

УДК 691.175:519.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА «ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ» БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВИДА ЦЕМЕНТА

Циак М., (Варминско-Мазурский университет, г.Ольштын, Польша),  
Коваль С.В. (Одесская государственная академия строительства и  
архитектуры, г.Одесса)

**Приведены методики и результаты исследования эффективности польских суперпластификаторов по параметрам удобоукладываемости бетонной смеси при смене вида цемента.**

Одним из способов повышения эффективности бетонных смесей для монолитного строительства является выбор цементов, при использовании которых бетонные смеси с суперпластификатором в течение заданного времени не теряют удобоукладываемость.

Сохранение подвижности бетонной смеси напрямую связано с замедлением ранних стадий процессов гидратации цемента. Для первичной оценки влияния добавок были проведены измерения температуры гидратации «чистых» цементов СЕМ I 42,5R (цемент 1) и СЕМ I 42,5HSR (2) и в присутствии двух добавок RBV (D<sub>1</sub>) и BV-10 (D<sub>2</sub>). Температурные зависимости представлены на рис.1. Различия в кинетике гидратации цементов с разными суперпластификаторами до настоящего времени не имеют единого объяснения. Однако можно выделить установленные факты.

Образующийся в результате адсорбции молекул слой олигомерной добавки на активных центрах цемента препятствует взаимодействию основных минералов, в первую очередь, С<sub>3</sub>А, с водой и образованию продуктов новой фазы. Эти процессы фиксируются значительным уменьшением температуры гидратации для цементов с добавками по сравнению с контрольными цементами (рис.1), что может свидетельствовать о замедляющей роли адсорбированных молекул суперпластификатора. Замедление процессов гидратации при введении суперпластификаторов SNF объясняется [1] следующим. Ионы SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> в первый период взаимодействуют с алюминатными фазами, тормозя процесс их

---

\* Данные исследования выполнены в рамках Договора о научно-техническом сотрудничестве между ОГАСА и Варминско-Мазурским Университетом в Ольштыне, Польша.

гидратации; суперпластификаторы типа SNF, содержащие сульфоновую группу  $SO_3^-$ , также плотно взаимодействуют с алюминатными фазами, проявляя аналогичный эффект. При низкой концентрации ионов  $SO_4^{2-}$  скорость адсорбции повышена, что приводит к быстрой утрате подвижности смеси.

Ряд исследователей считает, что удлинение индукционной стадии связано в большей степени с химическим, а не физическим влиянием.

