

Сердюкова А. А., начальник производственной лаборатории,
ОАО «Завод ЖБК-1»

Рахимбаев Ш. М., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР НА КИНЕТИКУ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

zhbk1lab@mail.ru

Вопрос о влиянии температурного фактора на кинетику твердения цементов в зависимости от содержания основных клинкерных минералов недостаточно исследован. В связи с этим данная статья посвящена рассмотрению кинетики твердения клинкерных минералов при пониженных температурах в сравнении с кинетикой твердения при 20°C.

Ключевые слова: клинкерные минералы, пониженные температуры, кинетика твердения, цементный камень.

Для России, как страны с суровыми климатическими условиями, актуальна проблема регулирования процесса твердения цементобетона при пониженных температурах. Ей посвящены исследования отечественных и зарубежных специалистов [1].

Однако в имеющихся публикациях рассмотрены отдельные цементы с фиксированным минералогическим составом. Вопрос же о влиянии температурного фактора на кинетику твердения цементов в зависимости от содержания основных клинкерных минералов недостаточно исследован. В связи с этим данная статья по-

священа рассмотрению кинетики твердения клинкерных минералов при пониженных температурах в сравнении с кинетикой твердения при 20°C. В качестве исходных данных были взяты результаты экспериментальных исследований, приведенных в [1].

На графиках (рис. 1-8) приведены данные о росте прочности цементного камня из различных минералов при температуре среды от -15 до +20 °С. Для их обработки были использованы уравнение кинетики твердения, основанное на теории переноса, и полулогарифмическое уравнение [2].

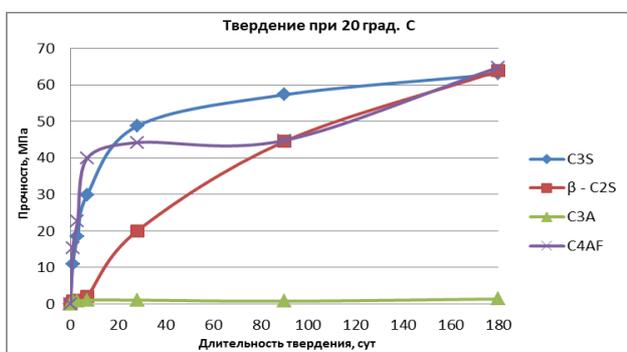


Рис. 1. Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при 20 °C

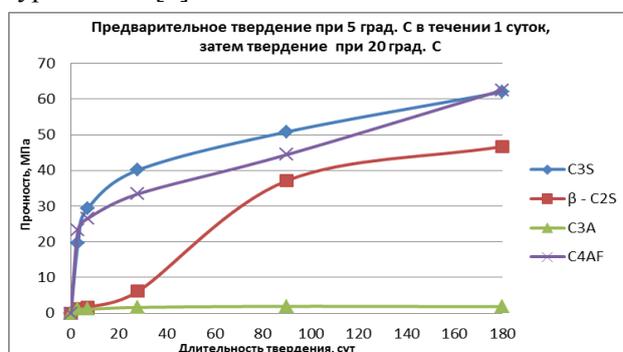


Рис. 2. То же при предварительном твердении при 5°C в течение 1 суток и последующем твердении при 20 °C

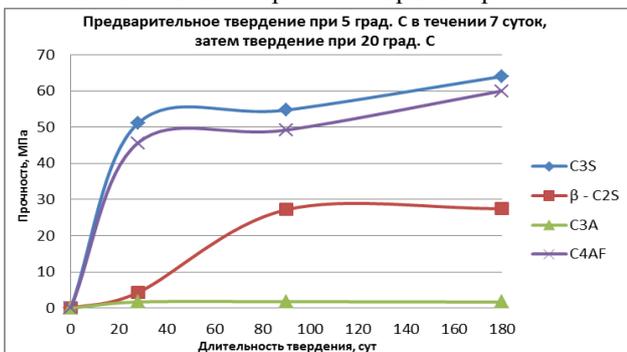


Рис. 3. То же при предварительном твердении при 5°C в течение 7 суток и последующем твердении при 20°C

