

## КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ЦЕМЕНТНОШЛАКОВЫХ СУСПЕНЗИЙ В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОГО СМЕШЕНИЯ

Матковский В.Д., Барабаш И.В., Щербина С.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Исследовано влияние количества и дисперсности молотого доменного шлака на кинетику изменения эффективной вязкости цементных суспензий в условиях скоростного смешения. Установлена взаимосвязь между величиной эффективной вязкости суспензий и содержанием в них свободной и адсорбционно-связанной воды.

Участие наполнителей в физико-механических процессах структурообразования КСМ на уровне структурной неоднородности „вязущие - наполнитель” ставит задачу оценки влияния количества и дисперсности минеральных наполнителей на изменение реологических характеристик.

В результате проведенных исследований установлено, что введение в цементное вяжущее молотого доменного шлака значительно снижает

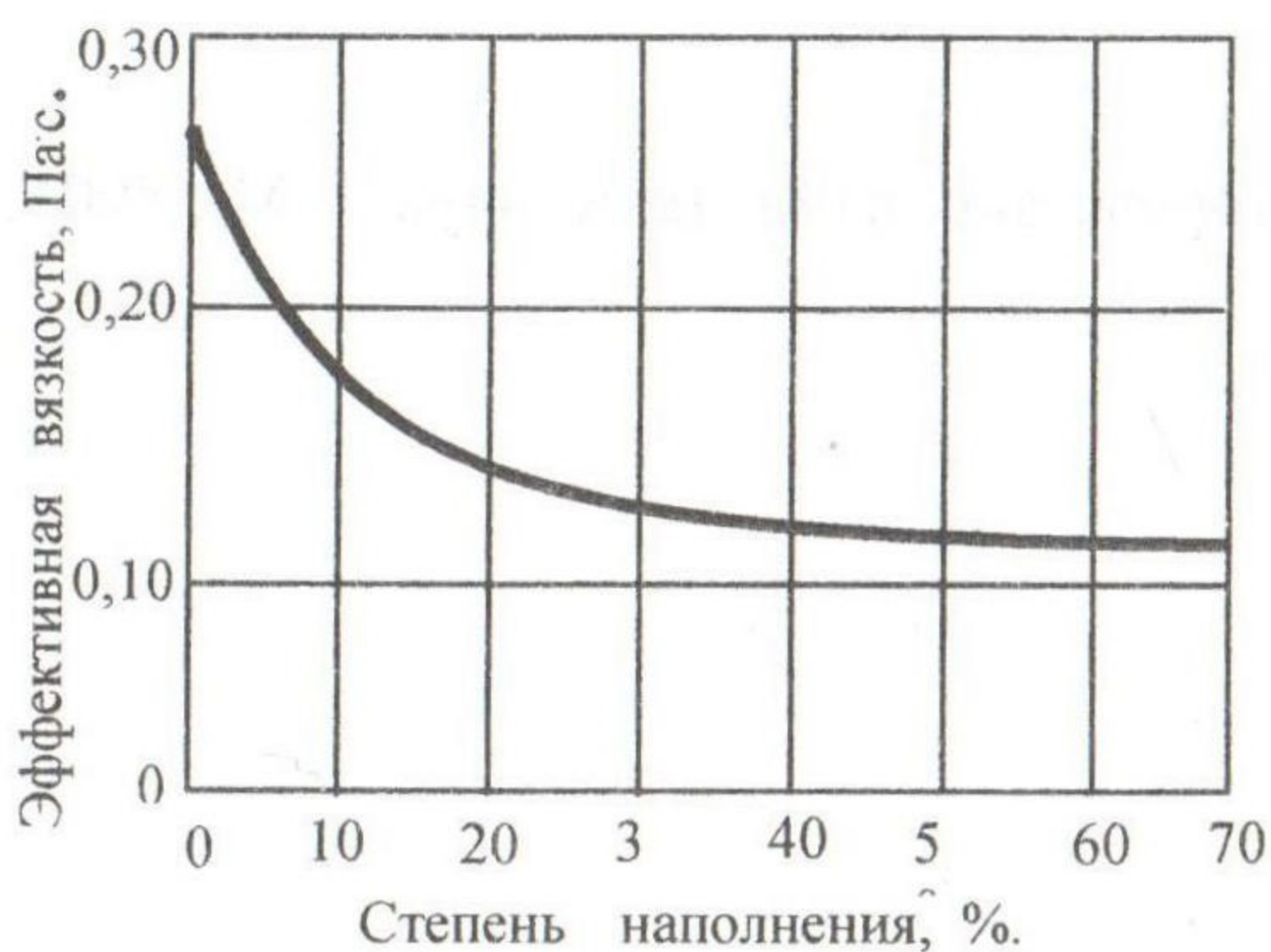
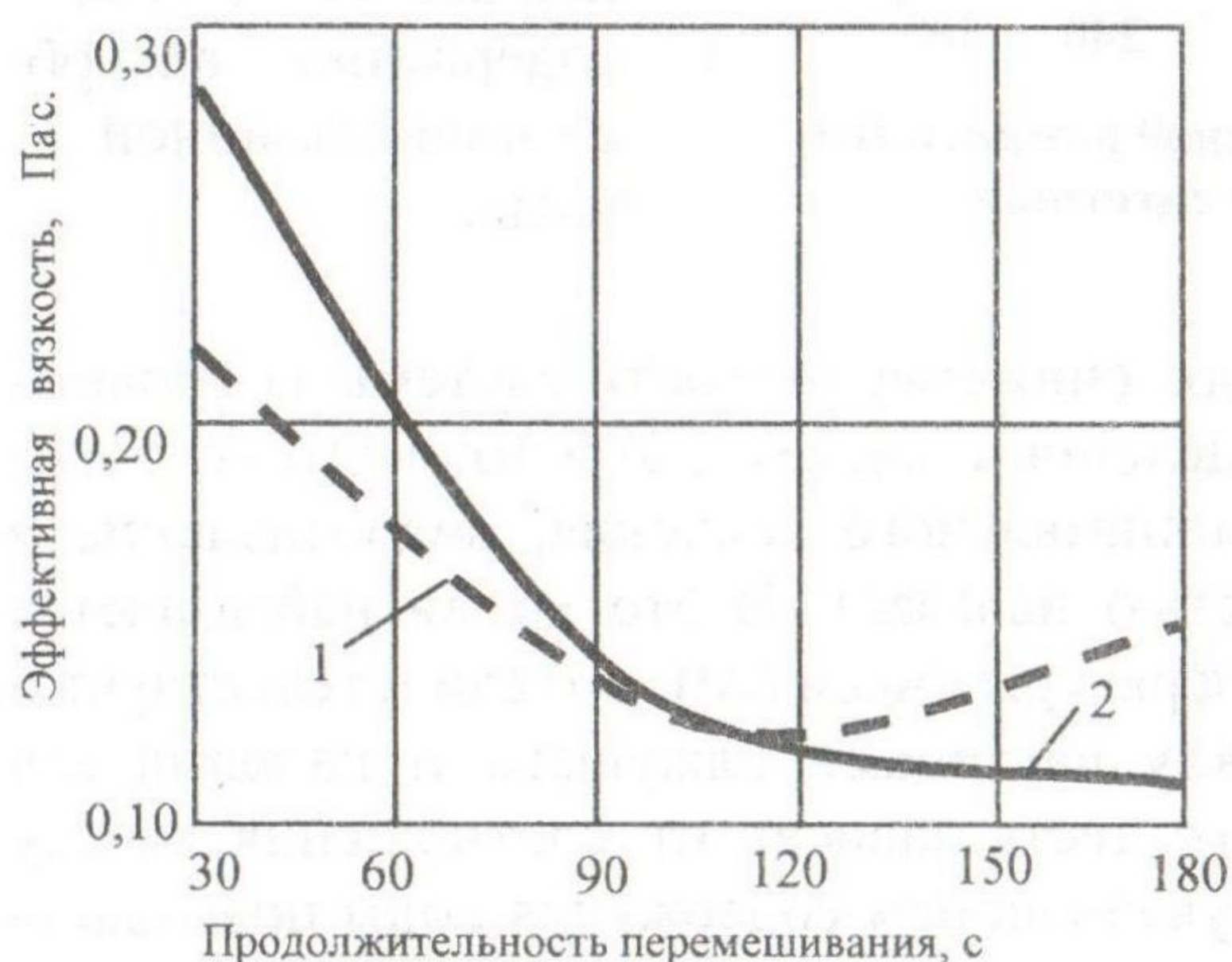