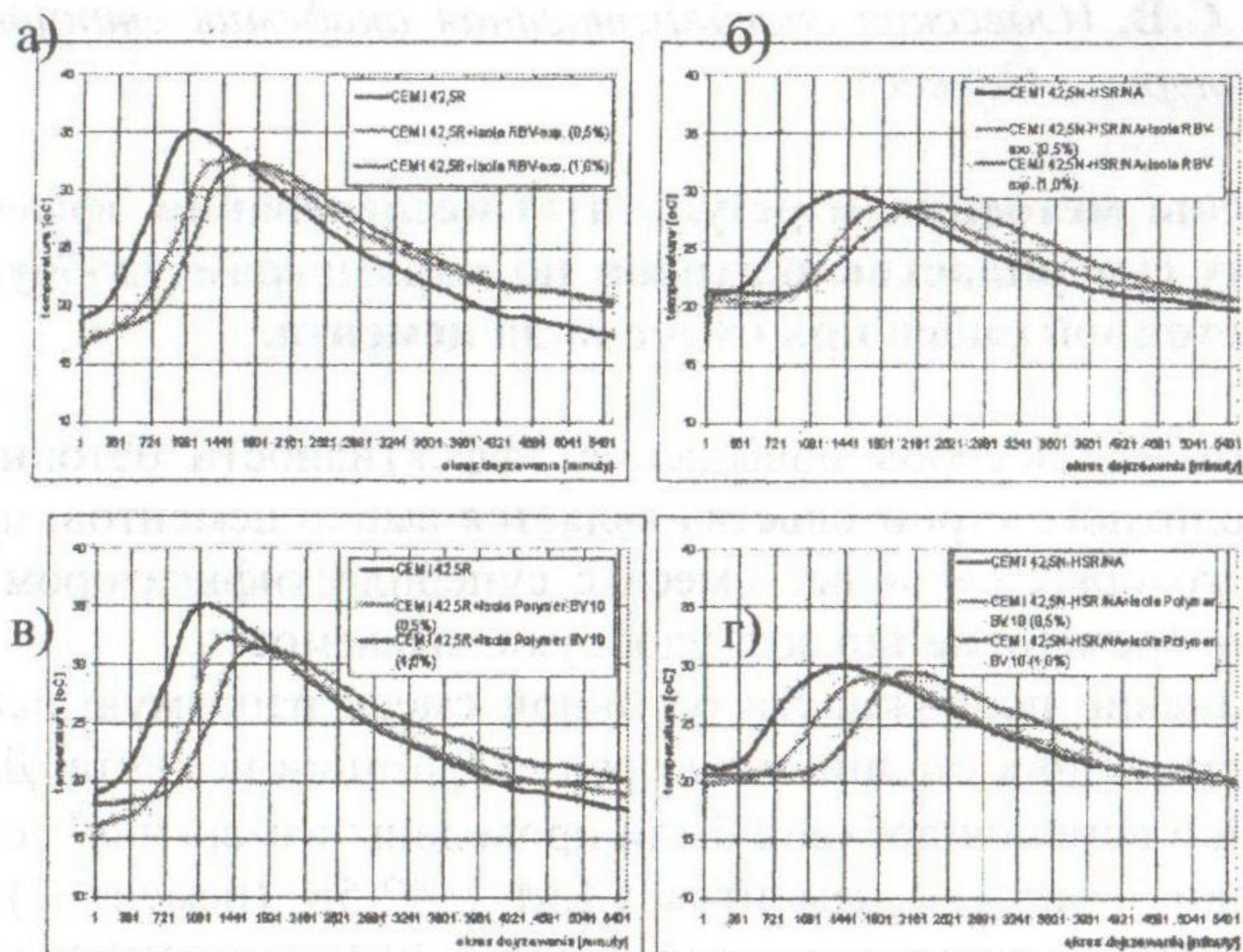


Рис.1. Зависимости «температура гидратации-время» для цемента CEM I 42,5R ( $C_1$ ) и CEM I 42,5HSR ( $C_2$ ) при введении RBV (а, б) и BV-10 (в,г)