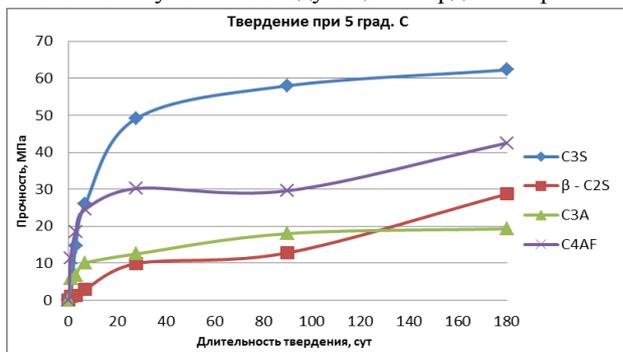


Рис. 4. Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при 5°C

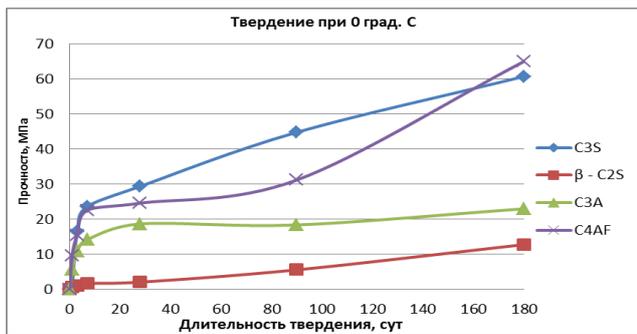


Рис. 5 Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при 0°С

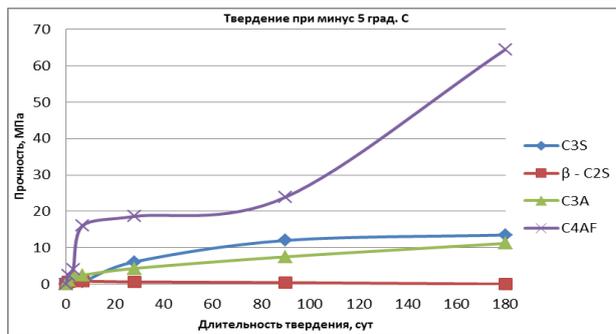


Рис. 6 Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при минус 5°С

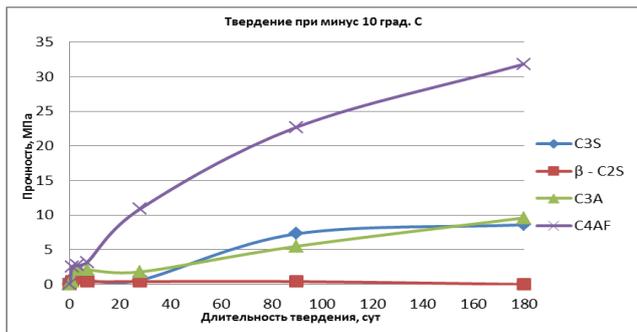


Рис. 7. Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при минус 10°С

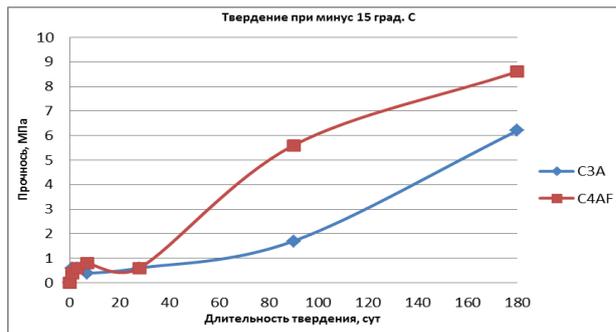


Рис. 8. Кинетика набора прочности цементным камнем из клинкерных минералов при минус 15°С вызывает снижение скорости диффузии ионов в гидратирующемся вяжущем.

