DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-15>
УДК 691.327

А.Т. Беккер, Е.Е. Помников, О.А. Макаров

БЕККЕР АЛЕКСАНДР ТЕВЬЕВИЧ – д.т.н., профессор, директор Инженерной школы, AuthorID: 119808, SPIN: 3956-2515, ResercherID: I-6494-2017, ScopusID: 35610298200, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2899-7995>, e-mail: bekker.at@dvfu.ru

ПОМНИКОВ ЕГОР ЕВГЕНЬЕВИЧ – к.т.н., профессор кафедры гидротехники, теории зданий и сооружений, SPIN: 6250-4710, AuthorID: 626433, e-mail: pomnikov.ee@dvfu.ru

МАКАРОВ ОЛЕГ АРТУРОВИЧ – магистрант, младший научный сотрудник международного научно-образовательного центра R&D центр «Арктика», e-mail: makarov.oa@students.dvfu.ru

Инженерная школа

Дальневосточный федеральный университет

Суханова ул., 8, Владивосток, Россия, 690091

К оценке требований к бетону по морозостойкости в зависимости от температурного режима конструкций

Аннотация: Бетон, как один из наиболее используемых материалов в строительстве, должен соответствовать необходимым требованиям, определяемым при проектировании сооружений с учетом класса, условий эксплуатации, сроков службы сооружений. В холодных регионах важнейшую роль в способности бетона сопротивляться воздействиям окружающей среды играет его морозостойкость. В связи с этим обоснование и назначение требований по морозостойкости к бетону является важным вопросом. В работе рассмотрены особенности назначения марки бетона по морозостойкости заглубленных сооружений с технологически независимыми элементами. Выполнено численное моделирование свайной конструкции с целью назначения требований к бетону по морозостойкости для технологически независимых элементов конструкции в зависимости от их температурного режима. Для решения данной задачи использовался ряд температур наружного воздуха за 30-летний период. В результате расчета были получены значения средних температур наиболее холодных пяти дней каждого года в исследуемом периоде в оголовках свай. Данные значения обработаны с использованием закона распределения Гумбеля с целью определения расчетной температуры конструкции. По данной расчетной температуре определены требуемые марки по морозостойкости для бетона элементов исследуемой конструкции в соответствии с действующими российскими нормативными документами.

Ключевые слова: численное моделирование, бетон, морозостойкость, подземные конструкции, теплотехнический расчёт, распределение Гумбеля, марка бетона, температурный режим.

Введение

Бетон – один из самых распространенных материалов в строительстве. Это обусловлено его высокими физико-механическими характеристиками, простой технологией изготовления и относительно невысокой стоимостью. Кроме того, с помощью различных методик

подбора состава бетонной смеси его можно адаптировать к различным условиям окружающей среды, в том числе и к наиболее суровому климату [3, 6].

В связи с этим в настоящее время существует ряд нормативных документов, регламентирующих требуемую марку бетона по морозостойкости для различных типов конструкций в зависимости от расчётной температуры наружного воздуха и различных условий эксплуатации [2, 5, 10–16]. Однако существует достаточно большая группа заглубленных в грунт или подземных инженерных сооружений, конструкции которых не имеют непосредственного контакта с наружным воздухом и не подвергаются инсоляции. Для таких сооружений температура конструкций определяется их теплотехническими свойствами и температурным режимом окружающего грунта. При этом отдельными нормами [11, 15] хотя и предъявляются некоторые требования по морозостойкости к бетону таких конструкций, но регулируемыми параметрами всё так же являются температура наружного воздуха и условия эксплуатации.

