, подстилающий талый (мерзлый) грунт имеет температуру, равную температуре начала замерзания, теплоемкость равна нулю. Другими словами, влажный грунт находится в талом состоянии и имеет всюду начальную температуру  $T_n$ , которая выше температуры замерзания  $T_\phi$  (температуры фазового перехода). В момент времени  $t=0$  на поверхности грунта  $x=0$  скачком устанавливается, а затем поддерживается температура  $T_0$ , которая ниже температуры замерзания  $T_\phi$ . В результате этого у поверхности грунта появляется промерзший слой, толщина которого со временем увеличивается. Требуется найти закон движения фронта промерзания и распределение температуры в промерзшей и талой зонах. Уравнение Стефана дает среднее значение максимальных глубин промерзания грунтов на открытой площадке без растительности и снега в течение 10 лет.

Для определения глубины промерзания (оттаивания) в реальном грунте исходят из условия линейной зависимости процесса от времени. То есть для решения задачи необходимо рассмотреть процесс промерзания однородного грунта и составить уравнение теплового баланса, результат решения которого и представлен в приложении Г СП 25.13330.

Таким образом, второй задачей при расчете нормативных глубин промерзания (оттаивания) является определение нормативных глубин промерзания (оттаивания) по результатам инженерных изысканий путем достаточно длительного расчета, связанного с переводом одних единиц измерения в другие, параллельного определения физических и теплофизических параметров грунта, корректного выбора климатической станции, с необходимостью внесения климатических данных.

### Результаты

Для решения этих задач в АО «ТомскНИПИнефть» был разработан программный модуль по расчету нормативных глубин промерзания (оттаивания), который не только позволяет автоматизировать расчет согласно методике СП 25.13330, но и помогает в корректном выборе метеостанций путем использования единого ГИС-сервера с необходимыми климатическими параметрами для расчета. Также настоящий модуль позволяет хранить данные по метеостанциям и результатам расчета по объектам с возможностью их передачи в единую базу ГИС-сервера.

Программный модуль представляет собой Excel VSTO Workbook. Иными словами, это .xlsm-файл с уникальной для этого файла надстройкой Excel, взаимодействие которых задаётся с помощью средств разработки VSTO.

Надстройка является по сути отдельным набором библиотек, основная из которых написана на языке C# 6.0 с использованием .NET Framework 4.6.1.

Она включает в себе логику ввода и обработки пользовательских данных, а именно проведение расчётов глубины промерзания (оттаивания) грунтов (для сложных математических расчётов используется библиотека численного анализа и обработки данных ALGLIB).

Программный модуль включает в себя набор предварительно форматированных вкладок: «Проекты», «Расчет грунта», «Данные сервера», используемых для просмотра и редактирования данных (рис. 2). Он не хранит пользовательские данные (только справочные расчётные таблицы) и не использует макросы. В целом это просто привычный интерфейс просмотра и взаимодействия с данными.



Рис. 2. Схема организации модуля

На сервере данных содержится информация о средней ежемесячной и годовой температуре воздуха по данным метеостанций согласно СП 131.13330.2012, а также по некоторым станциям температура обновлена согласно полученным справкам с метеостанций за последние годы исследований.

Обновление расчётных данных метеостанций с ГИС-сервера ведется посредством протокола Web Feature Service (WFS) стандарта Open Geospatial Consortium (OGC) и осуществляется путем выдачи права на администрирование метеостанций определенному пользователю, который сможет внести дополнительные данные по метеостанциям на сервер. При этом обновленные данные отобразятся у всех пользователей приложения. Такой функционал не только делает прозрачными исходные климатические данные для расчета, но и помогает вести единую базу по применяемым в расчете метеоданным. Например, если необходимо пополнить базу метеостанций данными о климатических параметрах по результатам запросов обновленных данных с метеостанций. Хранение данных пользователя осуществляется в локальной базе данных LiteDB.

