

О необходимости разработки методики прогноза изменения сейсмичности на участках распространения многолетнемерзлых грунтов

- Кауркин М.Д., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.
- Кауркин В.Д., НИИОСП им. Н.М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», г. Москва.

Аннотация: если обратиться к карте распространения многолетнемерзлых грунтов на территории Российской Федерации, то можно отметить, что существенная их часть находится в сейсмически опасных районах. Как правило, это отдаленные районы со сложными инженерно-геологическими условиями и малой сейсмотектонической изученностью. В связи с активной разработкой и освоением месторождений полезных ископаемых появилась необходимость в строительстве соответствующей инфраструктуры и проведении инженерных изысканий в данных районах. Однако применяемые на практике подходы для оценки возможного изменения сейсмичности на площадке строительства при проведении работ по сейсмическому микрорайонированию зачастую ошибочны.

Введение

При проведении инженерных изысканий в районах с высокой сейсмической активностью в соответствии с действующими нормативными документами необходимо выполнять работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) [1]. Результаты сейсмического микрорайонирования предоставляют проектировщику информацию о расчетной сейсмичности площадки строительства и возможных сейсмических воздействиях для последующего расчета проектируемых зданий и сооружений. При исследовании площадок, где возможны ухудшения сейсмических свойств грунтов в ходе строительства, требуется произвести прогноз изменения сейсмической интенсивности.

Как известно, в случае оттаивания многолетнемерзлых грунтов (ММГ) происходит резкое изменение их сейсмических и физико-механических свойств и, как следствие, изменение расчетной сейсмичности и основных параметров ожидаемых сейсмических воздействий (пиковые значения ускорений, длительность и преобладающий

период колебаний). Таким образом, возможна ситуация, когда карта сейсмического микрорайонирования, отражающая расчетную сейсмичность площадки строительства на момент проведения исследований, будет существенно отличаться от прогнозной карты.

Так же следует понимать, что ошибки в прогнозе могут существенно увеличить стоимость строительства объекта или повлиять на безопасность возводимых зданий и сооружений.

Прогноз изменения сейсмической интенсивности

Как правило, для составления прогноза изменения сейсмической интенсивности необходимо располагать следующей информацией. Во-первых, какая мощность грунтов перейдет из мерзлого состояния в талое. Во-вторых, как изменятся сейсмические и физико-механические свойства грунтов.

В подавляющем большинстве случаев во время составления прогноза указанная ранее информация отсутствует, а для расчетов специалисты пользуются различными допущениями.

Определим диапазон изменения расчетной сейсмичности в зависимости от мощности талых грунтов в разрезе.

В зависимости от типа проектируемых зданий и сооружений расчет сейсмической интенсивности выполняется в соответствии с указанными ниже нормативными документами.

Для объектов нормального уровня ответственности расчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями РСН 60-86 и РСН 65-87 по формуле:

$$\Delta I_{\text{с.ж.}} = 1,67 \cdot \lg \left(\rho_0 V_0 / \rho_i V_i \right); \quad (1)$$

где $\rho_0 V_0$ – произведение плотности грунта на среднюю скорость продольной (поперечной) волны – средняя сейсмическая жесткость эталонной грунтовой толщи; $\rho_i V_i$ – тот же параметр на изучаемом участке.

В соответствии с п. 5.1 РСН 60-86 в качестве эталонных (референтных) грунтов рекомендуется выбирать наиболее характерные для верхней части разреза необводненные супесчано-суглинистые грунты с включением дресвяно-щебнистого или гравийно-галечникового материала, либо крупно- и среднезернистые песчаные грунты средней плотности, либо близкие по составу грунты, относящиеся ко II категории по сейсмическим свойствам и имеющие следующие параметры: скорость распространения продольных сейсмических волн $V_{pz} = 500-700$ м/с и поперечных волн

$V_{sz} = 250-350$ м/с, плотность $\rho_s = 1,7-1,8$ г/см³.

Расчет для объектов транспортной инфраструктуры производится в соответствии с СП 269.1325800.2016 по формуле:

$$\Delta I = 1,67 \lg(655 / \rho V_s); \quad (2)$$

где ρV_s – сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи, т/(м²·с); ρ – нормативная плотность грунта, т/м³; V_s – скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще, м/с.

Для объектов повышенного уровня ответственности расчет приращения сейсмической интенсивности производится в соответствии с СП 283.1325800.2016 по формуле:

$$\Delta I = 2,5 \lg b R_0 / (R_1 + R_0); \quad (3)$$

где R – сейсмическая жесткость расчетной мощности грунта, индексы 0 и 1 сейсмической жесткости R относятся, соответственно, к референтному и исследуемому грунту; b – максимум коэффициента динамичности β .

Максимум коэффициента динамичности принимался по результатам, изложенным в монографии [6].