Рис.1. Влияние степени наполнения вяжущего на  $\eta_{\text{эф}}$  суспензий

эффективную вязкость суспензий. Так, при введении в ПЦ-вяжущее 20% молотого шлака эффективная вязкость суспензии снижается с 0,27 Па·с до 0,14 Па·с, т.е. почти в 2 раза по сравнению с вязкостью композиции без наполнителя, а при увеличении концентрации шлака до 70%, этот показатель снижается до 0,105 Па·с (рис. 1).

Экспериментально установлено, что на кинетику изменения реологических характеристик суспензий в условиях скоростного смешения оказывает влияние дисперсность молотого шлака.

Так, если суспензии наполненные молотым шлаком дисперсностью  $S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$  достигают минимально возможной вязкости после 120-и секундного скоростного смешения, то суспензии, содержащие наполнитель с более высокой удельной поверхностью ( $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), достигают минимальной текучести после смешения ее в течении 240 секунд. По нашему мнению, это объясняется повышенной склонностью высокодисперсных порошков к образованию агрегатов, и, вследствие этого, необходимостью подвода большего количества энергии для их разрушения.



**Рис.2.** Кинетика изменения эффективной вязкости суспензий на ПЦ-вяжущем при различной удельной поверхности наполнителя

1 – удельная поверхность молотого шлака  $S_{уд} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;

получать минимальные значения эффективной вязкости суспензий при использовании наполнителей повышенной дисперсности, что невозможно при традиционном перемешивании.

Эффективная вязкость суспензий в процессе скоростного смешения, достигнув некоторого минимального значения, начинает возрастать. Это свидетельствует о том, что при интенсивных гидродинамических воздействиях на дисперсные системы в них наряду с разрушением пространственных агрегатов и ослаблением связей между дисперсными частицами, происходит и обратный процесс – тиксотропное восстановление структуры, сопровождающееся образованием новых агрега-

Анализ графика, приведенного на рис.2 показывает, что если в течение первых двух минут смешения суспензий в скоростном смесителе их вязкость тем выше, чем больше удельная поверхность наполнителя, то уже через 2,5...3 минуты вязкость суспензии, содержащей молотый шлак с  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$  ниже вязкости суспензий, содержащей шлак более грубого помола ( $S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Таким образом, применение скоростного смешения позволяет

тов и связей. Причем, через 2...3 минуты после начала смешения обратный процесс начинает преобладать (рис.3).

