

УДК 537.874

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА ДЛЯ РЫХЛЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Анкудинов Р. П., студент гр. ИИБ-251, I курс, Сапаров Н. С., студент гр. ИИБ-251, I курс, Мосин Глеб Евгениевич, студент гр. ИИБ-251, I курс,
Кинякин Д. Д., студент гр. ИИБ-251, I курс
Научный руководитель: Елкин И. С. к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

Аннотация. В докладе рассмотрено применение явления механического резонанса при разрушении и рыхлении мерзлых грунтов. Показано, что вибрационное воздействие с частотой, близкой к собственной частоте колебаний грунта, вызывает рост амплитуды колебаний и появление внутренних напряжений. Эти напряжения способны разрушать структуру мерзлого грунта и облегчать его разработку. Рассмотрены физические основы резонанса, особенности поведения мерзлых.

Ключевые слова: резонанс, мерзлый грунт, строительство, колебания, горные породы

Разработка грунтов является одной из базовых операций в строительстве. Она выполняется при возведении зданий, прокладке коммуникаций, строительстве дорог и инженерных сооружений. В обычных условиях грунт сравнительно легко поддается механическому воздействию. Однако при отрицательных температурах его свойства значительно меняются. В мерзлом состоянии вода в порах грунта превращается в лёд и связывает частицы между собой. В результате формируется более прочная структура. По механическим свойствам такой грунт может напоминать слабые горные породы [1].

Для разработки мерзлого грунта применяются различные методы: механическое дробление, прогрев и вибрационные способы. Особый интерес представляет использование явления резонанса. При совпадении частоты внешнего воздействия с собственной частотой системы происходит значительное увеличение амплитуды колебаний [2]. Это приводит к возникновению внутренних напряжений, которые могут разрушать структуру материала.

Физическая природа резонанса заключается в следующем. Резонанс является важным явлением механики колебаний. Он возникает в системе при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой системы. В таких условиях энергия внешнего воздействия передается системе особенно эффективно [2]. Когда на тело действует периодическая сила, оно начинает совершать вынужденные колебания. Если частота воздействия совпадает с собственной частотой системы, энергия постепенно накапливается. Амплитуда

колебаний увеличивается, а деформации внутри материала становятся всё больше. Когда внутренние напряжения превышают предел прочности материала, структура начинает разрушаться [3].

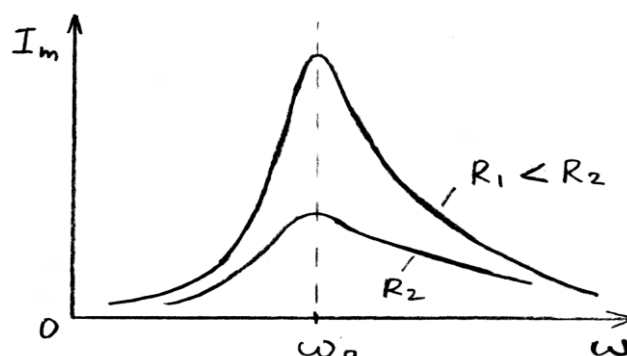


Рисунок 1 – Зависимость амплитуды колебаний от частоты воздействия

На графике видно, что при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой системы возникает резкий пик амплитуды.

Особенности мерзлого грунта заключаются в следующем. Мерзлый грунт представляет собой сложную систему из минеральных частиц, воды и льда. При понижении температуры вода в порах замерзает, образуя прочные ледяные связи между частицами.

Это приводит к росту прочности и жёсткости грунта. Вследствие этого обычные методы разработки становятся менее эффективными. Тем не менее, даже такие структуры способны колебаться под действием внешних сил. При воздействии вибраций внутри грунта распространяются механические волны. Если частота этих колебаний приближается к собственной частоте участка грунта, возникает резонанс. Амплитуда колебаний возрастает, появляются микротрещины, разрушаются ледяные связи между частицами. В результате структура грунта ослабевает. Лёд связывает частицы грунта и увеличивает прочность всей системы.

