

УДК 614.849

**ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ***Мануйлов В. В.*

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[v.manuilov2010@spark-mail.ru](mailto:v.manuilov2010@spark-mail.ru)

Проведен анализ метеорологических данных за 2017 год в п. Баренцбург (о. Шпицберген), гг. Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону и Астрахань. Определены два вида агрессивных сред, характерных для этих территорий. Установлено, каким образом неблагоприятные климатические условия воздействуют на железобетонные конструкции (на этапе строительства и в процессе эксплуатации здания). Определено, что метеоусловия особенно негативно сказываются на укладке бетонной смеси. В этом случае нарушается структура бетона, снижается прочность железобетонной конструкции. Экстремальные температуры, влажность и скорость ветра снижают огнестойкость железобетонных конструкций. Для обеспечения требуемого предела их огнестойкости даны рекомендации по выполнению бетонных работ в условиях агрессивных сред.

**Ключевые слова:** метеорологические условия, железобетонные конструкции, пластическая усадка, трещинообразование, призменная прочность, предел огнестойкости, зимнее бетонирование.

**Введение.** Обеспечение пожарной безопасности железобетонных конструкций жилых зданий требует учета ряда факторов, в том числе метеорологических условий, характерных для конкретной территории.

Следует отметить, что огнестойкость железобетонных конструкций для зданий, расположенных в разных географических зонах, существенно отличается. В этой связи крайне важно знать меру воздействия того или иного метеорологического фактора на основные параметры сооружений.

Цель представленного научного исследования — изучение воздействия метеорологических условий на прочностные свойства железобетонных конструкций жилых зданий в различных географических зонах. Выполнение данной работы требует решения следующих задач:

UDC 614.849

**IMPACT OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON FIRE SAFETY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES***Manuylov V. V.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

[v.manuilov2010@spark-mail.ru](mailto:v.manuilov2010@spark-mail.ru)

The article analyzes meteorological data for 2017 in Barentsburg (Spitsbergen Island), the cities of St. Petersburg, Rostov-on-Don and Astrakhan. Two types of aggressive environments typical for these territories are identified. It is established how unfavorable climatic conditions affect the reinforced concrete structures (at the stage of construction and during the operation of the building). It is determined that weather conditions have a particularly negative impact on concrete mixture pouring. In this case, the concrete structure is disturbed; the strength of the reinforced concrete structure is reduced. Extreme temperatures, humidity and wind speed reduce fire resistance of reinforced concrete structures. The recommendations for concrete works in aggressive environments are provided to ensure the required limit of their fire resistance.

**Keywords:** meteorological conditions, reinforced concrete structures, plastic shrinkage, crack formation, prism strength, fire resistance limit, cold-weather concreting.

— проведение анализа метеорологических показателей в различных географических зонах России;  
— определение на основе полученных данных метеорологического фактора, наиболее опасного с точки зрения потенциального обрушения железобетонной конструкции в условиях пожара.

При выполнении исследования использованы следующие материалы: федеральный закон, регламентирующий вопросы пожарной безопасности [1]; своды правил, относящихся к данной проблематике [2], [3], [4]; метеорологические данные, зафиксированные в 2017 году для п. Баренцбург (о. Шпицберген), гг. Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону и Астрахань.

Объектом исследования являются многоэтажные здания с несущими конструкциями из железобетона, расположенные в разных географических зонах.

Предмет исследования — достижение требуемого уровня пожарной безопасности железобетонных конструкций в условиях агрессивных сред в различных географических зонах.

**Анализ метеорологических данных за 2017 год.** Для четырех населенных пунктов (п. Баренцбург, гг. Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону и Астрахань) рассмотрены метеорологические факторы, потенциально воздействующие на железобетонные конструкции. На рис. 1 эти населенные пункты обозначены красными точками.



Рис. 1. Места проведения научного исследования

Поселок Баренцбург — населенный пункт на архипелаге Шпицберген вблизи параллели 78° северной широты. Расположен в природной зоне Арктических пустынь. Для данной территории характерны встречи холодного полярного воздуха с теплым воздухом североатлантического течения. Здесь возникают области низкого давления, обуславливающие резкое изменение погоды и резкие порывы ветра, особенно зимой (табл. 1.).