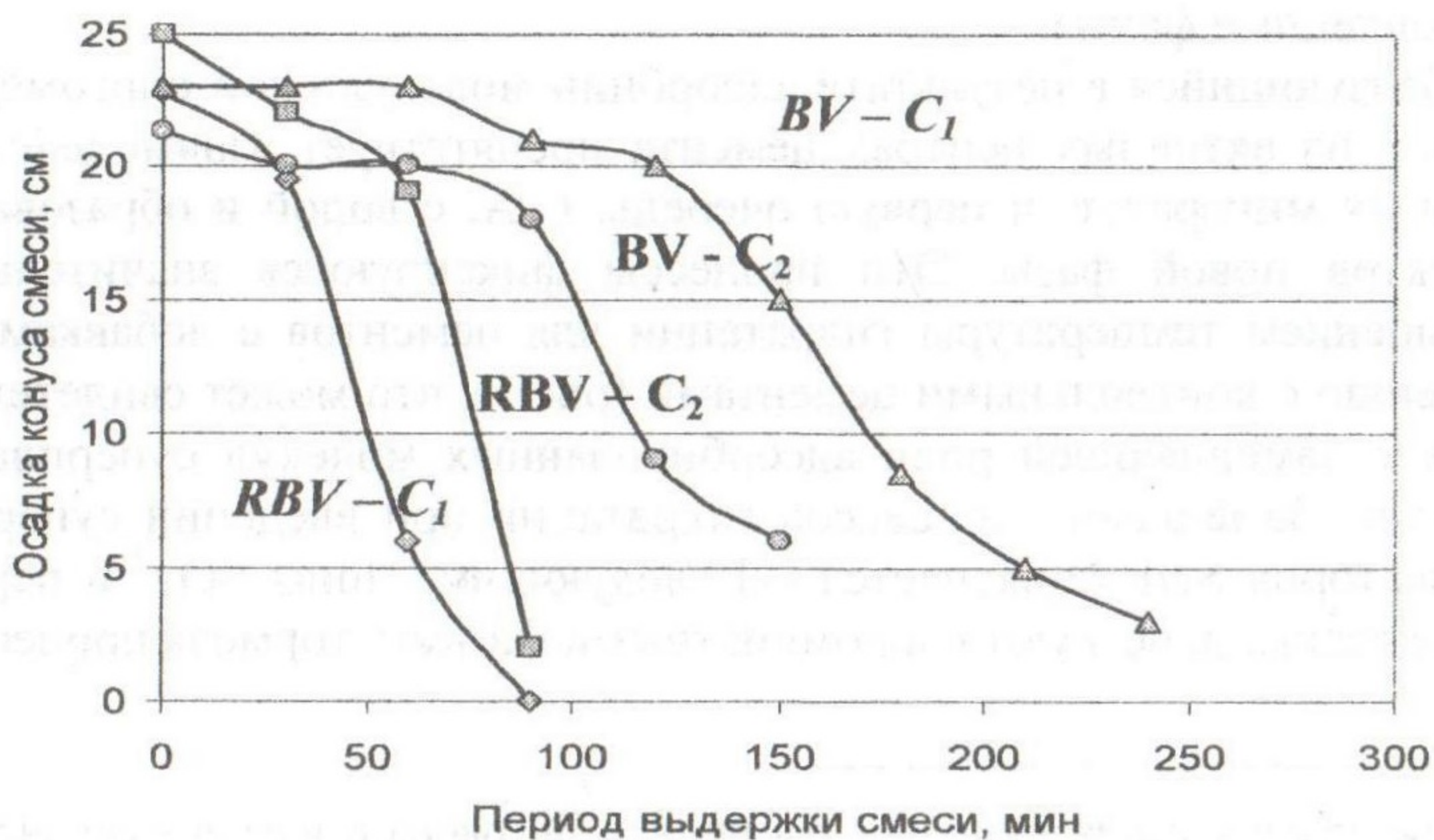


Рис.2. Влияние добавок на подвижность бетонных смесей во времени ( $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на двух цементах

Показано, что в пределах адсорбированного слоя концентрация  $C_3A$  и  $C_3S$  изменяется неравномерно, что, вероятно, подтверждает существование химического поглощения добавки [12]. При введении СП концентрация  $Ca^{2+}$  в растворе становится ниже, уменьшая скорость формирования портландита [2]. Уменьшение ионов кальция связывается с формированием комплексных (органоминеральных) соединений между  $Ca^{2+}$  и добавкой, что вносит вклад в замедление гидратации из-за медленного пересыщения  $Ca^{2+}$  [2].

Различие во влиянии RBV на цементе 1, по сравнению с 2, заключается как в уменьшении максимума температуры, так и в удлинении периода его появления. Аналогичные выводы относятся к добавке BV-10. Таким образом, замедление гидратации цемента 2, по сравнению с цементом 1, позволяет предположить возможность более длительного сохранения подвижности смеси на цементе 2.

На рис.2 показаны линейные зависимости  $OK=f(\tau)$  для добавок RBV и BV-10 в случае использования CEM I 42,5R и CEM I 42,5HSR. Анализ указывает на согласованность предварительных выводов о влиянии добавки RBV по температурным кривым на участке 0-720 мин (индукционный период). Однако, для поликарбоксилатного BV-10 однозначный вывод о связи кинетики температуры и потери подвижности смеси во времени сделать нельзя, так как наоборот, бетонные смеси на цементе 1 дольше сохраняют пластичность, чем на цементе 2.

Уменьшение содержания выделенного тепла в случае BV-10 может быть отнесено к уменьшению поступления воды к активным центрам цемента и увеличению расстояния между зернами цемента [3].