Первое из них записывается следующим образом:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_0 + k \tau, \quad (1)$$

где $\frac{1}{U_0} = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_0$ - величина, обратная начальной скорости твердения, сут/МПа; τ - время, сут.; k , МПа^{-1} - коэффициент диффузионного торможения, учитывающий замедление скорости процесса вследствие уменьшения содержания в системе наиболее активных компонентов (C_3A и C_3S), а также из-за роста толщины слоя новообразований на гидратирующихся частицах, что

Записываем полулогарифмическое уравнение следующим образом:

$$\sigma_\tau = \sigma_1 + b \lg \tau, \quad (2)$$

где σ_1 - прочность в 1 сут., МПа; τ - время, сут.; σ_τ - набор прочности в течение времени τ , МПа. На основе расчета кинетических констант твердения клинкерных минералов были построены зависимости U_0 , $K_{\text{тор}}$, a и b от температуры (рис. 9-17).

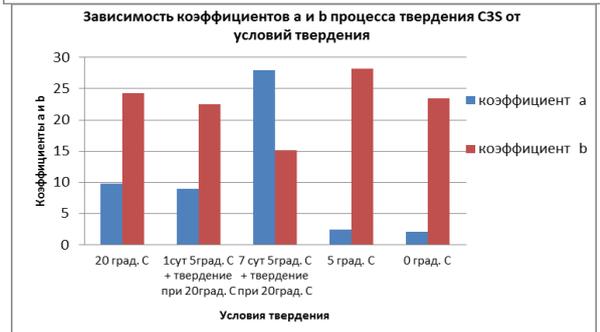


Рис. 9, 10, 11 Зависимость начальной скорости, коэффициента торможения и коэффициентов a и b процесса твердения C_3S от условий твердения

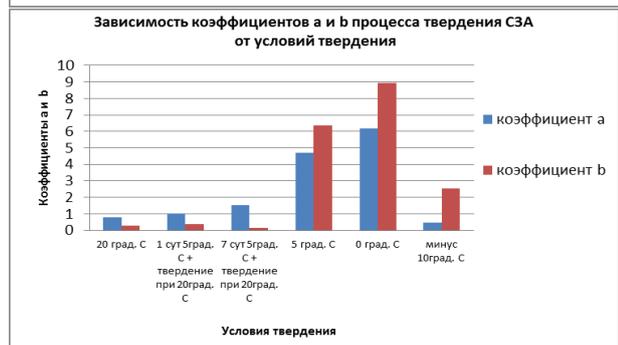
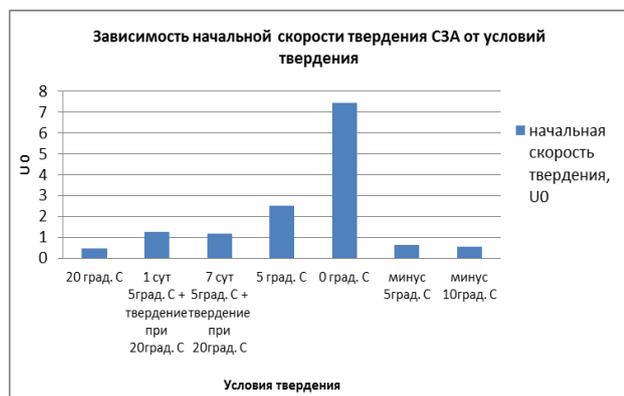


Рис. 12, 13, 14 Зависимость начальной скорости, коэффициента торможения и коэффициентов а и b процесса твердения С₃А от условий твердения



Рис. 15, 16, 17 Зависимость начальной скорости, коэффициента торможения и коэффициентов а и b процесса твердения С₄АF от условий твердения