Таблица 1

Метеорологические данные в п. Баренцбург за 2017 г.

Показатель		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура, °С	Средняя	-10,4	-6,9	-11,2	-8,1	-4,6	3,4	6,0	5,4	4,7	0,3	-4,0	-4,9
	Минимум	-18,8	-19,5	-22,3	-17,0	-12,0	-0,9	2,6	0,3	-0,7	-6,3	-10,9	-15,8
	Максимум	1,1	4,1	0,0	1,9	4,8	8,2	10,1	10,9	9,4	6,5	1,6	6,6
Давление, мм. рт. ст.		750	757	750	762	766	761	758	757	764	757	758	750
Скорость ветра, м/с		5,0	5,2	4,3	3,0	3,0	2,1	3,1	3,0	3,9	3,5	3,6	4,0
Влажность, %		72	77	81	75	73	80	78	77	82	78	69	71
Количество осадков, мм		61	86	107	42	20	11	23	48	80	39	12	38

Очевидно, что самым неблагоприятным временем года является зима. В феврале и марте наблюдается низкая температура воздуха, высокая скорость ветра и большое количество осадков. Самый теплый месяц — июль со средней температурой воздуха 6 °С. Совокупный анализ данных показывает, что на протяжении почти всего года в п. Баренцбург наблюдается отрицательная температура воздуха и высокая скорость ветра, а годовое количество осадков составляет 567 мм.

Город Санкт-Петербург располагается в лесной зоне умеренных широт. Его близость к Балтийскому морю обуславливает переходный тип климата: от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Вследствие влияния циклонов Балтийского моря лето на данной территории жаркое, влажное и короткое, зима — длинная, холодная, сырая. Географическим положением и повышенной облачности обусловлено небольшое количество солнечных дней в году и, как следствие, незначительное воздействие солнечной радиации. Среднегодовая суммарная радиация — 3156 МДж/м<sup>2</sup> [5].

Результаты анализа метеорологических данных в г. Санкт-Петербург за 2017 г. свидетельствуют о сравнительно мягких метеоусловиях: большую часть года здесь отмечается плюсовая температура воздуха и умеренная скорость ветра (табл. 2.).

Таблица 2

Метеорологические данные в г. Санкт-Петербург за 2017 г.

Показатель		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура, °С	Средняя	-4,0	-3,6	1,3	2,7	9,7	13,5	16,4	17,0	12,3	5,7	2,4	0,3
	Минимум	-20,6	-18,1	-6,4	-6	-0,2	3,5	9,7	7,9	6,5	-1,9	-4,7	-3,7
	Максимум	3,1	5,6	8,1	16,1	21,7	23,1	26	27,2	20,9	11,5	8,1	4,9
Давление, мм. рт. ст.		761	762	757	757	762	755	756	760	763	756	757	753
Скорость ветра, м/с		2,3	2,1	2,3	2,3	2,0	2,2	1,8	2,1	1,5	2,0	2,4	2,5
Влажность, %		86	84	78	74	58	69	73	76	81	82	83	87
Количество осадков, мм		29	33	30	86	13	69	123	148	67	93	28	81

Годовое количество осадков — 800 мм. Самые низкие температуры наблюдаются в январе и феврале. Самый теплый месяц — август со средней температурой воздуха 17 °С. В этом же месяце отмечено наибольшее количество осадков — 148 мм.

Ростов-на-Дону — город, расположенный в зоне степей, на берегу реки Дон, в 46 км от места ее впадения в Азовское море. Климат умеренно-континентальный, с мягкой зимой и жарким летом (табл. 3.).

Таблица 3

Метеорологические данные в г. Ростов-на-Дону за 2017 г.