В силу того, что для нафталинформальдегидного СП заметная потеря подвижности наступает за период 30...45 мин, было решено этот период описать линейными зависимостями. Линейная зависимость имеет вид:  $U_\tau = at + U_0$ , где  $U_0$  – начальная осадка конуса смеси,  $a$  – показатель скорости снижения ОК. На рис.3 показан ряд линейных зависимостей для RBV, три из них относятся к цементу 1, три (отмеченные штрихом) – к цементу 2. Анализ свидетельствует о различном влиянии вида цемента (рис.3). Чем больше отрицательное значение  $a$ , тем темп снижения ОК выше. Показатель темпа снижения  $a_1$  осадки конуса для всей гаммы смесей с  $D_1$  в случае  $C_1$  составляет  $a_1 = -0,15...-0,28$ , а в случае второго цемента  $a_2 = -0,03...-0,59$ .

На следующем этапе были проанализированы экспериментально-статистические модели (табл.1), описывающие влияние количества цемента в бетонной смеси ( $C_1=X_2=420 \pm 60$  кг/м<sup>3</sup>) и тонкодисперсной добавки золы-уноса («porioł lotny»), вводимой в бетонную смесь

(ЗУ=Х<sub>3</sub>=10±10 % от массы цемента) для повышения её однородности и СВЯЗНОСТИ.