Из рисунка 9 видно, что начальная скорость твердения U_0 C_3S при понижении температуры от 20 до 0°C снижается в 2,6 раза (от 8,2 до 3,2), тогда как коэффициент торможения процесса твердения $K_{тор}$ C_3S (рис. 10) имеет минимальное значение при предварительном выдерживании образцов в течение семи суток при 5°C с последующим твердением при 20°C. Как повышение до 20°C, так и снижение температуры до 0°C вызывает рост коэффициента торможения процесса твердения C_3S . В целом понижение температуры от 20 до 0°C оказало значительно меньшее влияние на коэффициент тор-

можения, чем на начальную скорость твердения. Из этого следует вывод: при понижении температуры до 0°C резко понижается прочность лишь в первые сроки твердения, в отдаленные сроки твердения C_3S отрицательная роль понижения температуры среды снижается.

Как видно из рисунка 12 начальная скорость твердения U_0 C_3A имеет максимальное значение 7,5 МПа/сут при твердении при 0 °C. Особенно сильно возрастает U_0 при переходе от предварительного выдерживания образцов в течение семи суток при 5°C с последующим твердением при 20 °C к постоянному твердению при

0 °С. Коэффициент торможения процесса твердения C_3A , наоборот, минимален в области температур от 0°С до +5°С (рис. 13). Указанное парадоксальное на первый взгляд явление объясняется тем, что при снижении температуры предотвращается фазовый переход гексагональных гидроалюминатов кальция состава $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ в кубическую форму состава $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$. Известно, что последний обладает значительно худшими связующими свойствами, чем гексагональные гидроалюминаты кальция. Из приведенных графиков следует, что стабилизации гексагональной формы гидроалюмината кальция способствует предварительное твердение образцов при 5°С и более низких температурах в течении 7 суток и более.

Сопоставление графиков на рисунках 9 и 12 показывает, что максимальные значения U_0 C_3S и C_3A близки между собой, тогда как коэффициент торможения процесса твердения C_3S в пять раз ниже, чем у C_3A .

Из графиков на рисунках 15,16 следует, что начальная скорость твердения U_0 C_4AF , также как и у C_3A имеет максимальное значение в интервале температур от 0 до +5°С. Коэффициент торможения процесса твердения $K_{\text{тор}}$ также максимален при температуре 0°С.

Сопоставление данных по кинетике твердения C_4AF с C_3S и C_3A показывает, что C_4AF имеет начальную скорость твердения U_0 , которая в два раза больше, чем у C_3S и C_3A . По этому показателю C_4AF значительно превосходит другие клинкерные минералы. Коэффициент торможения процесса твердения C_4AF более чем в два раза больше, чем у C_3S , но в двадцать раз меньше, чем у C_3A .

Анализ кинетических констант твердения а и б, полученных по полулогарифмическому уравнению, в целом согласуется с данными уравнения теории переноса, за исключением C_4AF . Согласно расчетам коэффициентов корреляции, экспериментальные данные кинетики твердения C_4AF более объективно описывает уравнение теории переноса.

Из приведенного анализа следует практический вывод, который заключается в том, что в условиях низких температур наиболее предпочтительные цементы с максимальным содержанием C_4AF и C_3A , которые способствуют максимальной скорости структурообразования и твердения бетонов в первые одни, двое суток. C_3S в этот период вносит минимальный вклад в кинетику твердения цементной системы, однако он, благодаря малому коэффициенту торможения процесса твердения, способствует росту прочности в более поздние сроки.

К сожалению авторам не удалось обнаружить данных по кинетике твердения C_3A и C_4AF с добавкой гипса, который, несомненно, оказывает существенное влияние на рост прочности цементного камня и бетона во времени. В связи с этим изложенный выше материал относится к безгипсовым цементам, которые представляют интерес, как вяжущее для бетонов, твердеющих при низких положительных температурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миронов, С.А., Лагойда, А.В. Бетоны, твердеющие на морозе. - М.: Стройиздат. - 1975. - 266 с.
2. Рахимбаев, Ш.М. Расчет констант скорости некоторых процессов технологии строительных материалов / Ш.М. Рахимбаев // Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий // Белгород: БТИСМ, 1990. - 184 с.