Показатель		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура, °С	Средняя	-2,5	-2,8	5,9	9,6	15,7	21,3	24,6	26,3	17,8	10,1	4,0	3,4
	Минимум	-16,9	-16,1	-1,2	-1,0	6,3	8,8	13,8	13,3	3,4	1,5	-7,7	-3,0
	Максимум	6,6	10,4	16,4	21,1	27,4	32,2	37,8	38,4	28,2	23,0	16,3	12,2
Давление, мм. рт. ст.		759	760	756	756	753	752	752	754	757	756	758	757
Скорость ветра, м/с		4,7	4,6	5,4	4,5	3,7	3,4	3,8	4,5	4,5	4,1	4,6	4,1
Влажность, %		85	81	73	68	60	60	54	42	61	76	88	87
Количество осадков, мм		23	55	31	76	60	47	31	15	9	51	63	69

С точки зрения метеорологии, в 2017 году в Ростове-на-Дону неблагоприятным сезоном было лето. В июле и августе наблюдалась высокая температура воздуха, низкая влажность и минимальное количество осадков. На протяжении всего года сохранялась высокая скорость ветра. За год выпало 530 мм осадков.

Астрахань расположена в Прикаспийской низменности, в зоне полупустынь. Для данной территории характерен полупустынный, засушливый, теплый климат. Важную роль в его формировании играют континентальные воздушные массы умеренных широт. Восточные ветры определяют сухость и запыленность воздуха летом и сравнительно невысокие температуры зимой (табл. 4.).

Таблица 4

Метеорологические данные в г. Астрахань за 2017 г.

Показатель		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Температура, °С	Средняя	-2,9	-3,9	4,4	11,6	18,2	22,2	26,8	26,6	20,1	10,5	4,9	-0,1
	Минимум	-15,5	-19,0	-3,5	-3,3	4,8	9,4	16,2	14,2	2,1	-0,2	-5,2	-5,5
	Максимум	6,3	16,1	16,1	24,6	29,2	34,3	38,8	39,2	33,0	22,5	15,6	7,9
Давление, мм рт. ст.		767	768	765	764	760	758	758	761	764	763	767	768
Скорость ветра, м/с		2,5	2,5	2,5	3,1	2,3	2,2	2,3	2,0	2,2	2,1	2,2	2,4
Влажность, %		85	79	71	60	53	57	49	47	57	72	84	87
Количество осадков, мм		6	17	33	1	26	48	3	1	0	29	16	16

Как видно из представленных данных, для Астрахани характерны:

- значительные колебания температур воздуха;
- максимальная температура и низкая влажность воздуха в июле и августе;
- незначительное количество осадков (в год — 196 мм);
- низкая скорость ветра.

Анализ метеорологических данных рассмотренных населенных пунктов позволяет выделить два вида агрессивных сред:

- с низкими температурами воздуха и высокой влажностью (Баренцбург, Санкт-Петербург);
- с высокой температурой воздуха и низкой влажностью (Ростов-на-Дону, Астрахань).

**Механизм воздействия метеорологических условий на прочностные свойства железобетонных конструкций.** Бетон состоит из трех элементов: вяжущее вещество (цемент), крупные и мелкие заполнители, вода. Железобетон представляет собой сочетание бетона и стальной арматуры гладкого или периодического профиля. При отрицательных температурах вода, входящая в состав бетона, переходит в твердое состояние — лед и увеличивается в объеме примерно на 9 %. В результате замораживания бетонной смеси образуются тончайшие ледяные прослойки, которые

нарушают контакт между цементным раствором, заполнителем и арматурой. При многократном замораживании и оттаивании бетон расширяется, дает усадку в объеме, и сцепление между частицами еще больше ослабевает. Такие процессы часто отмечаются в г. Санкт-Петербурге, т. к. на данной территории в течение короткого времени может наблюдаться неоднократный переход от плюсовой температуры к минусовой.

Следует отметить, что отрицательные температуры по-разному воздействуют на внутреннюю структуру бетона. Так, в п. Баренцбург под влиянием более низких, чем в Санкт-Петербурге, температур в структуре бетона образуется больше мелких кристаллов льда, которые после оттаивания создают множество мелких пор.

Бетон, подвергавшийся замораживанию сразу после изготовления, имеет пониженные модуль упругости и прочность по сравнению с бетоном нормального хранения. Начальный модуль упругости снижается на 10–12 %, а кубиковая и призмечная прочность — на 15–20 % и 10–17 % соответственно [6].

Итак, отрицательная температура воздуха в сочетании с высокой влажностью способствуют снижению прочности и водонепроницаемости железобетонных конструкций.

