

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162>

## СОХРАНЯЕМОСТЬ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

Сагдиев Р.Р.<sup>1,\*</sup>, Красиникова Н.М.<sup>2</sup>, Фахрутдинов А.Э.<sup>3</sup>, Кашапов Р.Р.<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Казанский домостроительный комбинат, Казань, Российская Федерация

<sup>3</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (ruslan-kgasu[at]yandex.ru)

### Аннотация

В работе рассмотрены вопросы сохраняемости бетонных смесей при воздействии климатических факторов при длительной выдержке на открытом воздухе. Рассмотрены вопросы по определению скорости снижения подвижности и прочности с длительной выдержкой при положительных и отрицательных температурах. Оценена эффективность добавок суперпластификаторов на основе температурного коэффициента реакции. Коэффициент температурной реакции позволяет обосновывать выбор химической добавки для производства товарного бетона с точки зрения ее стойкости к знакопеременным температурам. На основе полученных данных возможно прогнозировать сохраняемость бетонных смесей при различных температурах, проведя климатические испытания при двух температурах.

**Ключевые слова:** сохраняемость бетонной смеси, суперпластификаторы, климатические условия, температурный коэффициент реакции.

## MAINTAINABILITY OF CONCRETE MIX MOBILITY DEPENDING ON ENVIRONMENTAL TEMPERATURE

Research article

Sagdiev R.R.<sup>1,\*</sup>, Krasinikova N.M.<sup>2</sup>, Fakhrutdinov A.E.<sup>3</sup>, Kashapov R.R.<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Kazan house-building plant, Kazan, Russian Federation

<sup>3</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

\* Corresponding author (ruslan-kgasu[at]yandex.ru)

### Abstract

The work examines the issues of maintainability of concrete mixtures under the influence of climatic factors during prolonged exposure to the open air. The questions of determining the rate of mobility and strength reduction with prolonged exposure to positive and negative temperatures are examined. The efficiency of superplasticiser additives on the basis of temperature reaction coefficient is evaluated. The temperature reaction coefficient allows to substantiate the choice of chemical admixture for production of ready-mix concrete from the point of view of its resistance to alternating temperatures. On the basis of the obtained data, it is possible to predict the maintainability of concrete mixtures at different temperatures by conducting climatic tests at two temperatures.

**Keywords:** concrete mix maintainability, superplasticisers, climatic conditions, temperature coefficient of reaction.

### Введение

Активное строительство и быстрый рост крупных городов приводит к необходимости более тщательного контроля сохраняемости свойств бетонной смеси во времени. Возникает необходимость, производства бетонных смесей, с временем сохраняемости подвижности не менее трех часов, в том числе в условиях высоких температур при производстве работ в летнее время [1], [2]. Высокая сохраняемость подвижности, необходима при длительном транспортировании, предполагающая, как правило, несколько часов с момента производства до укладки в опалубку, продолжительной укладке бетонной смеси, а также для снижения последующих негативных усадочных процессов при схватывании и твердении бетона. Решением проблемы малой сохраняемости подвижности, являются пластификаторы, позволяющие значительно увеличить время транспортирования [3], [4]. Но данные продукты ограничены по количеству предложений (как правило, у одного производителя имеется один вид подобного пластификатора в предлагаемом ассортименте), и дороги. В работе [5], [6] предлагается увеличивать продолжительность сохраняемости подвижности бетонной смеси путем периодического введения пластификаторов. Данный способ, с одной стороны, не требует использования дорогих суперпластификаторов, но сложен с точки зрения контроля введения добавок.

Еще одним из вопросов косвенно связанных с сохраняемостью подвижности бетонной смеси является необходимость определения сроков схватывания бетонных смесей [7], для предотвращения образования холодных швов в монолитных конструкциях. Методы определения сроков схватывания бетонных смесей [8] трудоемки в связи с необходимостью рассеивания через стандартное сито 5 мм. бетонной смеси. Увеличение времени сохраняемости бетонной смеси возможно различными способами, но в основном для этого используются различные добавки модификаторы бетона и бетонных смесей [9], [10]. На основе вышеизложенного, авторами было решено рассмотреть сохраняемость бетонной смеси в условиях знакопеременных температур, приготовленных с использованием суперпластификаторов и противоморозных добавок, с последующей оценкой их эффективности по критерию энергии активации.

