

## НЕСКОЛЬКО СЛОВ О ДОБАВКЕ К ЦЕМЕНТНЫМ БЕТОНАМ – ХЛОРИДЕ КАЛЬЦИЯ

*Пшеничный Г.Н., Чариков Г.Ю., Арутюнов Е.А.*

*Представлены промежуточные экспериментальные результаты по уточнению эффективности использования в технологии бетона и железобетона ускорителя твердения – хлорида кальция. Однопроцентное введение добавки позволяет в 1,6...1,8 раза сократить начальные сроки твердения бетона, увеличить оборачиваемость форм (оснастки) и производительность технологического процесса, наряду с повышением эксплуатационной надежности конечной продукции.*

**Ключевые слова:** *портландцемент, бетон, хлористый кальций, ускорение твердения, коррозия арматуры, сбросы прочности, надежность бетона*

### Введение

Ускоряющее действие добавки хлористого кальция на твердение цементных бетонов известно давно – на заре становления сборного железобетона ее применяли в технологии тяжелого [1] и легкого [2] бетонов для сокращения сроков твердения. Более поздними исследованиями показана возможность экономии портландцемента, «реанимации» лежалого вяжущего, оперативного проведения ремонтных работ, увеличения однодневной прочности бетона, повышения его вибростойкости [3], стойкости к истиранию, снижения деформационных свойств. Хлористый кальций, таким образом, безоговорочный и эффективный не только ускоритель твердения, но и позитивный модификатор бетона. При этом подкупает массовое производство, доступность и низкая стоимость продукта. Отсюда возникает вопрос, почему же, несмотря на такие достоинства, добавка не нашла соответствующего распространения в отечественной бетоностроительной практике? Более того, хлорид кальция ввиду опасности коррозии арматуры категорически запрещается [4] применять в технологии предварительно напряженных конструкций и в случае использования арматуры диаметром 5 мм и менее. В то же время, еще в 30-х годах прошлого столетия известнейший авторитет в области коррозии бетонов проф. В.М. Москвин отмечал безвредность добавки [5]: «после тринадцатимесячного хранения в чрезвычайно неблагоприятной обстановке (даже при содержании добавки до 6 % арматурные) стержни все были совершенно чисты от ржавчины». Как следствие, «опасения, что арматура будет ржаветь в бетоне с добавками хлористого кальция неосновательны и бояться ржавления не следует».

Невольно создается впечатление, что проблема хлорида кальция кроется не столько в техническом или материаловедческом аспекте, сколько в политическом разрезе, и бурно проводимая антирекламная кампания добавки имеет мало общего с действительным состоянием дел. Ее первопричина, по-видимому, как раз и кроется в доступности, низкой цене и простоте технологии, что является «костью в горле» расплодившимся фирмам, специализирующихся на разработке разнообразных «сверхэффективных» модифицирующих составов. Несложно догадаться, что под зонтиком «ноу-хау» во многих из этих «модификаторов» как раз и применяют в качестве ускорителя твердения данный хлорид.

Практический интерес, таким образом, представляет уточнение действия хлорида кальция на коррозионный процесс, его вид, характер и прогрессирование, что явилось целью настоящей работы.

**Методика исследований.** Опыты проводили на цементном тесте с  $V/C=0,28...0,32$  и растворной смеси состава  $C:P=1:2$  с  $V/C=0,45$  и  $0,60$  (вяжущее – новороссийский ПЦ500-Д0 и египетский белый портландцемент ПЦБ I-500-Д0, песок – низко модульный кубанский, вода - питьевая). Хлорид кальция в количестве 0 (эталон); 0,5; 1,0; 2,0 и 5,0 % от массы цемента предварительно растворяли в дозированном количестве воды. Вяжущие составы приготавливали в сферической чаше стандартным методом, укладывали в подготовленные (очищенные, смазанные, армированные) формы, тщательно уплотняли на лабораторной виброплощадке, поверхность образцов заглаживали и маркировали.