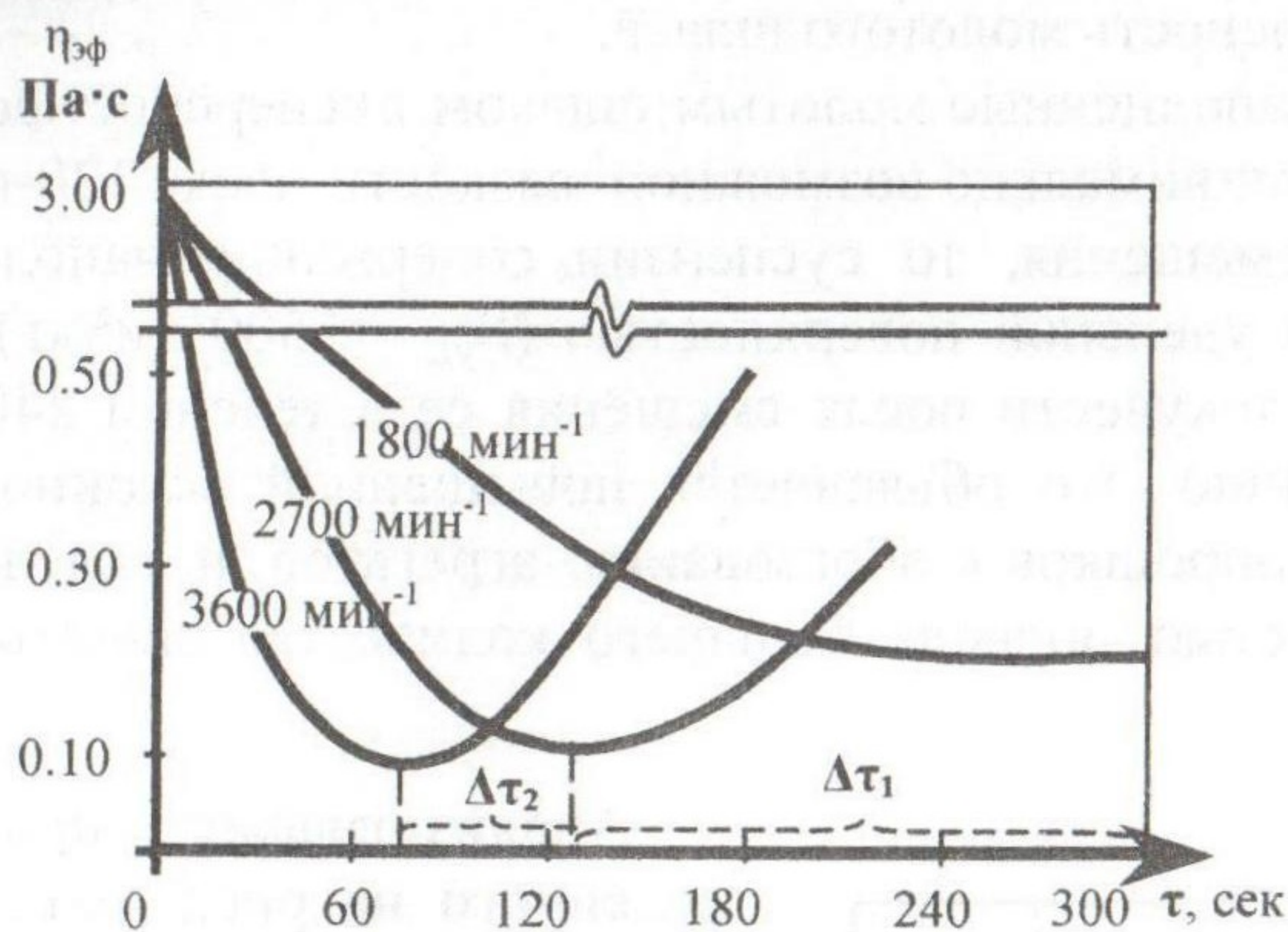


Рис.3. Зависимость эффективной вязкости ПЦ-суспензии от времени смешения

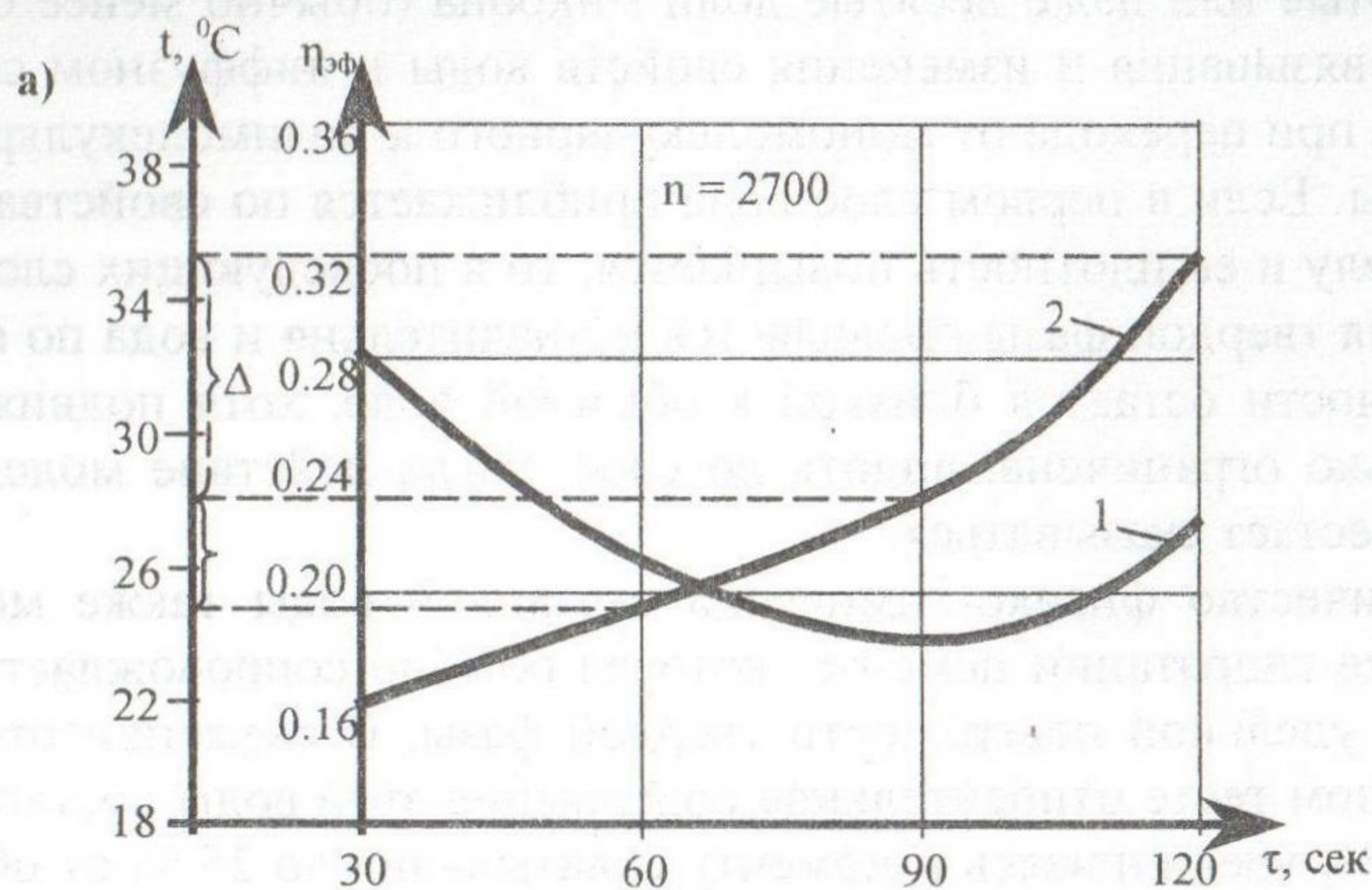
Для установления причин таких изменений был проведен эксперимент, в процессе которого контролировались одновременно четыре выходных параметра:

1. эффективная вязкость суспензии;
2. температура смеси;
3. содержание свободной воды в системе;
4. содержание адсорбционно-связанной воды.

Установлено, что начальное снижение вязкости системы сопровождается уменьшением водоотделения в системе. И в тот момент, когда вязкость достигает своего минимального значения, водоотделение в системе практически полностью исчезает. В это время наблюдается более интенсивный рост температуры смеси ( $\Delta t$ ), что свидетельствует о повышении сил трения между частицами вяжущего и наполнителя (рис.4.). Свойства цементного теста зависят от соотношения между твердой и жидкой фазами: с увеличением содержания воды повышается подвижность цементного теста, уменьшается его пластическая прочность. Вода в цементном тесте находится в различных состояниях. Небольшая часть воды вступает в химическое взаимодействие с цементом и находится в химически связанном состоянии. Относительное количество этой воды постепенно увеличивается, однако к моменту начала схватывания не превышает 5%. Другая часть воды под действием адсорбционных сил оказывается физически связанной на поверхности твердой фазы.