## Методы и принципы исследования

Работы были проведены на базе лаборатории ООО «Казанский ДСК», на основе используемых материалов и составов в производстве. Исследования проведены на товарном бетоне класса В25F75W4 (далее ТБ), в двух вариантах добавок – суперпластификаторе (СП) и противоморозной добавке (ПД) (суперпластификатор используемый в летний период – СП, противоморозная добавка в зимний период – ПД) [3]. Составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Составы товарного бетона

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.1>

Наименование материала	Расход материалов кг. На 1 м <sup>3</sup> бетона		
	Контрольный	Летний ТБ	Зимний ТБ
1	2	3	4
Цемент ЦЕМ I 42.5	330	330	350
Гравий	1090	1090	1090
Песок обогащенный	740	740	720
Песок речной	100	100	100
Добавка СП	-	2,97 (0,9 % от массы цемента)	-
Добавка ПД	-	-	3,15 (0,9 % от массы цемента)

### 2.1. Характеристики заполнителей для товарного бетона

Песок обогащенный:

Модуль крупности – 2,53;

Плотность в сухом состоянии – 1520 кг/м<sup>3</sup>;

Содержание пылевидных частиц – 0,8%.

Песок речной:

Модуль крупности – 1,75;

Плотность в сухом состоянии – 1480 кг/м<sup>3</sup>;

Содержание пылевидных частиц – 2,8%.

Гравий фр.5-20:

Марка по дробимости – 1000;

Плотность в сухом состоянии – 1540 кг/м<sup>3</sup>;

Содержание пылевидных частиц – 0,9%.

Выбрав оптимальный базовый состав – исследовали влияние температуры выдержки на сохраняемость подвижности бетонной смеси при положительных и отрицательных температурах, в том числе сделан вывод по действию данных пластификаторов на кинетику набора прочности, пластичности смеси, расслаиваемости и т.д.

Для определения зависимости сохраняемости подвижности бетонной смеси от температуры выдержки были изготовлены идентичные лабораторные замесы объемом 7л. В процессе исследования добавки вводились в бетонную смесь вместе с водой затворения. Для некоторых составов при снижении осадки конуса в интервале 6-10 см., осуществлялось дополнительное введение добавки в количестве 0,1% от массы цемента, для восстановления подвижности бетонной смеси и увеличения времени сохраняемости, в зависимости от скорости снижения подвижности бетонной смеси, время введения добавок различно.

Требуемая марка по удобоукладываемости бетонной смеси: подвижность П5 (осадка конуса 22-24 см.).

### Основные результаты

После приготовления бетонная смесь, помещалась в климатическую камеру СМ -55/50-12 МАС при температурах: +25, +20, +10, 0, -15 °С и выдерживалась до 8 часов. В зависимости от температуры выдержки, интервалы определения подвижности и отбора образцов для определения прочности бетонной смеси составили от 1 до 2 часов, первоначальные характеристики определены через 15 минут после приготовления. На рис. 1-2 представлены графики изменения осадки конуса в зависимости от температуры и времени выдержки. Контрольный образец выдерживался при температуре + 20 °С и является бездобавочным, по требованиям ГОСТ 30459-96 добавки для бетонов Методы определения эффективности, а также для разработки методики оценки эффективности добавок с испытаниями при нормальных условиях.

