

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЕТОНА В ПРОЦЕССЕ БЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ УКЛАДКЕ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОЕ ОСНОВАНИЕ

С.М. Гинзбург, Н.В. Вознесенская

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», г. Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена исследованию температурного режима бетонного массива, возводимого на многолетнемерзлом основании в северной строительной-климатической зоне. Температурная задача решалась с помощью программного комплекса [ABAQUS/Standard](#).

При возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций в условиях многолетнемерзлых грунтов одной из сложных задач является создание требуемого температурного режима бетона на контакте с мерзлым грунтом. Принципиально существует два подхода при строительстве монолитных бетонных сооружений на мерзлом основании. Один подход основан на предварительном отогреве мерзлого основания и укладке бетона на талое основание, однако, предварительный отогрев мерзлого основания - трудоемкая и энергоемкая технология. В 90-ые годы для массивных бетонных конструкций был предложен метод, позволяющий укладывать бетон непосредственно на мерзлое основание. Для поддержания положительной температуры на контакте бетона и основания используются начальное теплосодержание укладываемой бетонной смеси и тепловыделение бетона в процессе гидратации цемента.

При разработке технологии возведения массивных бетонных конструкций в зимнее время требуется выполнение двух основных требований. Во-первых, это обеспечение положительных температур в бетоне при его твердении. Во-вторых, это ограничение температурных растягивающих напряжений в бетоне допустимыми величинами. Следует отметить, что эти два условия обычно конфликтуют друг с другом. Повышение температуры в массиве улучшает условия его твердения с одной стороны. С другой стороны увеличение разогрева бетона определяет увеличение температурных градиентов и тем самым способствует температурному трещинообразованию в бетоне.

В данной работе рассматривается температурный режим поблочно-наращиваемого бетонного столба, состоящего из 6 блоков, уложенных непосредственно на мерзлое основание.

Рассматривались природно-климатические условия строительства Южной Якутии. Предлагалось, что укладка бетона осуществляется весной. Расчетная модель приведена на рис. 1.



Столб является характерным конструктивным элементом бетонных плотин в строительный период.

В зоне основания при определении температурного режима решается задача Стефана. Предполагается, что фазовый переход поровой влаги происходит при 0°C. В грунте рассматриваются талая и мерзлая зоны с постоянными в их пределах теплофизическими характеристиками, представленными в табл. 1. На границе мерзлой и талой зоны имеет место разрыв тепловых потоков. Уравнение теплопроводности решается отдельно в каждой зоне мерзлого и талого состояния. Стыковка происходит на границе двух зон с нелинейным условием стыковки по неизвестной границе раздела выделенных таким способом талой и мерзлой зон грунта. Характеристики бетона, заданные для массива, представлены в табл. 2.

Табл. 1

Свойства грунта/Зона	Основание мерзлое	Основание талое
Conductivity–К-т теплопроводности, ккал/сут·м·°С	43,2	40,0
Density–Плотность, т/м ³	2,0	1,4
SH– Удельная теплоемкость, ккал/(т·°С)	440	442
Elastic - Expansion–Коэффициент линейного расширения, 1/°С	1·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵
Elastic – Poissons ratio– Коэффициент Пуассона	0,3	0,25
Youngs Modulus– Модуль Юнга, т/м ²	300 000	1 500 000
LH– Теплота фазового перехода, ккал/т	24000	

Табл.2

Свойства бетона	Значение
Density–Плотность, т/м ³	2,5
User Material – Thermal Constants – Коэффициент теплопроводности, ккал/сут·м·°С	42
User Material – Thermal Constants – Удельная теплоемкость, ккал/(т·°С)	240
Expansion Coeffalpha– Коэффициент линейного расширения,1/°С	1·10-5
User Material – Mechanical Constants – Poissons ratio – КоэффициентПуассона	0,15

На боковых границах основания задавалось отсутствие теплового потока. Верх и боковые поверхности каждого возводимого блока защищались утепленной опалубкой.