Для проведения расчетов по указанным выше формулам рассмотрим наиболее простую и контрастную по сейсмическим свойствам сейсмогеологическую модель (таблица 1).

Для моделирования процесса оттаивания будем увеличивать мощность талых

▼ Табл. 1. Параметры сейсмогеологической модели.

№ слоя	Грунт	Мощность, м	Скорость поперечных волн, V_s , м/с	Общий удельный вес, кН/м ³	Состояние
1	Песок	1	260	14.0	Аэрированное
2	Песок	29	850	19.8	Мерзлое

Примечание: характеристики грунтов для составления сейсмогеологической модели были взяты из СП 358.1325800.2017 Таблица В.1.

№ расчета	Мощность талого грунта, м	СП 283.1325800.2016 $\Delta I_{сж}$, балл	РСН 60-86 и РСН 65-87 $\Delta I_{сж}$, балл	СП 269.1325800.2016 $\Delta I_{сж}$, балл
1	1	-0.84	-0.78	-0.67
2	2	-0.77	-0.73	-0.65
3	3	-0.7	-0.67	-0.63
4	4	-0.63	-0.62	-0.6
5	5	-0.57	-0.57	-0.58
6	6	-0.52	-0.53	-0.56
7	7	-0.46	-0.48	-0.54
8	8	-0.41	-0.44	-0.51
9	9	-0.37	-0.4	-0.49
10	10	-0.32	-0.36	-0.46

▲ Табл. 2. Результаты расчета приращения сейсмической интенсивности.

грунтов в сейсмогеологической модели, при этом уменьшать мощность мерзлых грунтов таким образом, чтобы мощность расчетной толщи не изменялась и составляла 30 м. Шаг изменения мощности талых/мерзлых грунтов примем 1 метр.

Результаты расчетов приращения сейсмической интенсивности приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Как можно увидеть на рисунке 1, приращение сейсмической интенсивности существенно изменяется от мощности оттаявших грунтов в разрезе, что подтверждает необходимость применения корректных данных об изменении состояния и физико-механических свойств многолетнемерзлых грунтов.