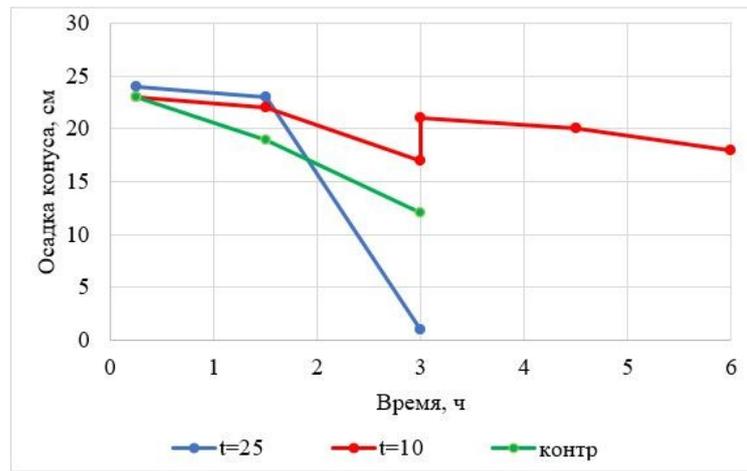


Рисунок 1 - Изменение осадки конуса с выдержкой при положительной температуре на суперпластификаторе  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.2>

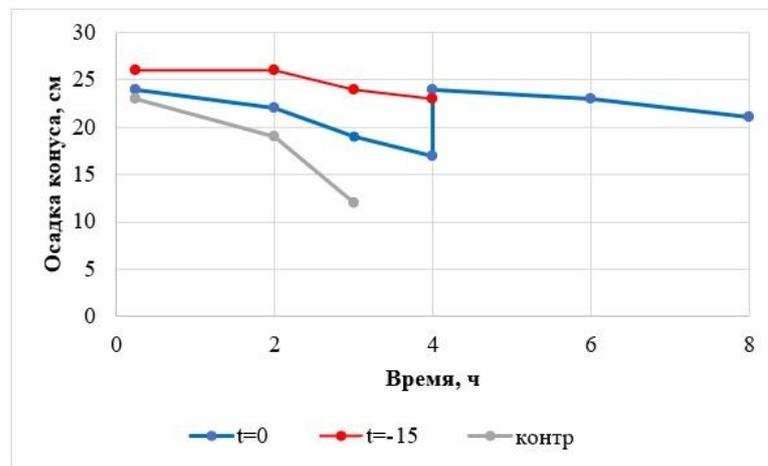


Рисунок 2 - Изменение осадки конуса с выдержкой при отрицательной температуре на противоморозной добавке  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.3>

На рис. 1 и 2 осадка конуса изменяется согласно правилу - выше температура, больше скорость реакции. На рис. 1 при температуре + 10 °С и времени выдержки 3 часа была восстановлена подвижность бетонной смеси введением добавки суперпластификатора. На рис.2 подвижность была также восстановлена для бетонной смеси, выдерживавшийся при температуре 0 °С и 4 часах. Бетонная смесь, выдерживаемая при температуре -15 °С, быстро замерзала и к пятому часу выдержки полностью замерзла.

На рис. 3 и 4 представлено изменение прочности бетона в возрасте 28 суток.

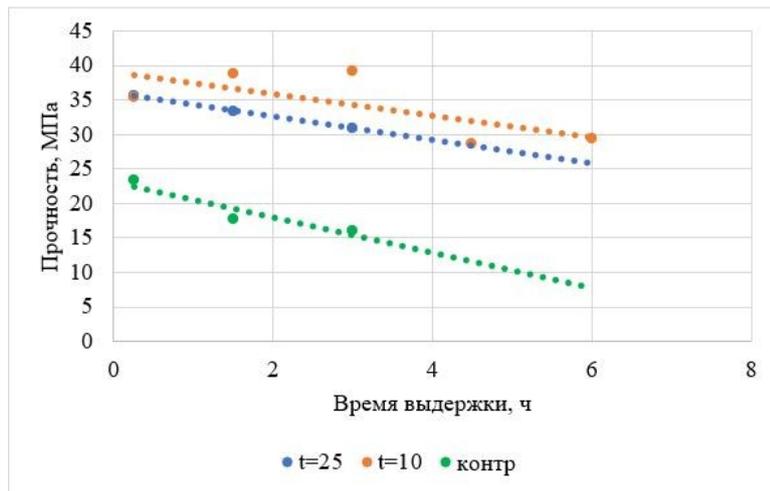


Рисунок 3 - Изменение прочности товарного бетона с выдержкой при положительной температуре на суперпластификаторе  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.4>