Рассмотрим особенности территорий с сухим жарким климатом. Согласно [7], для такой местности характерна «совокупность метеорологических условий, отличающихся продолжительным знойным летом (более 100 дней в году), высокими температурами воздуха — абсолютной максимальной, равной или превышающей +40 °С, и средней максимальной самого жаркого месяца, равной или превышающей 29–30 °С, при средней относительной влажности воздуха самого жаркого месяца менее 50–55 %». Также в [7] определено, что к районам с сухим жарким климатом относятся климатические подрайоны IVA, IVГ, IIIА и IIIВ по [4].

Анализ данных табл. 5 позволяет утверждать, что Ростов-на-Дону и Астрахань относятся к территориям с сухим жарким климатом.

Таблица 5

Климатические условия Ростова-на-Дону и Астрахани

Город	По данным [4]				По метеоданным за 2017 г.		
	Климат. подрайон	Максимальная температура воздуха, °С			Максимальная температура воздуха, °С		
		Средняя наибольшая теплого месяца	Абсолютная	Влажность воздуха, %*	Средняя наибольшая теплого месяца	Абсолютная	Влажность воздуха, %*
Ростов-на-Дону	IIIВ	29,1	40	59	26,3	38,4	42
Астрахань	IVГ	32,2	41	58	26,8	39,2	49

\*Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца.

При выполнении работ с бетоном в сухом, жарком климате возникают следующие сложности:

- увеличение расхода воды и цемента для обеспечения требуемой прочности бетона;
- потеря подвижности бетонной смеси вследствие ускоренного схватывания цемента и интенсивной потери воды затворения;
- интенсивное обезвоживание бетона и, как следствие, снижение прочности на сжатие в месячном возрасте на 50 %;
- значительная пластическая усадка твердеющего бетона;
- неравномерное формирование температурного поля в монолитных конструкциях.

Из вышесказанного следует, что у железобетонных конструкций, изготовленных в условиях сухого, жаркого климата, могут наблюдаться следующие дефекты:

- трещинообразование;
- нарушение сцепления между частицами бетонной смеси;
- расшатывание структуры бетона;
- снижение прочности;
- снижение морозостойкости;
- увеличение водопроницаемости и, как следствие, коррозия арматуры.

Таким образом, при проведении работ в условиях сухого, жаркого климата необходимо учитывать скорость испарения воды из бетонной смеси. Так, при нормальных условиях ( $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 70\%$ ) скорость испарения составляет  $0,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , а в условиях жаркой и сухой погоды ( $t = 35^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 30\%$ ) скорость испарения составит  $1,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , т. е. в четыре раза выше [7]. Увеличение скорости ветра с  $4,5 \text{ м}/\text{с}$  до  $10 \text{ м}/\text{с}$  в условиях жаркой и сухой погоды ( $t = 35^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 30\%$ ) повышает скорость испарения еще в два раза.

Следует также отметить, что ветровая нагрузка, в свою очередь, напрямую влияет на прочность зданий и сооружений, изготовленных из железобетонных конструкций. Для расчета воздействия температуры [8] на прочность наружных бетонных и железобетонных конструкций используют формулу, которая связывает коэффициент теплоотдачи со скоростью ветра:

$$\alpha_v = 5,8 + 11,6\sqrt{v}, \quad (1)$$

где  $\alpha_v$  — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $v$  — скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ .

Ветровая нагрузка особенно интенсивно воздействует на высотные сооружения. Верхняя часть здания от ветра раскачивается, при этом с наветренной стороны конструкции испытывают растяжение, а с подветренной — сжатие [9].

Итак, под влиянием метеорологических условий в холодных и жарких климатических районах железобетонные конструкции теряют прочность, их морозостойкость и водонепроницаемость снижаются.

**Изменение состояния железобетонных конструкций в условиях пожара.** Чтобы прогнозировать разрушение поврежденных железобетонных конструкций в условиях пожара, необходимо рассмотреть механизм высокотемпературного воздействия на железобетон.

Железобетонные конструкции различаются по виду бетона и классу арматуры, однако при высокотемпературном воздействии они разрушаются одинаково. При нагревании до  $100^\circ\text{C}$  в структуре бетона возникают микротрещины, в которые проникает вода. Как следствие, призмная прочность бетона уменьшается.