Пластическую прочность твердеющих составов определяли пружинным коническим пластометром по общеизвестной методике, предусматривающей периодическую фиксацию нагрузки на конус (с углом при вершине  $30^\circ$ ) при его постоянной глубине погружения. Термовесовой анализ включал выявление потери массы измельченных цементных навесок (массой 9...12 г) после сушки в термошкафу (при температуре  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ), обжига в муфельной печи ( $1000 \pm 10^\circ\text{C}$ ) и общей потери массы. Изготавливали армированные стандартные образцы ( $16 \times 4 \times 4$  см); в качестве арматуры применяли металлические стержни гладкого профиля (для удобства визуальной фиксации характера и степени поражения поверхности стержней коррозией) диаметром 10 мм, которые предварительно тщательно шлифовали и посредством фиксаторов (толщиной 10 мм) соосно устанавливали в формы (рис. 1).

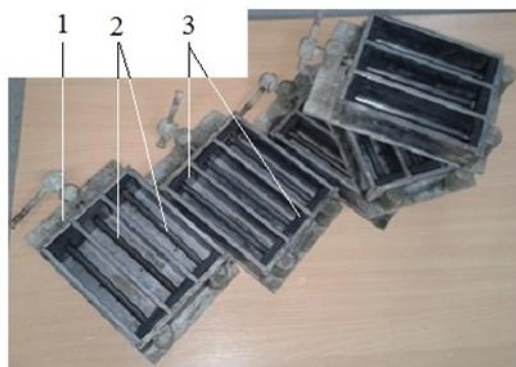


Рисунок 1 – Формы для изготовления армированных образцов

1- форма; 2-арматурные стержни; 3-фиксаторы защитного слоя

В суточном возрасте образцы распалубливали, одну серию помещали в камеру стандартных условий, другую – в водную среду. Испытание части образцов (другая часть оставлена на длительное выдерживание) произвели в 28-суточном возрасте. Определяли:

- нагрузку продавливания ( $R_{пр}$ ) арматурных стержней;
- прочность сцепления ( $R_{сц}$ ) арматуры с цементным камнем;
- вид и поражение поверхности стержней коррозией, выраженное в процентах ( $Sk_{ор}$ ).

Первое свойство выявляли путем осевого продавливания гидравлическим прессом арматурных стержней сквозь растворную призму посредством сантиметровых выпусков арматуры и опорного элемента с центральным отверстием диаметром 11 мм (рис. 2, слева). Отношение прилагаемой нагрузки к контактной площади арматуры ( $44,0 \text{ см}^2$ ) составляло величину сцепления цементного камня с арматурой. После полного извлечения из образцов стержней производили их визуальный осмотр, регистрировали характер коррозии и рассчитывали ее процентное содержание.

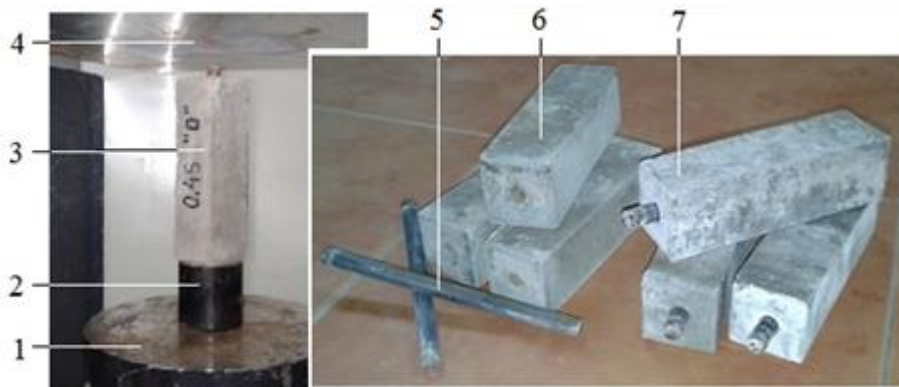


Рисунок 2 – Установка для продавливания арматуры (слева) и общий вид отдельных элементов после испытания (справа)

1-нижняя плита прессы «Controls»; 2-опорный элемент; 3-образец армированный; 4-верхняя плита прессы; 5-стержни арматурные; 6-образцы с извлеченной арматурой; 7- «продавленные» образцы

#### Анализ результатов испытаний

Хлорид кальция в количестве 1,0 % от массы цемента в 1,6...1,8 раза интенсифицирует структурообразование цементного камня, что количественно не сложно рассчитать из соответствующих кинетических кривых структурной прочности (рис. 3).