Марка бетона по морозостойкости показывает число циклов замораживания и оттаивания в состоянии насыщения влагой, при которых прочность бетона сохраняется в нормируемых пределах и отсутствуют внешние признаки разрушения. Число циклов замораживания-оттаивания связано с количеством переходов температуры бетонной конструкции через значение температуры замерзания воды (обычно $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Если для конструкций, контактирующих с наружным воздухом, количество таких переходов сильно зависит от количества переходов температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и интенсивности инсоляции, то для заглубленных в грунт сооружений может наблюдаться другая картина. Амплитуда колебаний температур грунта быстро падает с увеличением глубины. Это обусловлено в основном изолирующим эффектом вышележащих слоев. Соответственно, на некоторой глубине количество переходов температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ будет значительно меньше, чем на поверхности, а значит, требования по морозостойкости к бетону можно снизить. Изолирующий эффект могут оказывать также вышележащие конструкции зданий и сооружений.

Обсуждений в научной литературе вопроса о назначении марки бетона заглубленных в грунт технологически независимых конструкций в такой постановке мы не нашли. Предложенный в работе принцип назначения требований по морозостойкости требует дальнейших исследований, поскольку ранее при назначении марки бетона по морозостойкости для заглубленных конструкций не учитывался технологический фактор.

Целью данной работы является оценка требований по морозостойкости к бетону в зависимости от температурного режима конструкций с учетом изолирующего эффекта вышележащих конструкций и грунта.

Для достижения поставленной цели в данной работе рассчитан температурный режим свайного основания и плиты свайного ростверка. Расчет выполнен в физически нелинейной постановке, учитывающей изменение теплофизических характеристик грунта в зависимости от его температуры. На примере данного расчета показано, что требуемая марка бетона по морозостойкости, применяемого для свай, в определенных условиях может быть снижена.

Постановка задачи

При оценке требований по морозостойкости в соответствии с нормами для бетонных и железобетонных конструкций, не имеющих прямого контакта с наружным воздухом, может быть назначена завышенная марка бетона по морозостойкости, поскольку средняя температура таких конструкций будет выше, чем наружных, а количество циклов замораживания-оттаивания меньше.

Как правило, если конструкция не разделена технологически, то марка бетона назначается по температуре воздуха. С практической точки зрения назначать марку бетона по морозостойкости возможно и целесообразно на основе технологического разделения элементов конструкции, что в итоге может оказать положительный экономический эффект.

Таким образом, для заглубленных в грунт конструкций марка бетона по морозостойкости зависит от двух факторов:

- температурный режим;
- технологическая независимость, т.е. возможность возведения конструктивного элемента отдельно от элемента, имеющего контакт с наружным воздухом.

Характерным примером конструкций с технологически независимыми элементами служат конструкции в виде свайного ростверка. Различные элементы таких конструкций (плита ростверка, сваи) могут находиться в зоне промерзания, при этом не контактируя с наружным воздухом. Поскольку данные элементы могут быть технологически независимыми, т.е. возводиться отдельно и в разные промежутки времени, будет целесообразно оценить температурный режим конструкции и назначить морозостойкость бетона отдельных элементов.

Предполагается, что расчетная температура свай, взаимодействующих с грунтом и не имеющих прямого контакта с наружным воздухом, будет гораздо выше расчетной температуры воздуха.

Для проверки данной гипотезы выполнено численное моделирование с помощью программного комплекса ANSYS. Для решения применяется метод конечных элементов (МКЭ). Главное матричное уравнение теплового линейного стационарного анализа определяется выражением

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = \{Q\}, \quad (1)$$

где $[C]$ и $[K]$ – матрицы удельной теплоемкости и теплопроводности соответственно; $\{T\}$ – вектор температур; $\{Q\}$ – эквивалентный узловый вектор теплового потока (вектор нагрузок).