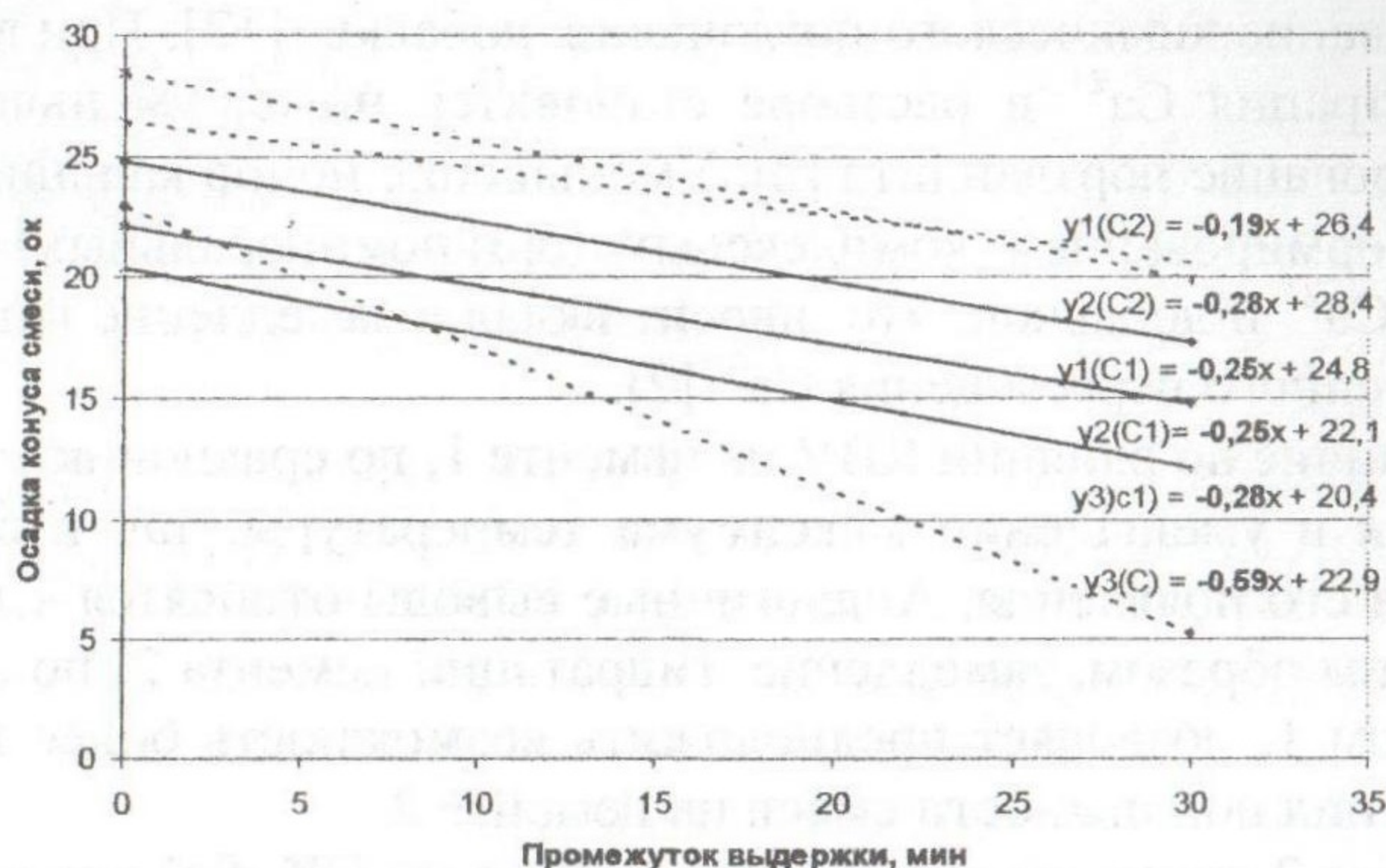


Рис.3. Линейные зависимости ОК=φ(τ) для смеси с добавкой RBV при переходе от цемента С<sub>1</sub> к цементу С<sub>2</sub> при содержании золы уноса: 1- 0%; 2 -10%; 3 -20%

Таблица 1. Коэффициенты моделей параметра темпа а

Показатель темпа а	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub> <sup>2</sup>	b <sub>2</sub> <sup>2</sup>	b <sub>11</sub>
a <sub>1</sub> RBV (C <sub>1</sub> )	-0,244	0,015	0,027	0,002	-0,003	0,004
a <sub>1</sub> RBV (C <sub>2</sub> )	-0,211	0,058	-0,143	-0,108	0,037	0,048
a <sub>1</sub> (C <sub>1</sub> )/a <sub>1</sub> (C <sub>2</sub> )	0,0856	-0,067	0,683	0,467	-0,083	0,075

Стрелками показано направление регулирования составом бетона для понижения темпа снижения подвижности.

Улучшение сохраняемости смеси на цементе 1 возможно за счет повышения количества этого цемента и содержания золы уноса. Для бетонных смесей на цементе 2, наоборот, эффективно уменьшение количества золы уноса и регулирования содержанием цемента в достаточно узком диапазоне 340...370 кг/м<sup>3</sup>.

Полученные значения а использованы для построения критерия  $\chi = a_2\{C_2\}/a_1\{C_1\}$ , указывающего «насколько темп снижения подвижности пластифицированной смеси на цементе С<sub>2</sub> выше ( $\chi > 1$ ) или ниже ( $\chi < 1$ ), чем на С<sub>1</sub>» (рис.4в) [4]. Диаграмма разделена на две области плоскостью  $\chi = 1$ . Выше плоскости  $\chi = 1$  скорость потери подвижности выше у смесей на цементе 2, ниже этой плоскости – выше на цементе 1, чем на цементе 2. Анализ показывает, что более высокий темп снижения ОК смеси на цементе 2 связан с присутствием в ее составе повышенных добавок золы, а более высокий темп потери подвижности смеси на цементе 1 – с отсутствием или малым его количеством.