Если исходить из стадийно-поверхностных гидратационных предпосылок, то введение добавки позволяет начальную  $90 \pm 10$ -минутную стадийность бездобавочного структурообразования довести до  $50 \pm 5$  мин [6]. Проще говоря, по достигаемому эффекту введение столь ничтожной доли добавки равноценно

твердению цементного состава при температуре около  $35...45^\circ\text{C}$ .

Хлорид кальция, таким образом – достаточно яркий и непререкаемый ускоритель начального твердения цементных систем. Однако, его применение, как неоднократно отмечалось [7,8], не сопровождается ускорением развития прочности в более поздние сроки (рис. 4) – прочностные показатели эталонного и с добавкой составов при конкретных сроках испытания практически идентичны. При этом обращает на себя внимание неожиданный результат – резкое снижение 14-ти и особенно в 28-суточной прочности, что отметим несколько ниже.

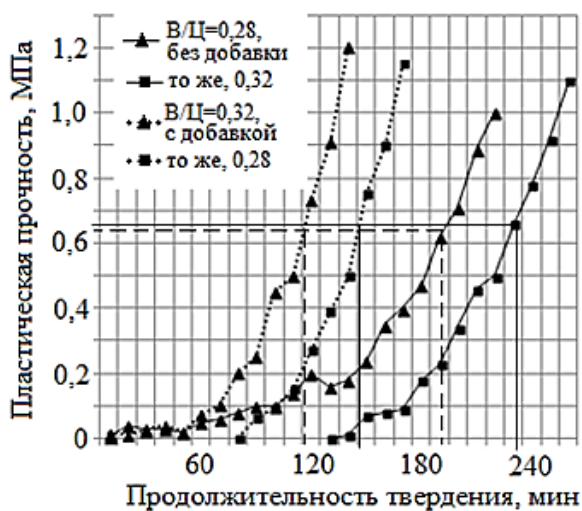


Рисунок 3 – Кинетика пластической прочности теста на новороссийском ПЦ500-Д0 без (сплошные линии) и с добавкой хлористого кальция (пунктирные линии)

Анализируя приведенные в таблице и на рисунке 5 результаты испытания 28-суточных армированных образцов, отметим:

1) повышение в растворе содержания добавки приводит увеличению пораженной коррозией поверхности арматуры, что проявилось в виде рассредоточенных светло-коричневых однородных пятен;

2) водоцементный фактор используемых растворов составов, а также условия твердения армированных образцов (стандартные, водные) не сказались заметным образом на конечном коррозионном результате;



Рисунок 4 – Кинетика прочности эталонного и с хлоридом кальция (1 %) цементного камня с исходным В/Ц=0,30 (египетский ПЦБ I-500-Д0)