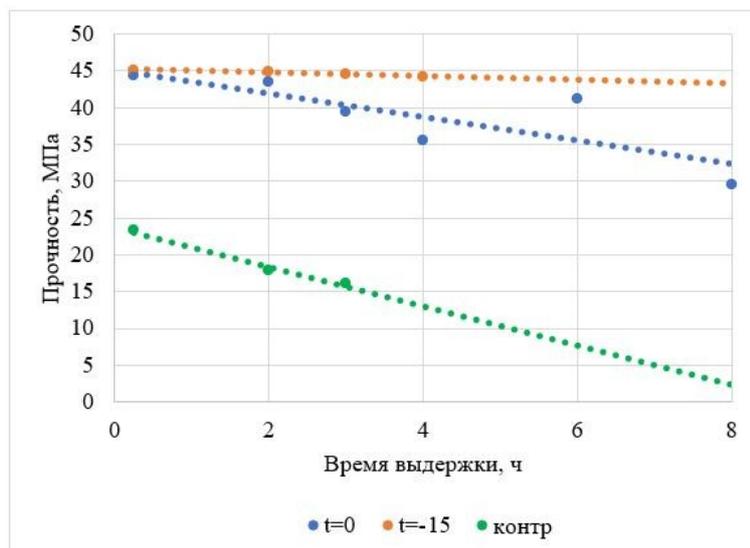


Рисунок 4 - Изменение прочности товарного бетона с выдержкой при отрицательной температуре на противоморозной добавке  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.5>

### Обсуждение

Из рис. 3 и 4 видно, что сохранение прочности бетона при длительной выдержке достигается при температуре -15 °С. Разница в прочности между товарным бетоном на суперпластификаторе и противоморозной добавке достигает 10 МПа в пользу бетона на зимней добавке, прочность бездобавочного бетона ниже на 10-20 МПа. При температурах от 0 до +25 °С кинетика снижения прочности товарного бетона на графиках различается во временных интервалах.

Для оценки изменения скорости снижения прочности товарного бетона проведен регрессионный анализ рис. 3 и 4 (обозначены пунктиром). На основе регрессионного анализа определены скорости снижения прочности по формуле:

$$v = -\frac{\Delta r}{\Delta \tau} \quad (1)$$

где:  $\Delta r$  – прирост прочности,

$\Delta \tau$  – прирост времени.

Формула 1 справедлива для систем, где, при химической реакции концентрация исходных веществ уменьшается. По нашему мнению, данная формула может быть применена в первом приближении (без учета других факторов и процессов, происходящих при твердении цемента), поскольку при твердении клинкерные минералы расходуются, а добавка пластификатор является компонентом влияющей на скорость процесса. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение скорости снижения прочности товарного бетона в зависимости от температуры и вида добавки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.6>

Температура выдержки бетонной смеси, °С	Бетон на СП	Бетон на ПД	Контрольный состав
1	2	3	4
+25	-1,71	-	-
+20	-	-	-2,68
+10	-1,57	-	-
0	-	-1,80	-
-15	-	-0,24	-

Примечание: суперпластификатор, противоморозная добавка

Знак минус в таблице 2 говорит об уменьшении концентрации реагирующего вещества, по нашему мнению, уменьшается концентрация добавок. Если расположить полученные скорости по возрастанию относительно температуры выдержки получим:

-15, +10, 0, +25, +20 °С

Наибольшая скорость снижения прочности товарного бетона от выдержки наблюдается у контрольного состава (температура +20 °С), поскольку в составе отсутствует добавка пластификатор. При температурах выдержки 0 и +10 °С скорости близки, но выбиваются из общего ряда. Причиной меньшей скорости реакции при выдержке +10 °С по отношению к 0 °С возможно является более раннее введение добавки пластификатора, для сохранения подвижности бетонной смеси.