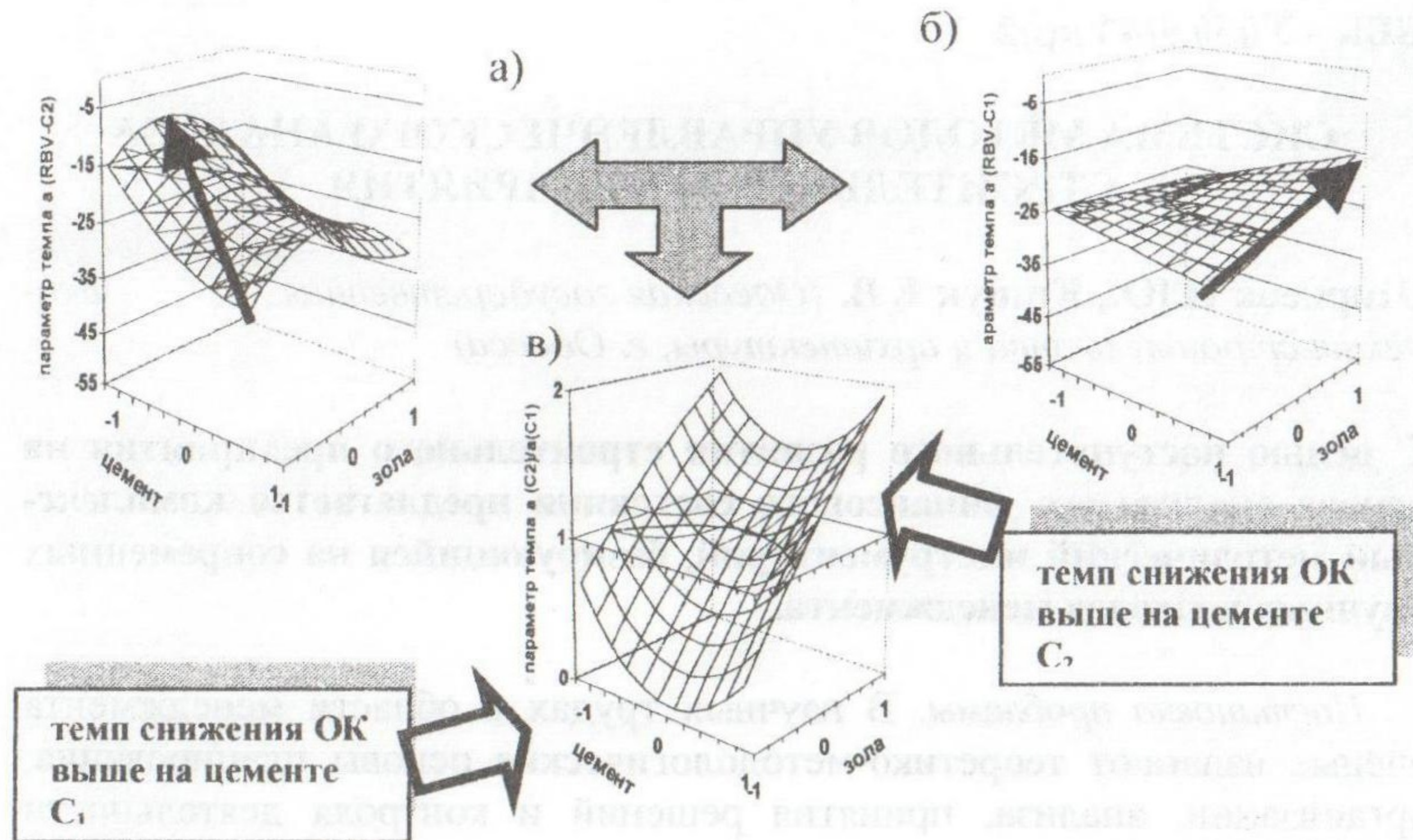


Рис.4. Зависимости показателя  $a$  для цемента CEM I 42,5R (а) и CEM I 42,5HSR (б) с выделением областей приоритета каждого из цементов по показателю  $\chi$  (в)

**Вывод.** В отсутствие минеральной добавки в составе пластифицированной бетонной смеси преимущество в выборе цемента с позиций повышения ее жизнеспособности должно быть отдано цементу CEM I 42,5HSR; если же требуется ввести золу-унос (для повышения однородности смеси и плотности бетона), то преимуществом обладает CEM I 42,5R. За счет корректировки состава бетона возможно улучшение сохраняемости бетонных смесей с добавкой нафталинформальдегидного суперпластификатора.

1. Bonen D., Sarcar Shodeep L. The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss.: Cem. and Concr. Res. Vol.25, 1995. pp.1423-1434. 2. Uchikawa H., Hanehara S., Shirasaka, T., Sawaki, D., Effect of Admixture on Hydration of Cement, Adsorptive Behavior of Admixture and Fluidity and Setting of Fresh Cement Paste.: Cem. Concr. Res., 1992, №22, pp.1115-1129. 3. Uchikawa H, Hanehara S., Sawaki D. The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixtures.: Cem. and Concr. Res., 1997, №27, pp 37-50. 4. Циак М., Коваль С.В. Технологическая оценка эффективности влияния добавок на свойства бетонных смесей // Моделирование и оптимизация в материаловедении: Мат-лы 46 межд. сем. - Одесса: Астропринт, 2008. -С.65-67.