При нелинейном анализе, когда матрица удельной теплоемкости, матрица теплопроводности и вектор теплового потока являются функциями от температуры T , уравнение (1) преобразуется в выражение

$$[C(T)]\{\dot{T}\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(T)\}. \quad (2)$$

В нестационарном (переходном) нелинейном тепловом анализе вектор нагрузок $\{Q\}$ зависит не только от температуры, но и от времени:

$$[C(T)]\{\dot{T}\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(T, t)\}. \quad (3)$$

Для решения систем нелинейных уравнений применяется итерационный метод сопряжённых градиентов с предобусловленностью. Предобуславливатель строится на основе разложения Холецкого, т.е. представления симметричной положительно-определённой матрицы A в виде $A = LL^T$, где L – нижняя треугольная матрица со строго положительными элементами на диагонали; либо в эквивалентной форме: $A = U^T U$, где $U = L^T$ – верхняя треугольная матрица.

Марка бетона по морозостойкости назначается в соответствии с таблицей Е.1 [2] и таблицей Ж.1 [10] в зависимости от расчетной зимней температуры наружного воздуха, а именно температуры наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92%.

Пример расчета

Рассматривается конструкция, состоящая из железобетонных плит, которые опираются на буронабивные сваи (БНС). Буронабивные сваи имеют диаметр 1,02 м и переменную длину (до 18 м). Арматура буронабивных свай и плит связана в единый каркас. Грунт основания сложен глинистыми грунтами, подстилаемыми трещиноватой скалой. Основные размеры исследуемой конструкции и компоновка свай представлены на рис. 1 и рис. 2.

Для моделирования выбран характерный фрагмент конструкции фундамента (рис. 1 и рис. 2). Ход температур наружного воздуха принят для условного района строительства за период 1989–2019 гг. (рис. 3). Температура воздуха с 1 октября по 30 апреля каждого года

вводилась в виде ряда с частотой выборки 6 часов. С 1 мая по 30 сентября – в виде среднедекадных температур воздуха. Для используемых климатических условий температура воздуха наиболее холодной пятидневки равна -23°C .

Рис. 1. План свайной конструкции.

Рис. 2. Разрез свайной конструкции.

Теплофизические характеристики бетона приняты согласно прил. Б [14] (табл. 1), характеристики грунта рассчитаны по [9] (табл. 2).

Рис. 3. Температуры наружного воздуха.

Таблица 1

Теплофизические характеристики бетона

Параметр	Символ	Единицы измерения	Значение
Плотность	ρ	г/см^3	2,5
Теплопроводность	λ_b	$\text{Вт/}(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$	2,67
Удельная теплоемкость	c_b	$\text{Дж/}(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$	1000
Коэффициент теплоотдачи с поверхности бетона в воздух	β	$\text{Вт/}(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$	24

Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Вид грунта	Плотность ρ , г/см ³	Естественная влажность w , %	Коэффициент пористости e , д.е.	Теплопроводность λ , Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость C_f , Дж/(кг·°С)
2а	Глинистый	1,92	31,1	0,831	1,542-1,760	1867-2256
3а		1,97	24,2	0,712	1,468-1,707	1637-2256
3б		1,96	26,5	0,727	1,512-1,755	1789-2063
6		2,09	17,1	0,530	1,4452-1,683	1435-1668
6а		2,07	19,8	0,568	1,476-1,740	1534-1782
6б		2,06	20,3	0,576	1,460-1,724	1548-1803
8	Дресвяный	2,06	17,6	0,576	1,420-1,655	1450-1689
9	Скальный	2,10	16,7	0,480	1,849	1539
10		2,43	6,0	0,187	2,224	1232

Численная модель железобетонных конструкций и построение сетки конечных элементов выполнены с помощью инструментов программного комплекса ANSYS. При дискретизации плит использовались тетраэдрические десятиузловые конечные элементы второго порядка SOLID87 и двадцатиузловые конечные элементы SOLID90. Элементы имеют одну степень свободы в каждом узле (температуру) и применимы для трехмерного, стационарного и переходного теплового анализа.

Конечно-элементная модель представлена на рисунках 4 и 5. Средний размер конечных элементов модели: железобетонные плиты и буронабивные сваи – 0,5 м; грунт – 1 м.