Были рассмотрены различные условия укладки. Варианты технологии бетонирования отличались начальным теплосодержанием и тепловыделением бетона. В основании варьировалась влажность грунта основания и соответственно теплота, выделяемая при фазовом переходе воды в лед и обратно.

Сетка конечных элементов представлена на рис. 2. В условиях симметричной задачи рассматривалась четверть расчетной области.

Сетка конечных элементов включает в себя 6528 элементов и 8286 узлов. Элементы восьмиугольные, тип элементов C3D8T (An 8-node thermally coupled brick, trilinear displacement and temperature) в обозначениях ABAQUS'a.

На рис. 3-5 приведены результаты расчёта для одного из рассмотренных вариантов. Температура воздуха минус 5°С, температура основания минус 10°С, температура бетонной смеси 5°С.

На рис. 3 показано температурное состояние возводящегося массива на втором этапе, состоящего из двух блоков высотой 1м каждый. Температуры в первом блоке на контакте с основанием положительны и составляют 4-6°С, что достаточно для твердения бетона, хотя и более медленного, чем при 20°С.

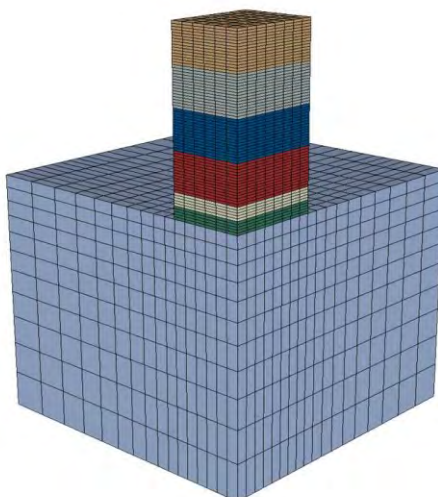


Рис. 2

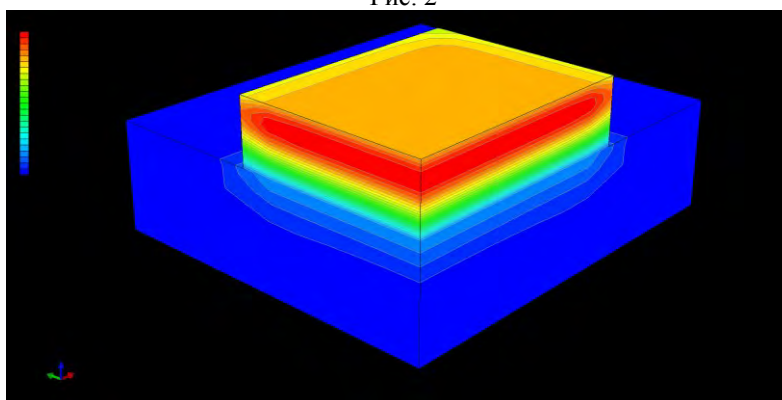


Рис. 3

В остальной части блока его температура лежит в пределах 10-20°С. Температуры в верхней части массива (второй блок) в основном изменяется от 30-32°С в центральной части второго блока, до 20-23°С у границ блока.

На рис. 4 представлено температурное поле в массиве через 10 суток после окончания его возведения, с момента начала укладки прошло 40 суток. Центральная часть массива имеет температуру от 30 до 47°С. Температура в нижней части массива лежит в пределах нижних блоков массива лежит в пределах 10-30°С. Температура бетона в контактной зоне на границе с основанием составляет 8-10°С. Небольшое промерзание наблюдается в углах блока на границе с основанием.