Для оценки влияния добавки пластификатора на скорость снижения прочности при выдержке, рассчитаем температурный коэффициент реакции по правилу Вант-Гоффа по формуле:

$$\gamma = \frac{v_2}{v_1} \cdot 10^{\frac{t_2 - t_1}{T}} \quad (2)$$

где:  $\gamma$  – температурный коэффициент реакции,  $v$  – скорость реакции,  $t$  – температура.

Температурный коэффициент реакции по правилу Вант-Гоффа рассчитан относительно контрольного состава и приведен в таблице 3.

Таблица 3 - Температурный коэффициент реакции в зависимости от температуры выдержки и вида добавки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.162.7>

Температура, °С	-15	0	10	25
1	2	3	4	5
Температурный коэффициент реакции	1,99	1,22	1,71	0,41

### Заключение

При сравнении данных из таблицы, можно сделать вывод о том, что противоморозная добавка лучше сохраняет подвижность бетонной смеси, при длительной выдержке, что благоприятно сказывается на прочности бетона, поскольку температурный коэффициент реакции значительно выше, чем у летнего пластификатора. Высокий температурный коэффициент реакции говорит о более высокой энергии активации, а значит пленка адсорбированного пластификатора на поверхности зерен цемента обладает более высокой стойкостью к разрушению при твердении. Коэффициенты реакции для температур 0 и 10 °С показывают что для противоморозной добавки восстановление подвижности не желательно, поскольку энергия активации уменьшается и наоборот, восстановление подвижности суперпластификатором оказывает положительное влияние, энергия активации растет.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный метод испытания позволяет, выбирать добавки для товарного бетона по критерию энергии активации.
2. При сравнении использованных добавок: суперпластификатор допускает восстановление подвижности, при необходимости. Противоморозная добавка эффективна, и не требует восстановления подвижности.
3. Для работы в летний период желательно выбрать более эффективный суперпластификатор.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Ганиев А.Г. 1. Исследование влияния суперпластификатора на свойства бетона / А.Г. Ганиев // Актуальные научные исследования в современном мире. — 2019. — № 12–1 (56). — с. 41-43.
2. Шадманова З.С. Исследование влияния суперпластификаторов на физико-механические свойства бетона / З.С. Шадманова, А.К. Холтаева, Д. Нозимов // Modern Science. — 2021. — № 6–1. — с. 35-38.
3. ГОСТ 30459-96 добавки для бетонов Методы определения эффективности — Введ. 1997-07-08. — Москва: Стандартинформ, 1997.— 23 с.
4. Селезнева О.И. Влияние пластифицирующих добавок на подвижность бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата / О.И. Селезнева, А.А. Баранова, П.А. Шустов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2019. — 1 (28). — с. 106-113.
5. Сурмач Т.И. Повторное введение пластификатора и управление подвижностью бетонной смеси / Т.И. Сурмач // World Science: Problems And Innovations: сборник статей XXXIX Международной научно-практической конференции. — 2020. — 2. — с. 21-24.
6. Мекеня А.И. К вопросу об управлении подвижностью бетонной смеси стадийным введением пластификатора / А.И. Мекеня, С.А. Удодов // Научные труды КубГТУ. — 2020. — 8. — с. 231-236.
7. Лайтер А.В. Анализ современных способов монолитного домостроения / А.В. Лайтер // Актуальные проблемы науки и техники. Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции; — Уфа: Вестник науки, 2020. — с. 262-271.
8. ГОСТ Р 56587-2015 Смеси бетонные. Метод определения сроков схватывания — Введ. 2016-04-01. — Москва: Стандартинформ, 2016.— 11 с.