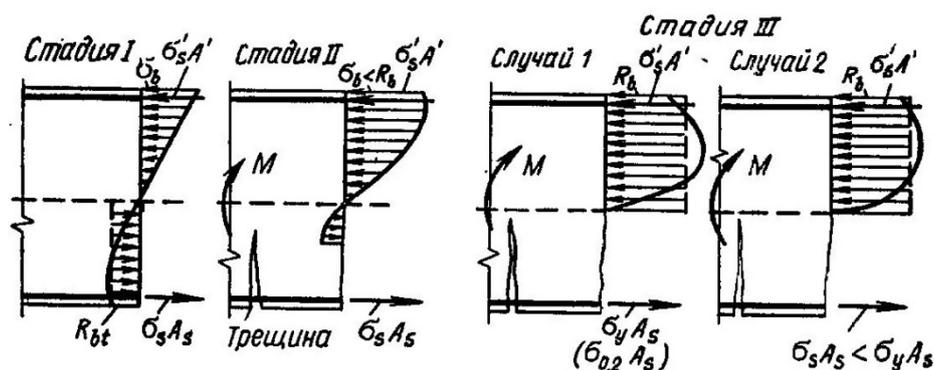
Коэффициент температурного расширения воды во много раз превышает коэффициент температурного расширения цементного камня и заполнителя. Этим объясняется усиление расклинивающего действия водяных пленок, связывающих цементный камень и заполнитель. Последующее нагревание бетона вызывает повышение призмной прочности. При температурах  $200\text{--}400^\circ\text{C}$  происходит испарение воды, усиление кристаллизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и, как следствие, уплотнение структуры бетона. При температуре  $400^\circ\text{C}$  и выше начинается процесс дегидратации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , что приводит к нарушению структуры затвердевшего портландцемента и снижению призмной прочности бетона. Если бетон нагревается до  $400^\circ\text{C}$  и более, пластические деформации резко увеличиваются. Эти деформации прямо пропорциональны напряжению в бетоне и температуре его нагрева.

В условиях пожара некоторые виды бетона, например тяжелые бетоны, демонстрируют склонность к хрупкому разрушению: через  $5\text{--}20$  мин происходит взрывообразное откалывание

кусков бетона от нагреваемой поверхности. Преждевременное взрывообразное разрушение влажного бетона может снизить предел огнестойкости железобетонной конструкции [10].

Под воздействием открытого огня и нагрузок снижаются прочностные характеристики арматуры, увеличиваются ее пластические деформации. Следует отметить, что сцепление арматуры периодического профиля с бетоном значительно выше, чем сцепление гладкой арматуры. Снижение прочности сцепления арматуры периодического профиля начинается при температуре 350 °С. Поскольку коэффициенты температурного расширения бетона и стали отличаются в 1,2–1,5 раза [11], то дальнейший рост температуры способствует увеличению контактных напряжений между бетоном и арматурой. При этом структура бетона меняется, появляются микро- и макротрещины.

Постепенное увеличение нагрузки на железобетонную конструкцию приводит к снижению



ее прочности и разрушению, которое проходит три стадии (рис. 2.).

Рис. 2. Стадии разрушения железобетонной конструкции

Для первой стадии характерны незначительные напряжения в бетоне и арматуре, а деформации, как правило, носят упругий характер. Зависимость между напряжениями и деформациями линейная, эпюры напряжений в сжатой и растянутой части конструкции треугольные. В конце первой стадии развиваются неупругие деформации, напряжения в конструкции достигают предела прочности при растяжении. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к образованию трещин и переходу в новое состояние.

На второй стадии появление трещин в структуре бетона вызывает рост растягивающих напряжений, при этом искривляются эпюры нормальных напряжений. Растягивающее усилие воспринимается только арматурой и участком бетона над трещиной. Дальнейший рост нагрузки на железобетонную конструкцию способствует развитию неупругих деформаций в арматуре.

На третьей стадии возможны два сценария.

1. Разрушение носит преимущественно пластический характер. Напряжения в стержневой арматуре достигают предела текучести, сокращение высоты сжатой зоны бетона приводит к снижению сопротивления конструкции сжатию. Разрушение начинается по арматуре растянутой зоны и заканчивается раскалыванием бетона в сжатой зоне.

