

ПОВТОРНОЕ ВВЕДЕНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОСТЬЮ БЕТОННОЙ СМЕСИ

С.А. УДОДОВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: udodov-tec@mail.ru*

Показана актуальность разработки методов управления подвижностью товарной бетонной смеси. Сделано предположение об актуальности и эффективности применения повторного (дробного) введения пластификаторов для управления подвижностью бетонной смеси на сульфатостойком портландцементе (ССПЦ). Экспериментально установлено, что при использовании СППЦ практически отсутствует корреляция между видом пластификатора и влиянием на сохраняемость подвижности при однократном введении. Повторное же введение пластификатора позволило эффективно управлять подвижностью смеси. Причем, технологическая эффективность оказалась приблизительно одинакова для различных типов пластификаторов. Трехкратное введение пластификатора в неизменной дозировке позволило в условиях эксперимента повысить сохраняемость с 35-45 минут до 120-140 минут. Выявлено, что многократное введение пластификатора не замедляет динамику набора прочности в возрастном диапазоне 3-28 суток; предел прочности при сжатии бетона в результате повторного введения пластификатора вырос на 27-45% в возрасте 28 суток.

Ключевые слова: бетонная смесь, пластификаторы, повторное введение, сохраняемость подвижности, управление подвижностью, прочность бетона.

Как известно, жизненный цикл любого бетонного изделия или конструкции включает в себя приготовление бетонной смеси, транспортировку, укладку, уплотнение, твердение и дальнейшую эксплуатацию. Материал проходит все эти этапы, будучи в двух ипостасях: удобоукладываемая бетонная смесь и затвердевший бетон. При этом все полезные свойства будущего бетона напрямую зависят от успешного обеспечения необходимых реологических и технологических характеристик бетонной смеси.

Одной из важнейших технологических характеристик бетонной смеси, определяющей, насколько качественно смесь может быть уложена в опалубку, является удобоукладываемость смеси. Удобоукладываемость чаще всего характеризуется показателем подвижности. Учитывая, что от момента приготовления бетонной смеси до момента укладки проходит определенное время (от нескольких минут до нескольких часов), а химическая реакция

взаимодействия цемента с водой начинается сразу после приготовления, то встает важная технологическая задача обеспечения нужного уровня подвижности смеси к моменту ее укладки. Потеря подвижности при прочих равных условиях является функцией времени. Авторы [1] предлагают коэффициент потери подвижности смеси η , который численно равен отношению подвижности по осадке конуса (ОК) свежеприготовленной смеси OK_3 к фактической на объекте $OK_{об}$ и зависит от дальности и времени транспортирования :

$$\eta = \frac{OK_{об}}{OK_3}$$

В технологии заводского сборного бетона и железобетона время и условия транспортировки могут быть спрогнозированы достаточно точно. Иная ситуация в технологии товарной бетонной смеси, доставляемой на строительные объекты в автобетоносмесителях. В зависимости от фактического транспортного плеча, дорожной ситуации, степени готовности объекта к приемке смеси и способа разгрузки на каждой отдельно взятой строительной площадке фактическое время доставки может значительно отличаться от расчетного. При этом поставщик бетонной смеси обязан привезти на объект, а производитель работ – уложить в конструкцию бетонную смесь с *требуемой проектной подвижностью*. Ситуация усугубляется в летний период, когда потеря подвижности товарной бетонной смеси протекает особенно интенсивно.

На этапе приготовления смеси ее подвижность в широком диапазоне регулируется химическими добавками – пластификаторами. Подавляющее большинство применяемых в строительстве пластификаторов производится на базе четырех основных химических веществ и их комбинаций: на основе лигносульфонатов (ЛСТ), на основе продуктов конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида (НСФ), на основе сульфированных меламинформальдегидных смол (МФС) и на основе эфиров поликарбоксилатов (ПКЭ).

Целью данного исследования явилось определение эффективности управления подвижностью товарной бетонной смеси на сульфатостойком портландцементе в условиях повышенных температур окружающего воздуха с помощью различных пластификаторов и их комбинаций.