По современным представлениям, вступающие во взаимодействие с водой поверхности твердых тел, обладающие нескомпенсированными молекулярными силами, способны притягивать молекулы воды, которые обладая значительным дипольным моментом, в зоне действия силовых полей твердого тела ориентируются и уплотняются. Электрическая ориентировка и громадные давления, возникающие в зоне действия молекулярных сил, приводят к тому, что вода в адсорбированных

пленках приобретает некоторые свойства твердого тела – упругость, прочность на сжатие, пониженную точку замерзания. По данным Б.В.Дерягина, вода при толщине слоя 0,09 мкм обладает модулем сдвига в  $1,9 \cdot 10^8$  дин/см<sup>2</sup> ( $1,9 \cdot 10^{-1}$  Па) [1].



1 – изменение эффективной вязкости; 2 – изменение температуры суспензии

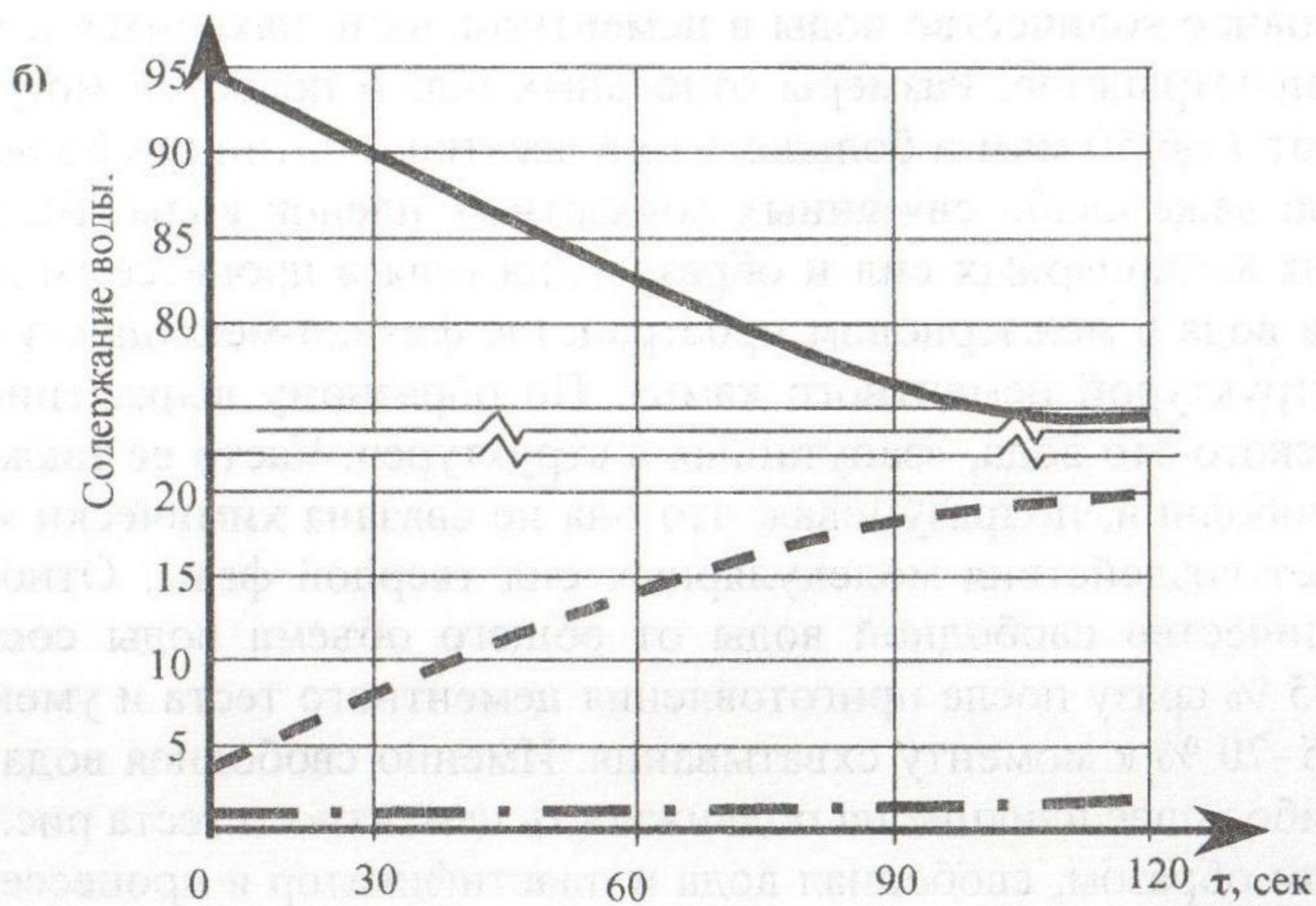


Рис. 4. Влияние времени скоростного смешения на эффективную вязкость, температуру (а) и содержание различных видов влаги в суспензии (б)

— свободная вода; - - - адсорбционно-связанная вода  
 - · - химически связанная вода

С удалением от твердой поверхности воздействие молекулярных сил уменьшается, но вследствие полярности молекул воды они образуют ориентированные цепочки в несколько десятков или сотен моле-

кул, уходящие в глубь жидкой фазы. Длина таких цепочек зависит от свойств поверхности твердого тела и процессов, протекающих при гидратации. Толщина слоя такой ориентированной воды, во многих отношениях потерявшей свойства обычной жидкости, может составлять сотые или даже десятые доли микрона (обычно менее 0,15 мкм). Силы связывания и изменения свойств воды в диффузном слое резко падают при переходе от мономолекулярного к полимолекулярным слоям воды. Если в первом слое вода приближается по свойствам к твердому телу и ее плотность повышается, то в последующих слоях действие поля твердой фазы проявляется незначительно и вода по структуре и плотности остается близкой к обычной воде, хотя подвижность ее несколько ограничена, вплоть до слоя, когда действие молекулярных сил перестает сказываться.

Количество физико-химически связанной воды также меняется в процессе гидратации цемента, которая обычно сопровождается увеличением удельной поверхности твердой фазы. В свежеприготовленном цементном тесте относительное содержание этой воды составляет около 3–5 %, увеличиваясь к моменту схватывания до 25 % от общего содержания воды [2].