2. Разрушение носит хрупкий характер и наблюдается, как правило, в железобетонных конструкциях с избытком арматуры.

Таким образом, железобетонные конструкции, изготовленные при неблагоприятных климатических и метеорологических условиях, изначально находятся во второй стадии разрушения. Нарушение структуры бетона, наличие микро- и макротрещин снижают несущую способность конструкций и способствуют ее более быстрому обрушению в условиях пожара под влиянием постоянной нагрузки.

Под воздействием высокой температуры раскрываются имеющиеся трещины, арматура прогревается более интенсивно, вследствие чего снижается предел огнестойкости несущей конструкции, она теряет устойчивость и обрушивается.

В сравнении с сооружениями из сборного железобетона, многоэтажные жилые здания рамной конструкции, изготовленные из монолитного железобетона, обладают меньшей огнестойкостью. Как правило, пожары в них носят локальный характер, в пределах одного помещения. Железобетонная колонна вблизи очага пожара расширяется. Соседние и вышестоящие колонны препятствуют расширению, поэтому в подверженной огневому воздействию колонне возникают добавочные сжимающие усилия. Железобетонные колонны с нарушенной структурой (вследствие изготовления при чрезмерно низких или высоких температурах воздуха)греваются и разрушаются быстрее. Механизм такого разрушения выглядит следующим образом [10]:

- через 25–45 минут от начала огневого воздействия в колонне образуются продольные трещины;
- появляются выгибы в несколько сантиметров, при этом сохраняется несущая способность;
- за несколько минут до потери несущей способности в растянутой зоне бетона появляются заметные трещины, перпендикулярные действию нагрузки;
- происходит разрушение бетона, его расслоение и выкрашивание;
- если температура арматуры достигает 500–700 °С, железобетонная колонна разрушается мгновенно, в пределах 1 секунды.

Если колонны нагреваются по-разному, то в плитах и ригелях появляются добавочные прогибы и возникают добавочные моменты, которые могут привести к разрушению плит, ригелей или колонн [11].

При пожаре железобетонные плиты перекрытиягреваются снизу. Из-за неравномерного нагрева и действия нагрузок элемент прогибается. Недостаточная пластичность арматуры приводит к преждевременному разрушению плиты. При воздействии высокой температуры следует учитывать, что железобетонные элементы увеличиваются в размерах. Опорные части элементов препятствуют температурным деформациям, в балках и плитах возникают продольные сжимающие усилия, а в колоннах увеличиваются усилия сжатия [11]. Учитывая перечисленные факторы, при строительстве для обеспечения свободного удлинения балки во время ее нагрева между балкой и опорой необходимо оставлять зазор.

Железобетонные конструкции используются преимущественно при возведении зданий I и II степени огнестойкости. Для обеспечения необходимой степени огнестойкости здания конструкции должны иметь предел огнестойкости, указанный в табл. 21 [1]. Максимальное время, которое должна выдерживать железобетонная конструкция в условиях пожара, — 120 минут. Испытания на огнестойкость [11] показали, что железобетонные колонны, изготовленные из высокопрочного бетона, имеют предел огнестойкости от 85 до 160 минут (в зависимости от марки бетона). Если бетон изготовлен в условиях агрессивной среды, призмочная прочность конструкции (и, соответственно, предел огнестойкости) будет ниже.

**Рекомендации по выполнению бетонных работ в условиях агрессивных сред.** При строительстве зданий в условиях агрессивных низких температур следует отдавать предпочтение сборным железобетонным конструкциям, полученным с завода. Если это невозможно, необходимо использовать методы специального зимнего бетонирования, которое предполагает следующие операции (отдельные или в комплексе):

- бетонирование по методу термоса (использование опалубки из теплоизоляционных материалов);
- применение противоморозных добавок;
- электротермообработка бетона;

- пропаривание конструкций в паровых рубашках;
- обогрев железобетонных конструкций в тепляках.

Особое внимание следует уделять монтажу и омоноличиванию стыков сборных железобетонных конструкций при отрицательных температурах. Для термообработки стыков используют трубчатые электронагреватели (тэны) — источники инфракрасного излучения [6].