Таблица – Результаты испытания 28-суточных армированных образцов

| Показатели  | Содержание хлористого кальция при условиях твердения |     |      |      |      |        |     |     |      |      |
|---|--|-----|------|------|------|--------|-----|-----|------|------|
|   | стандартном  |     |      |      |      | водном |     |     |      |      |
|   | 0  | 0,5 | 1,0  | 2,0  | 5,0  | 0      | 0,5 | 1,0 | 2,0  | 5,0  |
| Растворная смесь с В/Ц=0,45 (новороссийский ПЦ500-Д0) |  |     |      |      |      |        |     |     |      |      |
| R <sub>пр</sub> , кН                                  | 6,8  | 7,1 | 5,6  | 9,4  | 8,6  | 7,7    | 6,3 | 4,9 | 6,9  | 9,3  |
| R <sub>сц</sub> , МПА                                 | 1,6  | 1,6 | 1,3  | 2,1  | 1,9  | 1,8    | 1,4 | 1,1 | 1,6  | 2,1  |
| S <sub>кор</sub> , %                                  | 0  | 6,0 | 13,2 | 18,4 | 24,4 | 0      | 3,2 | 7,9 | 8,7  | 25,9 |
| Растворная смесь с В/Ц=0,60 (новороссийский ПЦ500-Д0) |  |     |      |      |      |        |     |     |      |      |
| R <sub>пр</sub> , кН                                  | 7,5  | 6,4 | 4,2  | 8,6  | 9,3  | 8,1    | 8,3 | 4,5 | 9,2  | 8,6  |
| R <sub>сц</sub> , МПА                                 | 1,7  | 1,5 | 1,0  | 2,0  | 2,1  | 1,8    | 1,9 | 1,1 | 2,1  | 2,0  |
| S <sub>кор</sub> , %                                  | 2,0  | 9,0 | 13,0 | 14,5 | 21,0 | 1,5    | 4,0 | 4,5 | 13,0 | 19,0 |
| Растворная смесь с В/Ц=0,60 (египетский ПЦБ I 500-Д0) |  |     |      |      |      |        |     |     |      |      |
| R <sub>пр</sub> , кН                                  | 9,4  | 8,6 | 6,9  | 7,2  | 15,6 | 9,6    | 6,5 | 8,7 | 8,0  | 9,9  |
| R <sub>сц</sub> , МПА                                 | 2,1  | 2,0 | 1,6  | 1,6  | 3,5  | 2,2    | 1,5 | 2,0 | 1,8  | 2,3  |
| S <sub>кор</sub> , %                                  | 0  | 0   | 8,9  | 7,1  | 45,5 | 0      | 0   | 5,7 | 3,4  | 13,9 |

3) предполагалось, что повышение площади коррозии приведет к снижению контактной прочности арматуры с раствором, что, как видно, не нашло подтверждения;

4) обращает на себя внимание резкое снижение контактной прочности всех составов на новороссийском цементе при однопроцентном содержании хлорида кальция (рис. 5), что, как и ранее приведенный деструктивный аспект, отметим ниже;

5) продавливание прессом арматурных стержней не привело (как ожидалось) к разрушению растворных призм с 15-миллиметровым растворным слоем (рис. 2, поз. б), что сложно объяснить чем-либо иным, кроме как закономерным формированием ущербной контактной зоны.

Полученные результаты являются промежуточными, в связи с чем, формулировку выводов и практических рекомендаций считаем преждевременным. Можно предположить, что применение хлорида кальция в количестве до 1,0...2,0 % от массы цемента не только допустимо, но и целесообразно для большой номенклатуры не несущих железобетонных изделий (наружных стеновых панелей, панелей перегородок, санитарно-технических кабин и др.) и крайне необходимо при производстве мелкоштучных неармированных изделий (стеновых камней, безобжигового кирпича, тротуарной плитки) и неавтоклавного пенобетона. Исследования в данном направлении продолжаются. Особое внимание планируется уделить динамике (прогрессирующей или затухающей) развития коррозионного процесса при конкретном содержании хлорида кальция.