9. Селезнева О.И. Влияние пластифицирующих добавок на подвижность бетонной смеси в условиях сухого жаркого климата / О.И. Селезнева, А.А. Баранова, П.А. Шустов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2019. — 1 (28). — с. 106-113.
10. Фахратов М.А. Проблемы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата и пути их решения / М.А. Фахратов, Х.А.М.С. Аль-Джубури // Components of Scientific and Technological Progress. — 2023. — 6 (84). — с. 19-32.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Ganiev A.G. 1. Issledovanie vlijaniya superplastifikatora na svojstva betona [Study of the influence of superplasticizer on the properties of concrete] / A.G. Ganiev // Current scientific research in the modern world. — 2019. — № 12–1 (56). — p. 41-43. [in Russian]
2. Shadmanova Z.S. Issledovanie vlijaniya superplastifikatorov na fiziko-mehaniicheskie svojstva betona [Study of the influence of superplasticizers on the physical and mechanical properties of concrete] / Z.S. Shadmanova, A.K. Holtaeva, D. Nozimov // Modern Science. — 2021. — № 6–1. — p. 35-38. [in Russian]
3. GOST 30459-96 dobavki dlja betonov Metody opredelenija effektivnosti [GOST 30459-96 additives for concrete. Methods for determining the effectiveness - Introduced.] — Introduced 1997-07-08. — Moskva: Standartinform, 1997.— 23 p. [in Russian]
4. Selezneva O.I. Vlijanie plastifitsirujuschih dobavok na podvizhnost' betonnoj smesi v uslovijah suhogo zharkogo klimata [The effect of plasticizing additives on the mobility of concrete mix in dry hot climates] / O.I. Selezneva, A.A. Baranova, P.A. Shustov // News of universities. Investments. — 2019. — 1 (28). — p. 106-113. [in Russian]
5. Surmach T.I. Povtornoje vvedenie plastifikatora i upravlenie podvizhnost'ju betonnoj smesi [Re-introduction of plasticizer and control of concrete mix mobility] / T.I. Surmach // World Science: Problems And Innovations: collection of articles of the XXXIX International scientific and practical conference. — 2020. — 2. — p. 21-24. [in Russian]
6. Mekenja A.I. K voprosu ob upravlenii podvizhnost'ju betonnoj smesi stadijnym vvedeniem plastifikatora [On the issue of controlling the mobility of concrete mix by staged introduction of plasticizer] / A.I. Mekenja, S.A. Udodov // Scientific Works of KubSTU. — 2020. — 8. — p. 231-236. [in Russian]
7. Lajter A.V. Analiz sovremennyh sposobov monolitnogo domostroenija [Analysis of modern methods of monolithic housing construction] / A.V. Lajter // Actual problems of science and technology. Collection of scientific articles based on the materials of the XIII International scientific and practical conference; — Ufa: Vestnik nauki, 2020. — p. 262-271. [in Russian]
8. GOST R 56587-2015 Smesi betonnye. Metod opredelenija srokov shvatyvanija [GOST R 56587-2015 Concrete mixtures. Method for determining setting time] — Introduced 2016-04-01. — Moskva: Standartinform, 2016.— 11 p. [in Russian]
9. Selezneva O.I. Vlijanie plastifitsirujuschih dobavok na podvizhnost' betonnoj smesi v uslovijah suhogo zharkogo klimata [Effect of plasticizing additives on the mobility of concrete mix in dry hot climates] / O.I. Selezneva, A.A. Baranova, P.A. Shustov // News of universities. Investments. — 2019. — 1 (28). — p. 106-113. [in Russian]

10. Fahrator M.A. Problemy tehnologii betona v uslovijah suhogo zharkogo klimata i puti ih reshenija [Problems of concrete technology in dry hot climate conditions and ways to solve them] / M.A. Fahrator, H.A.M.S. Al'-Dzhuburi // Components of Scientific and Technological Progress. — 2023. — 6 (84). — p. 19-32. [in Russian]