При производстве бетонных работ в условиях сухого и жаркого климата необходимо следовать рекомендациям, изложенным в [7] и [8].

В районах с сухим и жарким климатом железобетонные конструкции подвержены частому циклическому нагреву. Поэтому для повышения прочностных характеристик бетона следует применять пластифицирующие добавки типа ВРП-1 и карбонатный микронаполнитель [8]. Температура бетонной смеси в момент укладки ее в обычные конструкции не должна превышать 30–35 °С [7]. Эффективным способ снижения температуры бетонной смеси в жаркую погоду является применение холодной воды или дробленого льда.

Чтобы исключить пластическую усадку и трещинообразование бетона в жаркую погоду необходимо перед укладкой бетонной смеси:

- защитить место укладки от воздействия солнечных лучей навесами или передвижными щитами;
- охладить холодной водой опалубку, арматуру и основание.

Если дневная температура воздуха достигает 42–45 °С, работы по бетонированию следует производить поздним вечером и ночью. Это позволит значительно улучшить условия укладки бетона.

**Заключение.** На железобетонные конструкции крайне негативно воздействуют температура воздуха, влажность и скорость ветра. В условиях экстремально низких или высоких температур структура бетона меняется, вследствие чего ухудшаются прочностные свойства железобетонных конструкций: снижается предел их огнестойкости. Высокая влажность в сочетании с отрицательной температурой способствует дополнительному разрушению бетона. Под воздействием ветра увеличиваются сжимающие и растягивающие усилия конструкций. В результате пожара железобетонные конструкции с нарушенной структурой склоны к быстрому разрушению, наблюдается рост количества трещин и более интенсивный прогрев арматуры.

Соблюдение мер защиты бетонной смеси в процессе укладки позволит обеспечить необходимый предел огнестойкости железобетонных конструкций.

#### Библиографический список

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 29 июля 2017 года) (редакция, действующая с 31 июля 2018 года) : Федеральный закон [Электронный ресурс] / Государственная Дума ; Совет Федерации // Техэксперт / Кодекс. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 09.09.18).

2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* [Электронный ресурс] / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко ; Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство» ; Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт / Кодекс. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения: 09.09.18).

3. СП 27.13330.2011. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84 [Электронный ресурс] / НИИЖБ им. Гвоздева) ; Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство» ; Министерство регионального развития Российской Федера-

ции ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Техэксперт / Кодекс. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084093> (дата обращения: 09.09.18).

4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменением № 2) [Электронный ресурс] / НИИСФ РААСН ; Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство» ; Министерство регионального развития Российской Федерации ; Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // FLAMAX / ФЛАМАКС. — Режим доступа: <https://www.flamax.ru/upload/iblock/2c1/2c1be01579f22d63aa55037726bb6405.pdf> (дата обращения: 09.09.18).

5. Москаленко, И. Г. Климат [Электронный ресурс] / И. Г. Москаленко // Санкт-Петербург. Энциклопедия / Международный благотворительный фонд им. Д. С. Лихачева ; Институт Петра Великого. — Режим доступа: <http://www.encspb.ru/object/2803997493?lc=ru> (дата обращения: 15.03.18).

6. Миронов, С. А. Теория и методы зимнего бетонирования / С. А. Миронов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Стройиздат, 1975. — 700 с.

7. Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата / НИИЖБ Госстроя СССР. — Москва : Стройиздат, 1977. — 80 с.

8. Воробьев, А. А. Повышение качества бетонных работ в условиях жаркого климата / А. А. Воробьев, В. И. Елфимов // Вестник Рос. ун-та дружбы народов. — 2005. — № 1 (11). — С. 85–88. — (Инженерные исследования).

9. Скрипченкова, С. Ю. Воздействие ветровых нагрузок на высотные здания / С. Ю. Скрипченкова // Астрахан. вестник экологич. обр. — 2017. — № 2 (40). — С. 103–108.

10. Хаматов, Р. Р. Повреждения строительных конструкций при пожарах / Р. Р. Хаматов, Р. С. Ситор, Ю. П. Иванов // Инновационная наука. — 2015. — № 10. — С. 123–126.

11. Милованов, А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А. Ф. Милованов. — Москва : Стройиздат, 1998. — 304 с.