Рисунок 5 – Влияние содержания  $\text{CaCl}_2$  на сцепление арматуры с раствором при стандартном (сплошные линии) и водном (пунктирные) твердении

Принципиальный, и до сих пор не выявленный момент – физическая сущность действия добавки. До сих пор не потеряло актуальности высказывание В.М. Москвина: «несмотря на то, что хлористый кальций в комбинации с цементом неоднократно бывал объектом изучения для химиков, все же сущность химических реакций, протекающих в цементе с этой добавкой, еще не вполне ясна». Предположение автора о возможности появления «сложных соединений с кальциевыми алюминатами портландцемента вида  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$ » [5] поддерживается и сейчас [9,10], хотя десятилетия назад [11,12] экспериментально показана сомнительность этой точки зрения. Цементные минералы в процессе гидратации или вообще не взаимодействуют с хлористым кальцием, или же образование каких-либо хлорсилкатов (а равно – хлоралюминатов, хлорферритов) кальция не является основной реакцией [13]. Да и действие добавки проявляется с первых мгновений приготовления цементного состава, что делает как-то призрачным в столь сжатые сроки формирование отмеченных комплексных продуктов с позиций химической кинетики гетерогенных реакций.

Столь оперативное проявление добавки следует, по всей логике, рассматривать не с химической, а электростатической основы. Известно, что внесение заряженной частицы в кластер из молекул воды приводит к его резкой перестройке. Это связано либо с разрушением водородных связей, уменьшением вязкости воды и повышением активности диполей («отрицательная гидратация иона» по О.Я. Самойлову), либо, наоборот, с образованием мощных структурированных водных систем, снижением их подвижности и реакционной способности («положительная гидратация») [14]. Именно хлористый кальций является ярким представителем отрицательно гидратирующего вещества. Диссоциированные в водной высокощелочной среде чрезвычайно сильные анион и катион добавки в комплексе с сольватами диполей формируют противоположно заряженные аквакомплексы, электростатическое взаимодействие (непрерывное притяжение и отталкивание) которых способствует активному обмену молекул воды граничных слоев. Динамизм этого взаимодействия разрушает водородные связи, разрыхляет полимолекулярную структуру воды, активизирует диполи, обеспечивает интенсификацию поверхностных явлений и гидратационных преобразований.

Более полный гидратационный процесс с участием хлорида кальция (1,0 % от массы цемента) подтверждается термовесовым анализом (рис. 6). Добавка, особо не влияя на потерю массы при сушке, способствует, тем не менее, заметному повышению количества химически связанной воды (Б) и общей потери массы (В), по сравнению с эталонным материалом. Причем, мало изменяемое отличие последних показателей на протяжении месячного интервала испытаний позволяет сделать еще одно важное заключение. Конкретное количество добавки оказывает ускоряющее действие только на начальном и весьма кратковременном (до суток), этапе твердения и мало сказывается на прочности в более поздние сроки.

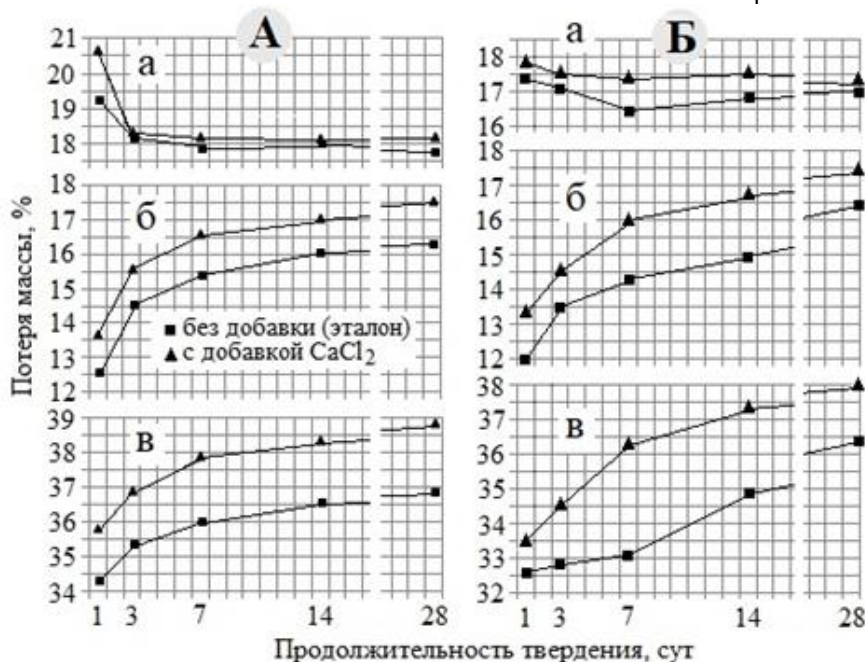


Рисунок 6 – Динамика потери массы цементных образцов после сушки (а), обжига (б) и общей (в)