Основное количество воды в цементном тесте находится в межзерновом пространстве. Размеры отдельных пор и полостей могут изменяться от 1 до 50 мкм и больше, что в десятки и сотни раз больше, чем толщина даже слабо связанных сольватных пленок воды. Вследствие действия капиллярных сил и образования геля в процессе гидратации цемента вода в межзерновом пространстве физико-механически связана со структурой цементного камня. По образному выражению М.А. Мощанского это вода, «запутанная в структуре». Часто ее также называют свободной, подразумевая, что она не связана химически и не испытывает воздействия молекулярных сил твердой фазы. Относительное количество свободной воды от общего объема воды составляет около 95 % сразу после приготовления цементного теста и уменьшается до 65–70 % к моменту схватывания. Именно свободная вода оказывает наибольшее влияние на подвижность цементного теста рис.4.

Таким образом, свободная вода и пластификатор в процессе скоростного перемешивания, адсорбируясь на вновь образованных поверхностях, постепенно переходят в адсорбционно-связанное состояние и перестают выполнять роль «смазки», что приводит к увеличению сил трения, и, как следствие, к загустеванию системы.

## Выводы

1. Показано, что интенсивные гидродинамические воздействия позволяют предельно разрушать структуру цементношлаковых суспензий, что позволяет использовать шлаки повышенной дисперсности ( $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).
2. Установлена взаимосвязь между величиной эффективной вязкости суспензий и содержанием в них свободной воды. Свободная вода и пластификатор в процессе скоростного перемешивания, адсорбируясь на вновь образованных поверхностях, постепенно переходят в адсорбционно-связанное состояние и перестают выполнять роль «смазки», что приводит к увеличению сил трения, и, как следствие, к повышению температуры и вязкости системы.

## Литература

1. Дерягин Б.В., Короткова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. - 280 с.
2. Барабаш И.В., Выровой В.Н. Особенности структурообразования механоактивированных полиминеральных и полидисперсных вяжущих. Зб. “Будівельні конструкції”.– НДІБК.–вип. 56. – Київ. – 2002. – С. 171-177