Первый этап расчета – выбор метеостанции, по данным которой будут приняты исходные климатические параметры для расчета. Для этого достаточно задать широту и долготу объекта – в таком случае выбор метеостанции будет произведен автоматически: в выпадающем меню отобразится ближайшая метеостанция по указанным координатам объекта. Для сортировки и выбора станции используется расчёт геодезических линий по алгоритму Винсента. Однако если перед началом работ проведен анализ имеющихся станций в регионе работ и выбрана репрезентативная станция по данным инженерно-гидрометеорологических изысканий, то выбор станции можно осуществить по названию в специальном окне из выпадающего списка всех имеющихся станций.

После выбора метеостанции в программе автоматически рассчитаются климатические параметры согласно п. Г.8 СП 25.13330: средняя по многолетним данным температура воздуха в период отрицательных температур  $T_{f,m}$ , °С, расчетный период отрицательных температур  $t_{f,m}$ , с, средняя температура воздуха за период положительных температур (по метеоданным)  $T_{th,m}$ , °С, продолжительность периода положительных температур  $t_{th,m}$ , с, расчетная температура поверхности грунта в летний период  $T_{th,c}$ , °С, расчетный период положительных температур  $t_{th,c}$ , с.

Для расчета необходимы три климатических параметра, которые не постоянны для одного и того же месторождения, а определяются по данным натуральных наблюдений: среднезимняя высота снегового покрова  $d_s$ , м, среднезимняя плотность снегового покрова  $\rho_s$ , т/м<sup>3</sup>, температура грунта для данной территории  $T$ , °С.

Остальные параметры возможно определить автоматически. К ним относятся значения среднезимней теплопроводности снеговых покровов  $\lambda_s$ , Вт/м°С, и термическое сопротивление снегового покрова  $R_s$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт.

В связи с необходимостью внесения различных по единицам измерения параметров, используемых в расчете, важной функциональной особенностью приложения является наличие конвертера единиц измерения для часто используемых физических величин. Это позволяет исключить ошибки, связанные с некорректным внесением исходных данных.

Следующий шаг использования программы – задание разновидности и обозначения грунта, для которого производится расчет. Например, номер инженерно-геологического элемента – «м340» (согласно отчету об инженерных изысканиях) и разновидность грунта – «суглинок пластичномерзлый слабодыстый, при оттаивании мягкопластичный тяжелый». Вслед за этим во вкладке «Расчет грунта» отобразится выбранный грунт, для которого производится расчет.

Исходя из методики вычислений, основные закономерности промерзания (оттаивания) на конкретной площадке определяются условиями теплообмена на поверхности грунта, его составом и состоянием. Глубина промерзания (оттаивания) зависит в основном от следующих четырех характеристик: средних годовых температур грунтов, годовых амплитуд температур на поверхности, со-



става и влажности грунта. Поэтому необходимо внести данные лабораторных исследований по физическим и теплофизическим свойствам грунта.

Также необходимо отметить, что влажность за счет незамерзшей воды в мерзлых породах является существенным фактором, определяющим их физико-химические и механические свойства. Однако на сегодняшний день нет общепринятой единой методики и лабораторного оборудования для точного определения этого параметра.

Известны разные способы определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах: способ, основанный на измерении теплового эффекта при оттаивании образцов мерзлого грунта в калорифере; способ, который позволяет определить количество незамерзшей воды по температурам оттаивания предварительно замороженных образцов одного и того же грунта с различной исходной влажностью, и другие. Но каждый из способов или требует знания множества промежуточных параметров, или трудоемкий при измерении и обработке результатов. Поэтому при расчете нормативных глубин промерзания (оттаивания) приходится руководствоваться расчетными значениями влажности за счет незамерзшей воды.

Непосредственно сам расчет целесообразнее всего разбить на исходные показатели свойств грунта, а также теплофизические параметры и другие параметры грунта, необходимые для расчета глубин промерзания (оттаивания), согласно прил. Г СП 25.13330.