Рис. 4. Конечно-элементная модель.

Рис. 5. Конечно-элементная модель (грунт не показан).

В зоне контакта плит и свай с грунтом размер конечного элемента был уменьшен до 0,4 м.

Между наружным воздухом и конструкциями имеет место конвективный теплообмен. Соответственно, в исследуемой модели к наружным граням плит необходимо применить граничное условие III рода, характеризующееся изменяющейся во времени температурой наружного воздуха и постоянным коэффициентом теплоотдачи с открытой поверхности бетона в наружный воздух.

На боковых гранях численной модели задается граничное условие II рода, характеризующее нулевым тепловым потоком через боковые грани.

Предполагается, что нижняя граница массива грунта является слоем нулевых градиентов температур (слоем постоянной годовой температуры), т.е. температура данного слоя грунта неизменна на протяжении года. Температура данного слоя равна среднегодовой температуре воздуха в исследуемом районе, что подтверждается, например [1, 18]. Соответственно, к нижней грани численной модели применяется граничное условие I рода – постоянная температура равная среднегодовой температуре наружного воздуха $6,66^{\circ}\text{C}$.

Начальная температура системы принималась равной среднемесячной температуре марта (месяц начала расчёта). Среднемесячная температура марта совпадает со среднегодовой температурой воздуха и равна $6,66^{\circ}\text{C}$.

Анализ результатов расчёта

В результате расчёта были получены температуры свай за весь исследуемый период. Минимальные температуры в буронабивных сваях возникают в их оголовках. График хода данных температур представлен на рис. 6. Состояние модели в момент с самой низкой температурой свай представлено на рисунках 7 и 8.

Рис. 6. График температур оголовков свай под плитами толщиной 1,3 м и 2,3 м.

Рис. 7. Состояние системы «грунт–конструкции» в момент с самой низкой температурой свай.

Рис. 8. Температура бетонных конструкций в момент с самой низкой температурой свай.

Кроме того, было рассчитано количество переходов температуры оголовков свай и воздуха через 0°C (табл. 3), которое определялось количеством дней, когда максимальная температура положительна, а минимальная – отрицательна. Основываясь на полученных данных, можно заключить, что отепляющее воздействие грунта и вышележащих конструкций не только повышает минимальные температуры в сваях, но и значительно уменьшает количество циклов замораживания-оттаивания бетона в период эксплуатации конструкции.

Таблица 3

Количество переходов температуры через значение 0°C

Значение	Количество переходов через 0°C		
	оголовков свай под плитой толщиной 1,3 м	оголовков свай под плитой толщиной 2,3 м	воздуха
За весь исследуемый период	70	56	1699
Среднее значение в год	2,4	1,9	58,6

Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 92% определялась с помощью распределения экстремальных значений Фишера–Типпетта I типа (закон распределения Гумбеля) на основе ряда из средних температур пяти наиболее холодных дней каждого года. Это распределение используется в случае, когда в качестве случайной величины рассматриваются экстремальные характеристики гидрометеорологического режима [8]. Функция обеспеченности Гумбеля определяется выражением

$$P(x) = P\{X \geq x\} = 1 - e^{-e^{-y}}. \quad (4)$$

Интегральные кривые распределения температуры наиболее холодной пятидневки оголовков свай под плитами 1,3 и 2,3 м представлены на рис. 9.

Согласно рис. 9 температура наиболее холодной пятидневки оголовков свай обеспеченностью 92% равна $-3,75^{\circ}\text{C}$ для плиты толщиной 2,3 м и $-8,02^{\circ}\text{C}$ – для плиты толщиной 1,3 м. При этом минимальные температуры оголовков свай, полученные в процессе расчета, равны соответственно $-4,85$ и $-9,31^{\circ}\text{C}$. Стоит отметить, что температуры грунта и конструкции на глубине 3 м и более от верхней грани плит не опускаются ниже 0°C .