Отметим ранее упомянутые неожиданные и невероятные, на первый взгляд, результаты – снижение прочности в 14-ти и особенно в 28-суточном возрасте, достигающей...суточной (!) величины (рис. 4) и резкое уменьшение усилия продавливания арматуры для всех 28-суточных составов при 1 %-ном содержании добавки (рис. 5). Мизерные доверительные границы указывают на прочностное единодушие испытываемых образцов (по 4 шт. в каждом из сроков), соответственно, закономерность явления. Все же поясняется достаточно просто, учитывая пилообразный характер отвердевания цементных бетонов [15] – проведение испытаний совпало с временным интервалом естественного гидратационного процесса с возникновением внутренних растягивающих напряжений и неизбежного ослабления микробетона.

В последние годы хлорид кальция вновь стал привлекать внимание исследователей и производителей, и на это есть веские основания. Ускоряющее действие добавки на структурообразующий процесс позволяет сократить сроки начального твердения, повысить оборачиваемость оборудования и бортовой оснастки, увеличить производительность технологического процесса. К тому же, это – доступный, недорогой и массово производимый продукт. Наконец, активация добавкой воды затворения (равноценная по достигаемому результату с ее нагревом до 35...45 °С) обеспечивает более полные гидратационные преобразования, соответственно, получение структурно-стабильного и надежного цементного композита. Следовательно, уточнение области безболезненного и рационального применения данной добавки в строительной практике имеет большое практическое значение.

#### Литература:

1. Москвин В.М. Ускорение твердения бетона введением специальных добавок // Технология бетона: Сборник научно-исследовательских работ. – М.-Л.: Госстройиздат, 1934. – С. 69-107.
2. Коноров А.В., Рогачев Г.Г. Легкобетонные блоки и камни на новом сложном вяжущем веществе // Технология бетона: Труды ЦНИИПС. – М.-Л.: ОНТИ, 1937. – С. 5-19.
3. Пшеничный Г.Н. Повторное вибрирование затвердевшего бетона (или об одной из возможных причин некоторых аварийных ситуаций). Часть 2 // Технологии бетонов. – 2011. - № 5-6. – С. 55-57.
4. Руководство по применению химических добавок в бетоне / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 55 с.
5. Москвин В.М. Ускорение твердения бетона введением специальных добавок / Технология бетона. Сб. НИР под ред. Б.Г. Скрамтаева. – М.-Л.: Госстройиздат, 1934. – С. 69-107.
6. Пшеничный Г.Н., Белик А.А., Панфилов С.А. К вопросу о диагностике поргланццемента и химических добавок // Технологии бетонов. – 2017. - № 5-6. – С. 48-52.

#### Выводы

1. Хлористый кальций – безоговорочный ускоритель начального твердения цементных систем, который должен найти достойную нишу в отечественной строительной практике. Простота технологического процесса, доступность, низкая стоимость и бесспорная эффективность добавки делают ее незаменимой в технологии не несущего сборного и монолитного железобетона, мелкоштучных бетонных изделий и пенобетонов.

2. Механизм действия добавки заключается в активации воды затворения («отрицательной гидратации» по О.Я. Самойлову), обеспечивающей начальную интенсификацию гидратационного процесса, соизмеримой с действием температуры 35...45 °С. Более полный гидратационный процесс при этом определяет повышенную эксплуатационную надежность модифицированного хлоридом кальция бетона.