При этом исходные данные могут быть получены как по результатам лабораторных исследований, так и с использованием исходных теплофизических параметров, определенных согласно п. Б.7 СП 25.13330 с учетом п. 5.9 (рис. 3).

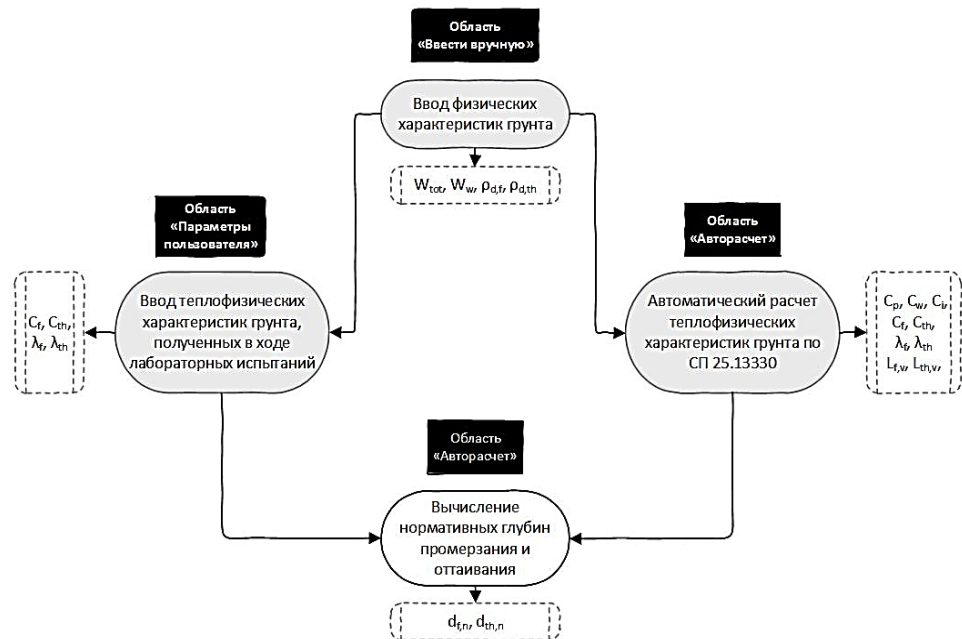


Рис. 3. Операции, выполняемые во вкладке «Расчет грунта»

Для расчета оснований сооружений II и III уровней ответственности, возводимых с сохранением мерзлого состояния грунтов, а также для выполнения предварительных расчетов оснований и привязки типовых проектов к местным условиям значения объемной теплоемкости засоленных и незасоленных грунтов допускается определять расчетным путем согласно формулам п. Б.6 и Б.9 СП 25.13330. В этих же случаях значение коэффициента теплопроводности незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов в талом и мерзлом (для диапазона температур ниже  $T \leq$  минус  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) состоянии допускается принимать по табл. Б.8 СП 25.13330 в зависимости от влажности, плотности скелета грунта и степени засоленности согласно ГОСТ 25100. Значения определяются с использованием интерполяции на нерегулярной сетке по методу радиальных базисных функций (RBF) для двумерного пространства с применением табличных значений как опорных точек.

Исходя из этих допусков, в приложении в области «Авторасчет» производится интерполяция значений коэффициента теплопроводности – Б.8 СП 25.13330, расчет значений объемной теплоёмкости в талом – согласно п. Б.7 СП 25.13330, теплота таяния (замерзания) – п. Б.8 СП 25.13330. Рассчитанные и интерполированные значения теплофизических свойств грунта используются в расчете искомых величин нормативных глубин промерзания (оттаивания) (рис. 4).