Таким образом, рассчитанные температуры оголовков свай значительно выше температуры наиболее холодной пятидневки наружного воздуха. Требуемые марки по морозостойкости для исследуемых конструкций в соответствии с таблицей Е.1 [2] и таблицей Ж.1 [10] для различных условий эксплуатации представлены в табл. 4.

Таблица 4

Требования к бетону по морозостойкости

Характеристика режима эксплуатации	Железобетонные плиты	Сваи под плитой толщиной 1,3 м	Сваи под плитой толщиной 2,3 м
Попеременное замораживание и оттаивание в насыщенном состоянии при действии морской воды, минерализованных, в том числе надмерзлотных, вод, противогололедных реагентов	F ₂₃₀₀	F ₂₂₀₀	F ₂₁₀₀
Попеременное замораживание и оттаивание в насыщенном состоянии при действии пресных вод	F ₁₃₀₀	F ₁₂₀₀	F ₁₁₅₀
Попеременное замораживание и оттаивание в условиях эпизодического увлажнения	F ₁₂₀₀	F ₁₁₅₀	F ₁₁₀₀
Попеременное замораживание и оттаивание в условиях воздушно-влажного состояния, в отсутствие эпизодического увлажнения	F ₁₁₀₀	F ₁₇₅	F ₁₅₀
Одноразовое, в течение года, воздействие температуры в водонасыщенном состоянии	F ₁₁₅₀	F ₁₁₀₀	F ₁₇₅

Таблица 4 показывает, что для технологически независимых элементов конструкции могут быть назначены различные требования по морозостойкости при различных условиях эксплуатации. В данном примере для свай под плитой толщиной 1,3 м требуемая марка бетона по морозостойкости ниже на 1 ступень, а для свай под плитой толщиной 2,3 м ниже на 2 ступени, чем у железобетонной плиты, контактирующей с наружным воздухом. Необходимо отметить, что в данном примере не учитывалось влияние солнечной радиации на температурный режим конструкции. Поступление тепла от излучения также может способствовать нагреву поверхности плит и повышению расчетных температур элементов конструкций [4].

Рис. 9. Интегральные кривые распределения температуры наиболее холодной пятидневки оголовков свай под плитами толщиной 1,3 и 2,3 м.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Отсутствие контакта с наружным воздухом и наличие изолирующего эффекта от вышележащих конструкций и грунта значительно уменьшают количество переходов температуры бетона через значение 0°C и, соответственно, циклов замораживания-оттаивания.

2. При решении практических задач целесообразно определять температурный режим заглубленных в грунт конструкций, но только в случае, если они имеют технологически независимые элементы. Таким образом, можно снизить требования к бетону, назначив марку бетона по морозостойкости для отдельных элементов конструкции по их наихудшим условиям эксплуатации.

3. Численное моделирование позволяет провести оценку требований к бетону по морозостойкости в зависимости от температур бетона. Рассмотренные методы могут быть использованы на практике для обоснования требований по морозостойкости к бетону различных конструкций, что позволит получить положительный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли. М.: Граница, 2006. 173 с.
2. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.
3. Исаченко С.Л., Кодзоев М.-Б.Х. Анализ методов повышения морозостойкости бетона // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 4. С. 291–294.
4. Кондратьев В.Г., Перекупка А.Г., Примаков С.С., Петрова А.С. Мероприятия по изменению режима теплообмена на поверхности земли и их влияние на распределение температуры в грунте // Нефтяное хозяйство. 2012. № 10. С. 122–125.
5. Малюк В.Д. О нормировании требований по морозостойкости бетона для морских сооружений // Транспортное строительство. 2010. № 3. С. 32–34.
6. Моргун А.Н. Морозостойкость бетона, способы ее повышения // Наука, техника и образование. 2015. № 7(13). С. 101–105.
7. Савин В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М.: Лазурь, 2005. 432 с.
8. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 279 с.
9. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
10. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с Изменением N 1).
11. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2, 3).
12. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменением N 1).
13. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1).
14. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87.
15. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями N 1, 2).
16. СП 121.13330.2012. Аэродромы. Актуализированная редакция СНиП 32-03-96.
17. СП 131.13330.2018. «СНиП 23-01-99*. Строительная климатология».
18. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. М.: Наука, 1976. 353 с.