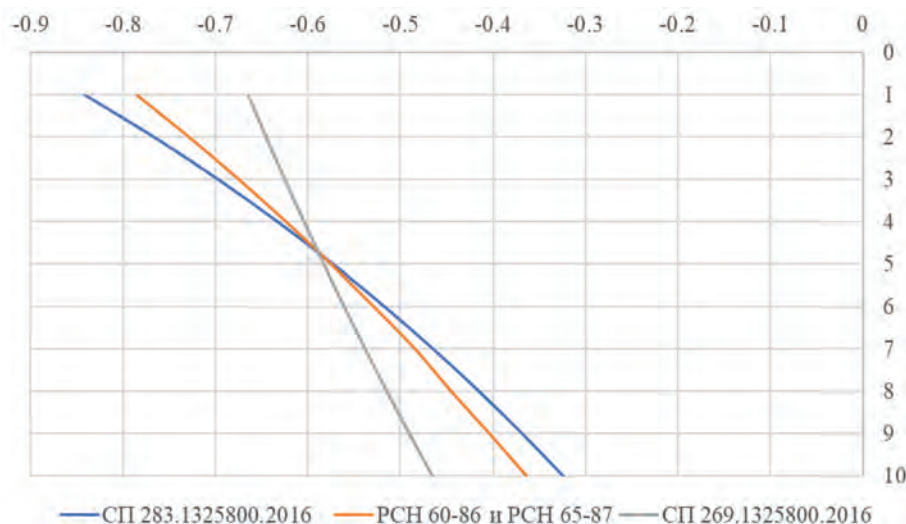
Применение теплотехнических расчетов

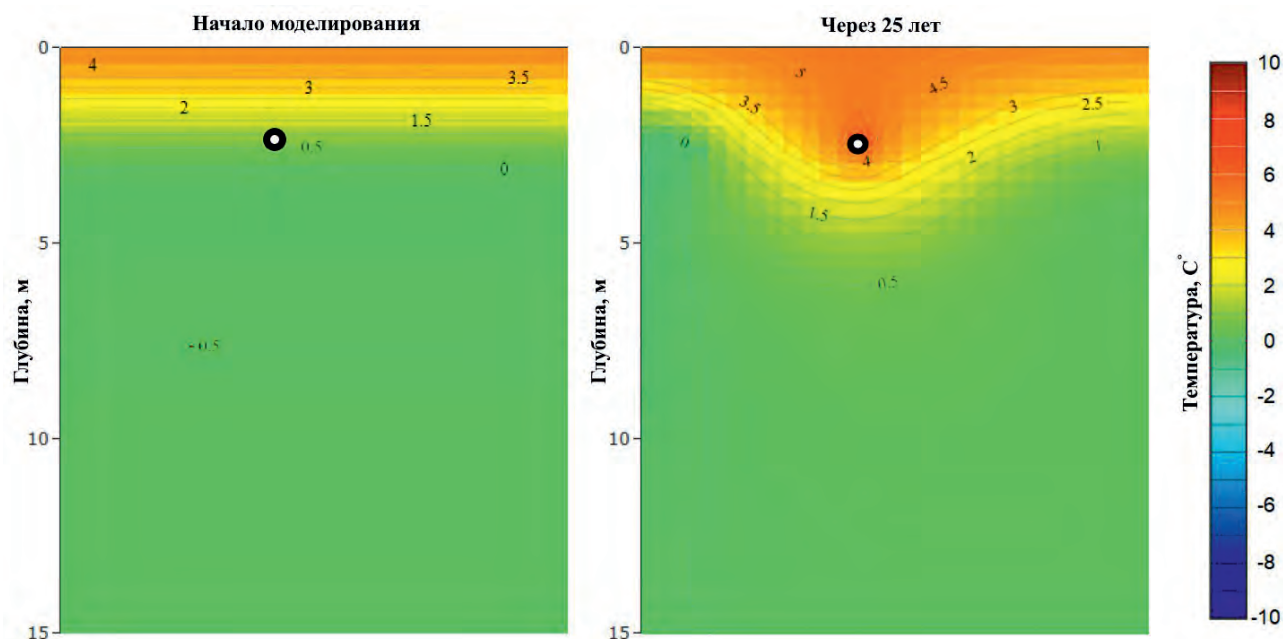
При проведении инженерно-геологических изысканиях в районах распространения ММГ должен выполняться прогноз изменения инженерно-геокриологических условий, однако его содержание обычно ограничивается парой абзацев об отсутствии влияния проектируемых зданий и сооружений на ММГ.

Прогноз изменения инженерно-геокриологических условий зачастую присутствует только при изысканиях для объектов повышенной ответственности или технически сложных.

При составлении прогноза изменений инженерно-геокриологических условий

▼ Рис. 1. Результаты расчета приращения сейсмической интенсивности.





▲ Рис. 2. Пример результатов теплотехнических расчетов.

выполняется серия теплотехнических расчетов, которые отображают процесс оттаивания ММГ со временем и под воздействием техногенных факторов. Пример результатов теплотехнического расчета для трубы коллектора, расположенной в сейсмоактивной зоне Красноярского края, приведен на рис. 2.

Результаты теплотехнических расчетов интересны для целей сейсмического районирования еще и тем, что кроме информации о мощности оттаявших грунтов могут учитывать инженерные мероприятия для сохранения ММГ и при необходимости являться основанием для мониторинга изменения сейсмических свойств грунтов. Таким образом, применение результатов теплотехнических расчетов для уточнения сейсмогеологической модели позволяет более точно и обосновано спрогнозировать изменения расчетной сейсмичности.

Однако существуют определенные сложности. Во-первых, сейсмическое микрорайонирование выполняется в рамках инженерно-геологических изысканий, а теплотехнические расчеты могут выполняться на этапе проектирования,

поэтому на момент составления отчета по СМР они могут отсутствовать и не учитываться. Во-вторых, для объектов нормального уровня такие расчеты, как правило, не производятся.

Выводы

В настоящее время отсутствует методика прогноза изменения расчетной сейсмичности на участках распространения многолетнемерзлых пород. Применяемые на практике подходы зачастую приводят к необоснованному завышению или занижению расчетной сейсмичности, а это отражается на стоимости проекта или его безопасной эксплуатации.

Результаты теплотехнических расчетов позволяют решить одну из проблем при прогнозе изменения расчетной сейсмичности, связанную с обоснованием мощности оттаивания ММГ. Однако для корректного проведения расчета приращения сейсмической интенсивности необходимо знать и физико-механические характеристики оттаявших грунтов, а именно скорости поперечных волн и природную плотность грунта. Решение

этой проблемы мы видим в мониторинге изменения сейсмических и физико-механических свойств грунтов в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Дальнейшее развитие этого направления предполагает развитие методов мониторинга изменения сейсмических и физико-механических свойств грунтов, а также моделирования реакций различных сейсмогеологических моделей на сейсмические воздействия.

Литература

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Стандартинформ, 2018.
2. РСН 60-86, Республиканские строительные нормы. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ., МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР, М., 1986, 32 с
3. РСН 65-87 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. – 1987.
4. СП 269.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования. М.: Стандартинформ, 2017.
5. СП 283.1325800.2016 Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М.: Стандартинформ, 2017.
6. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. – М.: Научный мир, 2017 – 302 с.
7. СП 358.1325800.2017. Сооружения гидротехнические. Правила проектирования в сейсмических районах. М.: 2018. — 36 с.