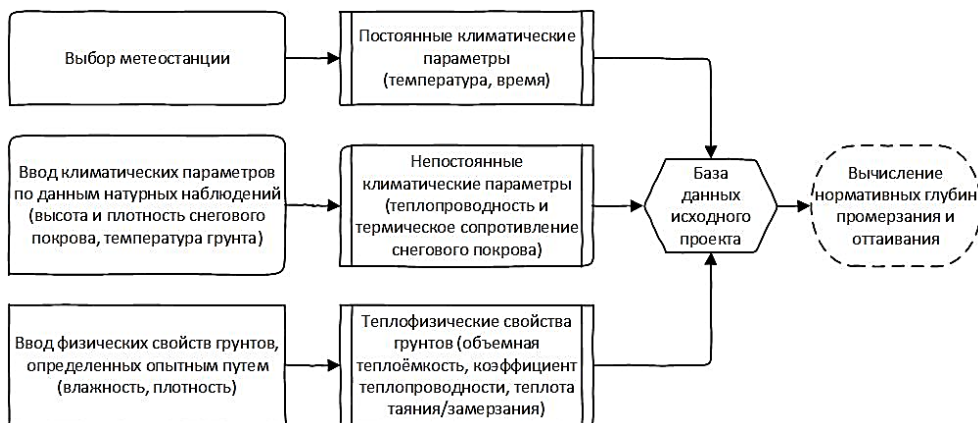


Рис. 4. Схема работы в модуле

Немаловажной функциональной особенностью модуля является вывод результатов расчетов. Для этого реализовано формирование двух типов отчетов – краткий, подробный. Краткий отчет представляет собой перечисление полученных величин нормативных глубин промерзания (оттаивания) в виде текста, подробный отчет содержит таблицы с исходными и промежуточными данными, полученными в ходе расчета (рис. 5).

Также следует отметить возможность импорта/экспорта данных. Все результаты произведенных расчетов, включая исходные данные, сохраняются на локальном диске пользователя, без привязки к общей базе ГИС-сервера. Для

обмена результатами расчетов с другими пользователями можно воспользоваться экспортом данных. Данная функция позволяет выбрать проекты и получить файл с данными по ним, который может быть передан по любому каналу связи. Для загрузки в локальное хранилище пользователь пользуется функцией импорта, указывает сформированный файл, также имея возможность выбрать проекты, которые он хочет загрузить. После чего все данные (исходные и результаты расчётов) будут находиться в локальном хранилище с указанием автора расчета. Таким образом, есть возможность вести базу расчетов глубин промерзания (оттаивания) по различным участкам месторождений.

Наименование показателей	Индекс	Ед. изм.	м340	м350	м420	м430	м530
Средняя по многолетним данным температура воздуха за период отрицательных температур (СП 131.13330.2012)	$T_{\text{ср.от}}$	°С	-14.49	-14.49	-14.49	-14.49	-14.49
Продолжительность периода отрицательных температур (СП 131.13330.2012)	$t_{\text{от}}$	ч.	5832	5832	5832	5832	5832
Средняя по многолетним данным температура воздуха за период положительных температур (СП 131.13330.2012)	$T_{\text{ср.п}}$	°С	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
Средняя по многолетним данным температура воздуха за период положительных температур (Г.6 СП 25.13330.2012)	$T_{\text{ср.п}}$	°С	18.22	18.22	18.22	18.22	18.22
Продолжительность периода положительных температур (Г.7 СП 25.13330.2012)	$t_{\text{п}}$	ч.	3728.31	3728.31	3728.31	3728.31	3728.31
Теплота замерзания грунта (Б.15 СП 25.13330.2012)	$Q_{\text{з}}$	Дж/м <sup>3</sup> ·10 <sup>5</sup>	582.9	864.3	507.06	736.87	1081.78
Теплота таяния грунта (Б.15 СП 25.13330.2012)	$Q_{\text{т}}$	Дж/м <sup>3</sup> ·10 <sup>5</sup>	572.85	847.01	498.21	722.7	1060.98
Нормативная глубина сезонного промерзания грунта (Г.9 СП 25.13330.2012)	$d_{\text{н}}$	м	3.52	3.1	3.98	3.48	3.43
Нормативная глубина сезонного оттаивания грунта (Г.3 СП 25.13330.2012)	$d_{\text{н.от}}$	м	2.47	2.29	2.78	2.55	2.82