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-15>

Bekker A., Pomnikov E., Makarov O.

ALEXANDER BEKKER, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director,
ResercherID: I-6494-2017, ScopusID: 35610298200,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2899-7995>, e-mail: bekker.at@dvfu.ru

EGOR POMNIKOV, Candidate of Engineering Sciences, Professor,
Department of Hydrotechnics, Theory of Buildings and Structures,
e-mail: pomnikov.ee@dvfu.ru

OLEG MAKAROV, MS student, Junior Researcher, International Research
and Educational Center R&D Center *Arctic*, e-mail: makarov.oa@students.dvfu.ru
School of Engineering

Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

To the assessment of frost resistance requirements for concrete depending on the temperature regime of structures

Abstract: Concrete, as one of the most frequently used materials in construction, must comply with the necessary requirements determined during the design of structures as part of measures to ensure their durability. Frost resistance plays an important role in the ability of concrete to resist environmental impacts. In this regard, assignment and justification of the frost resistance requirements for concrete in the design process of structures is an important issue. The paper considers the various factors justifying the choice of the specific grade of frost resistant concrete for subsurface structures with technologically independent elements. Numerical modeling of the pile structure was performed to assign concrete frost resistance requirements for technologically independent structural elements depending on their temperature. To solve this problem, a range of air temperatures for a 30-year period was used. As a result of the calculation during the researched period, the average temperatures of the coldest five days of each year in the pile heads were determined. These values were processed using the Gumbel distribution law to determine the design temperature of the structures. Based on this design temperature, the required frost resistance grades of concrete for the elements of the structure were determined in accordance with the Russian regulatory documents.

Keywords: numerical simulation, concrete, frost resistance, subsurface structures, thermal engineering calculations, Gumbel distribution law, concrete grade, temperature regime.

REFERENCES

1. Vasiliev G.P. Heat and cold supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of the surface layers of the earth. M., Granitsa, 2006. 173 p.
2. GOST 31384-2017. Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements.
3. Isachenko S.L., Kodzoev M.-B.H. Analysis of methods to increase frost resistance of concrete. Bulletin of Science and Practice. 2018(4);4:291–294.
4. Kondratiev V.G., Perekupka A.G., Primakov S.S., Petrova A.S. The measures of heat exchange variation on the earth surface and their influence on the temperature distribution in the soil. Oil Industry. 2012;10:122–125.
5. Maljuk V.D. About rationing of requirements on frost resistance of concrete for sea constructions. Transport Construction. 2010;3:32–34.

6. Morgun A.N. Concrete frost resistance, ways to increase it. Science, Technology and Education. 2015(7);13:101–105.
7. Savin V.K. Building physics: energy transfer, energy efficiency, energy saving. M., Lazur, 2005. 432 p.
8. Sikan A.V. Methods of statistical processing of hydrometeorological information. St. Petersburg, RSHU, 2007, 279 p.
9. SP 25.13330.2012. Soil bases and foundations on permafrost soils.
10. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction.
11. SP 31.13330.2012. Water supply. Pipelines and portable water treatment plants.
12. SP 34.13330.2012. Automobile roads.
13. SP 35.13330.2011. Bridges and culverts.
14. SP 41.13330.2012. Concrete and reinforced concrete hydraulic structures.
15. SP 120.13330.2012. Subways.
16. SP 121.13330.2012. Aerodromes.
17. SP 131.13330.2018. Building climatology.
18. Chudnovsky A.F. Thermophysics of soils. M., Nauka, 1976, 353 p.