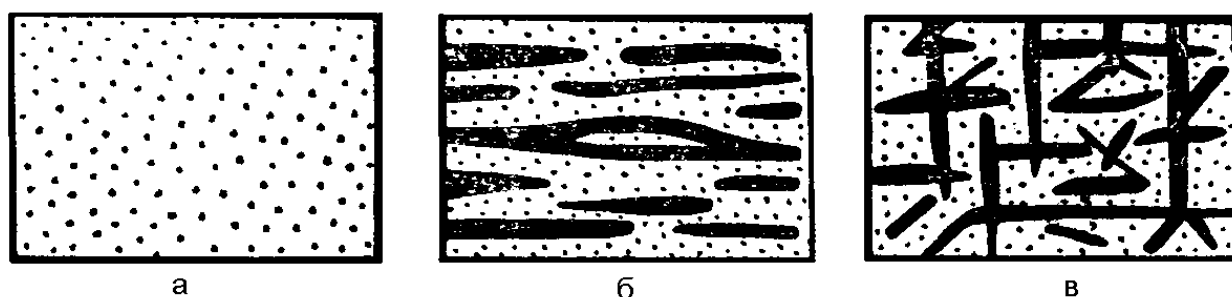


Рисунок 2 – Структура мерзлого грунта

На практике резонансное разрушение грунта используется в различных видах строительной техники. Наиболее распространенными устройствами являются вибрационные и ударно-вибрационные инструменты, например отбойные молотки и виброзубила. Работа таких инструментов основана на создании быстрых периодических ударов или вибраций. Эти колебания

передаются в толщу грунта. Если частота воздействия оказывается близкой к собственной частоте колебаний участка грунта, возникает резонансный эффект. В результате амплитуда колебаний резко возрастает, и внутри грунта формируются значительные напряжения. Материал начинает разрушаться не только на поверхности, но и внутри структуры. Это приводит к более быстрому дроблению мерзлого слоя (рис. 2). Преимущество такого метода заключается в высокой эффективности. Для разрушения грунта требуется значительно меньше энергии по сравнению с обычным механическим дроблением. Энергия воздействия используется максимально эффективно, поскольку она усиливается за счет резонансного эффекта. Кроме того, вибрационные методы позволяют ускорить строительные работы. Грунт разрушается быстрее, а нагрузка на оборудование уменьшается.

Для наглядной демонстрации явления резонанса был проведён опыт, моделирующий разрушение плотной среды под действием вибраций. В качестве модели мерзлого грунта использовалась смесь песка и воды, замороженная в морозильной камере.

Подготовка модели для экспериментов. Смесь песка и воды была приготовлена в соотношении 3:1. После перемешивания она помещалась в пластиковый контейнер и замораживалась около 10 часов при температуре -18°C .

Размеры полученного блока составили:

- длина – 12 см
- ширина – 8 см
- высота – 5 см

Объём блока: $V = 0,12 \times 0,08 \times 0,05 = 0,00048 \text{ м}^3$. Плотность песчано-ледяной смеси приблизительно равна 1800 кг/м^3 . Масса блока: $m = \rho V = 1800 \times 0,00048 \approx 0,86 \text{ кг}$.

Методика опыта заключается в следующем. Для создания вибраций использовалась электрическая зубная щётка. Колебания передавались через металлическую отвёртку, которая выполняла роль передатчика вибраций. Частота колебаний устройства составляла примерно 200 Гц. Опыт проводился в двух режимах:

- 1 – воздействие без вибрации;
- 2 – воздействие с вибрацией.

При обычном давлении отвёрткой на поверхность блока в течение 30 секунд заметного разрушения блока не происходило. При включении вибрации уже через 5–7 секунд появились трещины вокруг точки контакта. Через 15 секунд верхний слой блока начал разрушаться. Полученные результаты показывают, что вибрационное воздействие ускоряет разрушение плотной структуры материала.

Применение резонанса в строительстве: В строительной технике резонансные явления используются в вибрационных инструментах и машинах. К таким устройствам относятся вибропогружатели, вибрационные рыхлители и отбойные молотки. Эти устройства создают быстрые периодические колебания, которые передаются в грунт. Если частота колебаний близка к собственной

частоте грунтового массива, возникает резонансный эффект. Амплитуда колебаний увеличивается, внутри грунта возникают значительные напряжения. Это приводит к разрушению структуры мерзлого слоя и облегчает его разработку [4].

Таким образом, в работе показано, что резонанс возникает при совпадении частоты внешнего воздействия с собственной частотой колебаний системы. В этом режиме энергия передается системе наиболее эффективно, что приводит к значительному увеличению амплитуды колебаний. При воздействии вибраций на мерзлый грунт внутри его структуры возникают механические напряжения. Когда их величина превышает прочность связей между частицами, происходит разрушение грунта и его разрыхление. В итоге применение резонансных колебаний позволяет разрушать мерзлый грунт с меньшими энергетическими затратами и более высокой скоростью. Это делает вибрационные методы важным инструментом современной строительной техники.

Список литературы:

1. Грачева Ю.В. Теория механики грунтов: Курс лекций по направлению подготовки 08.04.01 "Строительство", направленность "Геотехника" / Пенза, 2025.
2. Резонанс (физика) [Электронный ресурс]
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Резонанс>
3. Савельев И.В. - Курс общей физики В 5 тт. Том 4. Волны. Оптика: учебн.пособие. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 265 с.
4. Галкин С.А. Современные методы и технологии разработки скальных и мерзлых грунтов / Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2025. Т. 1. С. 96-99.