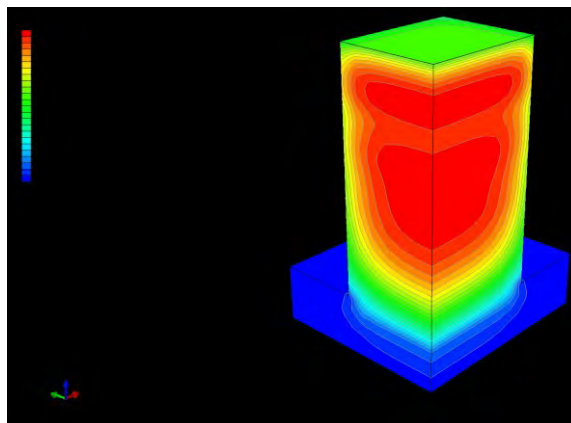


Рис. 4

На рис. 5 представлены графики температуры в трех точках по высоте в центральном сечении основания. Точка 1 находится на контакте сооружения и мерзлого основания, точка 2 - в основании на расстоянии 1 м от зоны контакта сооружения и мерзлого основания и точка 3 в бетоне, на 0,4 м выше зоны контакта сооружения и мерзлого основания. Как видно по уровню температур, условия необходимые для твердения бетона обеспечиваются.

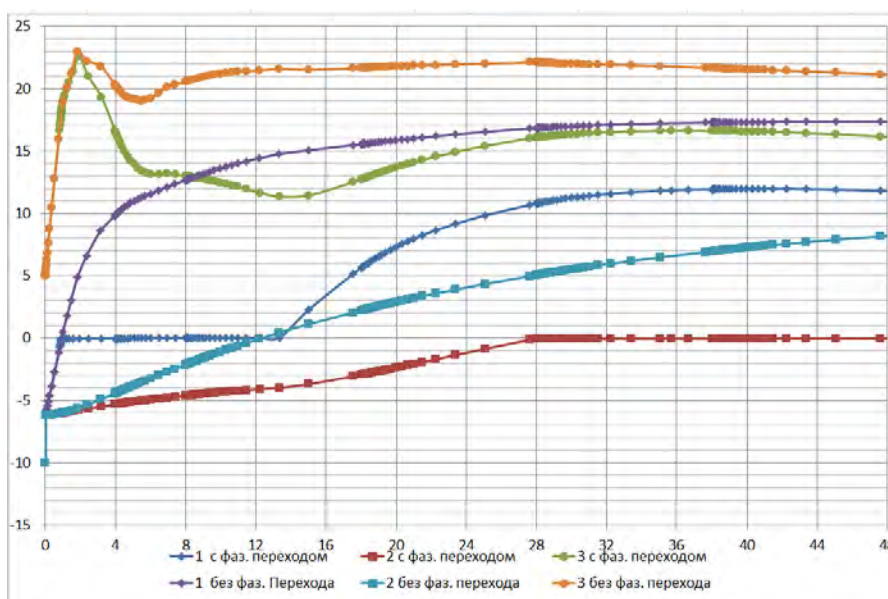


Рис. 5

Рассмотрено температурное поле поблочно-укладываемого бетонного массива, уложенного на мерзлое бетонное основание в зимнее время методом термоса. Показано, что в целом за исключением ограниченных зон, прилегающих к углам массива на контакте с основанием, удастся обеспечить положительные температуры в бетоне, необходимые для его твердения, в течении первого месяца. Для обеспечения положительных температур в угловых зонах массива требуется выполнить дополнительное утепление граней в этой части массива или осуществить обогрев граней за счет использования греющего провода.

Анализ температурного режима показывает, что в верхней части массива имеют место большие температурные градиенты. В связи с этим обеспечить трещиностойкость массива не удастся. Поэтому следует использовать дополнительные мероприятия по температурному регулированию уложенного бетона. Одним из таких мероприятий является трубное охлаждение, можно также понизить температуру бетонной смеси в верхних трехметровых блоках.

Температуры на контактной зоне основания с учетом фазового перехода и без него отличаются. Соответственно в первом случае основание протаивает на глубину 1 м спустя месяц, во втором случае спустя 12 дней. В связи с тем, что упругие свойства талого и мерзлого грунта отличаются, при расчете НДС необходимо учитывать фазовый переход в основании.

Список литературы

1. Плят Ш.Н. Расчеты температурных полей бетонных гидросооружений. М.: Энергия, 1974.
2. Ушкалов В.П. Исследование работы протаивающих оснований и их расчет по предельным деформациям сооружений. М.: Издательство академии наук СССР, 1962.
3. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.:Энергия, 1976.