Экспериментальные замесы проводились с использованием рецептуры бетона, приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальный состав бетона В25.

Компонент	Расход с учетом естественной влажности, кг/м ³
Цемент	380
Песок	875
Щебень	930
Добавка (ЛСТ-1)	3,04
Вода	217

Заполнители: песок речной $M_k=2,1$, содержание зерен более 5 мм 24%; щебень из гравия фр. 5=20 мм, марка по дробимости D1000. Цемент ССПЦ М500Д20 ОАО «Новоросцемент». Добавка – пластификатор на основе лигносульфонатов (ЛСТ). В процессе проведения экспериментальных замесов в приведенном базовом составе дозировка и вид пластификатора менялись. Менялся также показатель В/Ц исходя из равной исходной подвижности смеси ($OK=15-17$ см). В качестве пластификаторов использовались добавки из трех групп: на основе лигносульфонатов двух производителей (ЛСТ), на основе продуктов конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида вместе с лигносульфонатом (НСФ1+ЛСТ, НСФ2+ЛСТ), на основе эфиров поликарбоксилатов (ПКЭ). Исследования проводились с применением лабораторного смесителя принудительного действия объемом 10 л в условиях открытой производственной площадки в летний период. Температура окружающего воздуха для различных замесов составляла $t^0=25-33$ °С. Попадание прямых солнечных лучей ограничено. Для оценки влияния пластификаторов различной природы на сохраняемость подвижности бетонной смеси были изготовлены составы на пластификаторах в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Вид и дозировка пластификаторов в экспериментальных составах бетонной смеси

Номер состава	Вид и дозировка добавки, % от массы цемента по жидк. вещ-ву	Водоцементное отношение	Температура воздуха, °С
Состав 1	НСФ1+ЛСТ, 1%	0,59	30
Состав 2	НСФ2+ЛСТ, 1%	0,58	33,5
Состав 3	ПКЭ 1%	0,57	30
Состав 4	ЛСТ 0,7%	0,57	28,5

Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

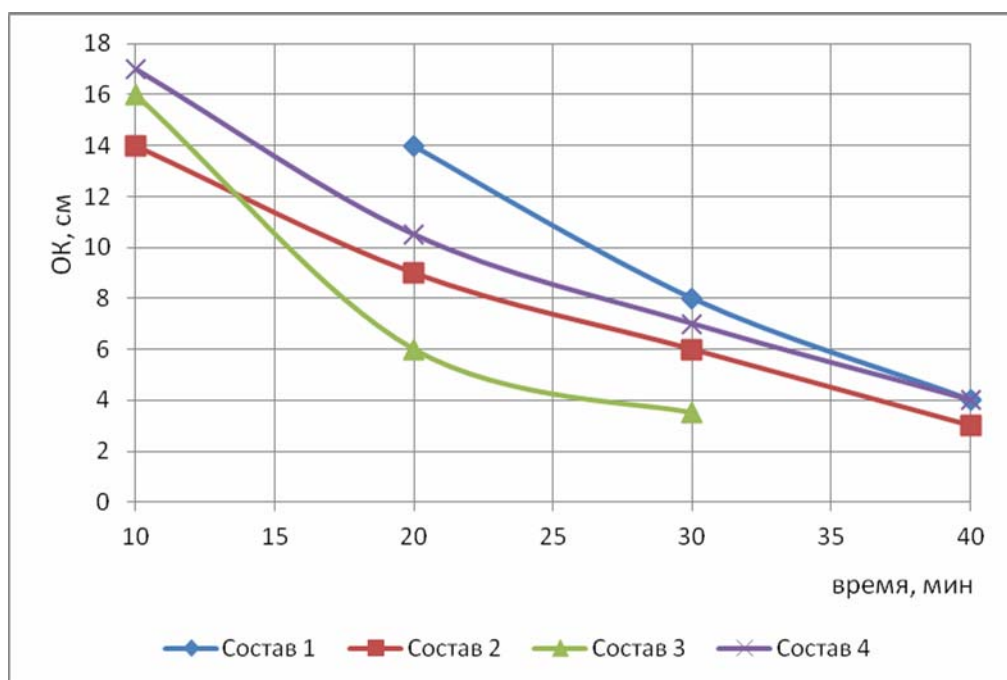


Рисунок 1 – Влияние различных пластификаторов на сохраняемость подвижности бетонной смеси