3. Хлористый кальций оказывает интенсифицирующее действие на взаимодействие реагентов в начальной (до суток) стадии твердения, особо не влияя на прочностные показатели бетонов на поздних этапах. Данное обстоятельство определяет реализацию эффективности добавки, как средства ускорения набора ранней прочности бетона, повышения оборачиваемости форм (опалубки) и технологического оборудования.

4. При выполнении экспериментальных работ возможно получение «нелогичных» данных, например, мало ожидаемых сбросов прочности. Следует иметь в виду, что твердение бетонов на основе клинкерных вяжущих веществ – не предсказуемый на данный момент процесс, сопровождающийся периодами роста и сбросов прочности, в связи с чем, время проведения тех или иных испытаний может совпасть с этими структурными метаморфозами с соответствующими результатами.

#### References:

1. Moskvina V.M. *Uskorenie tverdenija betona vvedeniem special'nyh dobavok* // *Tehnologija betona: Sbornik nauchno-issledovatel'skih rabot*. [Acceleration of concrete hardening by the introduction of special additives. // Concrete technology: Collection of scientific research works] M.-L.: Gosstroyizdat, 1934. –P. 69-107(in Russian).
2. Konorov AV, Rogachev G.G. *Legkobetonnye bloki i kamni na novom slozhnom vjazhushhem veshhestve* // *Tehnologija betona: Trudy CNIIPS* [Lightweight concrete blocks and stones on a new complex astringent substance // Concrete Technology: Proceedings of the Central Scientific Research Institute of Construction] M.-L.: ONTI, 1937. – pp. 5-19 (in Russian).
3. Pshenichny G.N. *Povtornoje vibrirovanie zatverdevshego betona (ili ob odnoj iz vozmozhnyh prichin nekotoryh avarijnyh situacij)*. Chast' 2. [Re-vibrating of hardened concrete (or about one of the possible causes of some emergencies). Part 2] *Tehnologija betona*, 2011. –No. 5-6. – pp. 55-57 (in Russian).
4. *Rukovodstvo po primeneniju himicheskijh dobavok v betone* / NIIZhB Gosstroja SSSR [A guide to the use of