Рис. 5. Пример подробного отчета в виде таблицы с промежуточными параметрами расчета

В 2019 г. на данный модуль получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019619344. В настоящий момент модуль получил свое применение при составлении более чем 20 технических отчетов по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных в АО «ТомскНИПИнефть». Часть этих отчетов прошли проверку в Красноярском и Омском филиале ФАУ «Главное управление государственной экспертизы». Кроме того, данный модуль находит широкое применение при проверке результатов расчетов субподрядных организаций по принятию решений о высоте насыпи оснований промышленных площадок и обоснованию глубин заложения фундаментов.

### Заключение

Таким образом, в результате работы были рассмотрены вопросы корректного выбора метеостанций для расчета глубин промерзания (оттаивания) и предложен алгоритм автоматического подбора метеостанций для выбора климатических параметров и расчета нормативных глубин промерзания согласно методике СП 22.13330.

Исходя из методики расчета нормативных глубин промерзания (оттаивания), согласно методике СП 25.13330 выявлена необходимость автоматизирован-

ного расчета исходных климатических параметров, что было реализовано в программном продукте. Кроме этого, автоматизирована интерполяция и расчет теплофизических параметров согласно таблицам и формулам СП 25.13330. Вместе с тем реализована возможность расчета нормативных глубин промерзания (оттаивания) на основании физических и теплофизических параметров, полученных по данным лабораторных исследований. А также предусмотрен удобный вывод результатов расчетов, позволяющий формировать текстовую часть отчета об инженерно-геологических изысканиях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хрусталеv Л.Н.* Основы геотехники в криолитозоне. Москва : Изд-во МГУ, 2005. 543 с.
2. *Ершов Э.Д.* Методы геокриологических исследований. Москва : Изд-во МГУ. 2004. 512 с.

#### REFERENCES

1. *Hrustalev L.N.* Osnovy geotekhniki v kriolitozone [Basics of geotechnical engineering in cryolithic zone]. Moscow: MSU, 2005. 543 p. (rus)
2. *Ershov E.D.* Metody geokriologicheskikh issledovaniy [Geocryological research methods]. Moscow: MSU. 2004. 512 p. (rus)

#### Сведения об авторах

*Григорьева Юлия Васильевна*, ведущий инженер, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, GrigorevaYV@tomsknipi.ru

*Игнатова Юлия Игоревна*, инженер, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, IgnatovaYI@tomsknipi.ru

*Чугунов Алексей Геннадьевич*, главный специалист, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, ChugunovAG@tomsknipi.ru

*Климентьев Дмитрий Сергеевич*, начальник сектора, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, KlimentevDS@tomsknipi.ru

*Королёва Александра Павловна*, инженер-программист, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, KorolevaAP@tomsknipi.ru

#### Authors Details

*Yuliya V. Grigoreva*, Leading Engineer, AO 'TomskNIPIneft', 72, Tomsk, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, GrigorevaYV@tomsknipi.ru

*Yuliya I. Ignatova*, Engineer, AO 'TomskNIPIneft', 72, Tomsk, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, IgnatovaYI@tomsknipi.ru

*Aleksej G. Chugunov*, Chief Specialist, AO 'TomskNIPIneft', 72, Tomsk, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, ChugunovAG@tomsknipi.ru

*Dmitrij S. Klimentev*, Head of Department, AO 'TomskNIPIneft', 72, Tomsk, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, KlimentevDS@tomsknipi.ru

*Aleksandra P. Korolyova*, Software Engineer, AO 'TomskNIPIneft', 72, Tomsk, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, KorolevaAP@tomsknipi.ru