7. Ускорение структурообразования в цементных системах при введении специальных добавок // Новое в химии и технологии цемента: Труды совещания по химии и технологии цемента / А.В. Саталкин, В.А. Солнцева. –М.: Стройиздат, 1962. – С. 239-249.
8. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение. – М: Стройиздат, 1986. – 278 с.
9. Добавки. Выдержки из книги Л.И. Дворкина, О.Л. Дворкина, О.М. Бордюженко и др. «Практическое бетоноведение в вопросах и ответах» // Популярное бетоноведение. – 2011. - № 5(40). – С. 101-106.
10. Ковалева И.Е., Панина Н.С., Гольшева М.Н. и др. Цементы для бетонов и железобетонных конструкций повышенной стойкости к карбонатной агрессии // Популярное бетоноведение – 2011. - № 5(40). – С. 64-69.
11. Горшков В.С., Бубенин И.Г., Хмелевская Т.А. О взаимодействии хлористого кальция и гипса с клинкерными минералами и цементами // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. – 1961. – Вып. XXXVI. – С. 111-115.
12. Пантелеев А.С., Тимашев В.В. Об ускорении твердения бетона в условиях вибропроката // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева– 1961– Вып. XXXVI– С. 116-128.
13. Погорелов Н.М., Бобров Б.С. Влияние химических добавок на гидратацию клинкерных минералов и цементов в начальные сроки // Гидратация и твердение цементов: Труды Уральского НИИПИСМ. – Челябинск, 1969. – С. 48-60.
14. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.: Изд. АН СССР, 1957. – 182 с.
15. Пшеничный Г.Н. К вопросу о пилообразном характере отвердевания цементных бетонов // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. - № 2. – С. 50-54.
- chemical additives in concrete / NIIZH Gosstroy USSR] Moscow: Stroizdat, 1980. - 55 p (in Russian).
5. Moskvina V.M. *Uskorenie tverdeniya betona vvedeniem special'nykh dobavok / Tehnologiya betona. Sb. NIR pod red. B.G. Skramtaeva* [Acceleration of concrete hardening by the introduction of special additives / Concrete technology. Sat. R & D under the editorship of. B.G. Skramtayev] M.-L.: Gosstroyizdat, 1934. – pp. 69-107.
6. Pshenichny G.N., Belik A.A., Panfilov S.A. K voprosu o diagnostike portlandcementsa i himicheskikh dobavok // *Tehnologii betonov* [On the diagnosis of portland cement and chemical additives] *Tehnologii betonov*, 2017. –No. 5-6. – P. 48-52.
7. Satalkin A.V., Solntseva V.A. *Uskorenie strukturoobrazovaniya v cementnykh sistemah pri vvedenii special'nykh dobavok // Novoe v himii i tehnologii cementa: Trudy soveshchaniya po himii i tehnologii cementa* [Acceleration of the structure formation in cement systems with the introduction of special additives // New in Chemistry and Cement Technology: Proceedings of the Meeting on Chemistry and Cement Technology] M.: Strojizdat, 1962.– pp.148-156.
8. Ramachandran V., Feldman R., Baudouin J. *Nauka o betone. Fiziko-himicheskoe betonovedenie* [The science of concrete. Physico-chemical concrete science] M: Strojizdat, 1986. –278 p.
9. Dobavki. Vyderzhki iz knigi L.I. Dvorkina, O.L. Dvorkina, O.M. Bordjuzhenko i dr. «Prakticheskoe betonovedenie v voprosah i otvetah» [Additives. Excerpts from the book L.I. Dvorkina, O.L. Dvorkina, O.M. Bordyuzhenko,[et al] "Practical Concrete Studies in Questions and Answers"] *Popular Concrete Studies*, 2011. - No. 5 (40). - P. 101-106.
10. Kovaleva I.E., Panina N.S., Golyseva M.N.,[at al].*Cementy dlja betonov i zhelezobetonnykh konstrukcij povyshennoj stojkosti k karbonatnoj agressii* [Cements for concrete and reinforced concrete structures of increased resistance to carbonate aggression]*Popular concrete science*, 2011. - No. 5 (40). - P. 64-69.
11. Gorshkov V.S., Bubenin I.G., Khmelevskaya T.A. O vzaimodejstvii hloristogo kal'cija i gipsa s klinkernymi mineralami i cementami [On the interaction of calcium chloride and gypsum with clinker minerals and cements] M.: *Proceedings of the MHTI after D.I. Mendeleev*,1961.– Issue. XXXVI. – pp.111-115.
12. Panteleev A.S., Timashev V.V. Ob uskorenii tverdeniya betona v uslovijah vibroprokata [On the acceleration of hardening of concrete in conditions of vibroprokata] M.: *Proceedings of the MHTI after D.I. Mendeleev*,1961.– Issue. XXXVI.- pp. 116-128.
13. Pogorelov N.M., Bobrov B.S. Vlijanie himicheskikh dobavok na gidraticiju klinkernykh mineralov i cementov v nachal'nye sroki // *Gidraticija i tverdenie cementov* [Influence of chemical additives on the hydration of clinker minerals and cements in the initial terms // Hydration and hardening of cements] Chelyabinsk : *Proceedings of the Ural NIIPISM*, 1969. –P. 48-60.
14. Samoylov O.Ya. *Struktura vodnykh rastvorov jelektrolitov i gidraticija ionov* [Structure of aqueous solutions of electrolytes and hydration of ions] M.: Izd.AN SSSR, 1957. –182 p.
15. Pshenichny G.N. K voprosu o pilooobraznom

haraktere otverdevanija cementnyh betonov [On the question of sawtooth character of solidification of cement concretes] *Industrial and civil construction*, 2017.– No.2. – pp.50-54.

---

***Пшеничный Г.Н., канд. техн. наук, Чариков Г.Ю., Арутюнов Е.А., бакалавры*** - Кубанский государственный технологический университет