Как следует из графиков на рисунке 1 независимо от природы пластификатора, подвижность всех составов снижается с ОК=14-17 см до ОК=3-4 см не более, чем за 40 минут от начала затворения. Столь высокая скорость потери подвижности не допустима для товарного бетона, транспортируемого на значительные расстояния, особенно, в условиях городской застройки. Причиной такой стремительной потери подвижности является, безусловно, высокая температура наружного воздуха. Сульфатостойкий цемент вносит, по видимому, определенный вклад в это явление. Замечено, что эффективность пластификации и сохраняемости

подвижности не зависит от вида добавки. Достаточно «слабая» добавка на основе ЛСТ при дозировке 0,7% пластифицирует смесь и поддерживает сохраняемость не хуже, чем добавка на основе ПКЭ при дозировке 1%.

Изменение дозировок добавки каждого вида в отдельности также не привели к заметному повышению сохраняемости подвижности (рисунок 2-4).

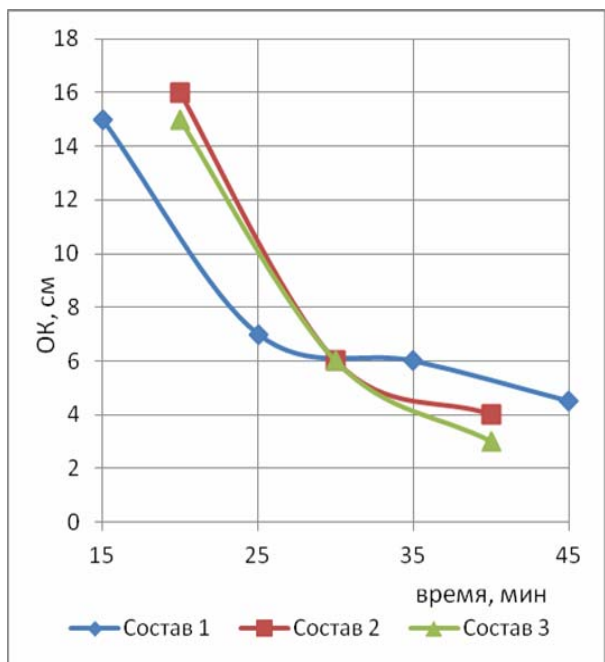


Рисунок 2 – Изменение подвижности смеси при различных дозировках ЛСТ

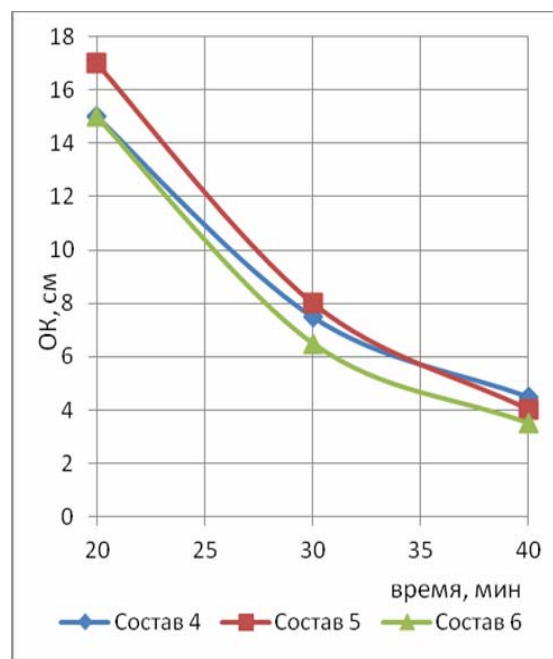


Рисунок 3 – Изменение подвижности смеси при различных дозировках НСФ1+ЛСТ

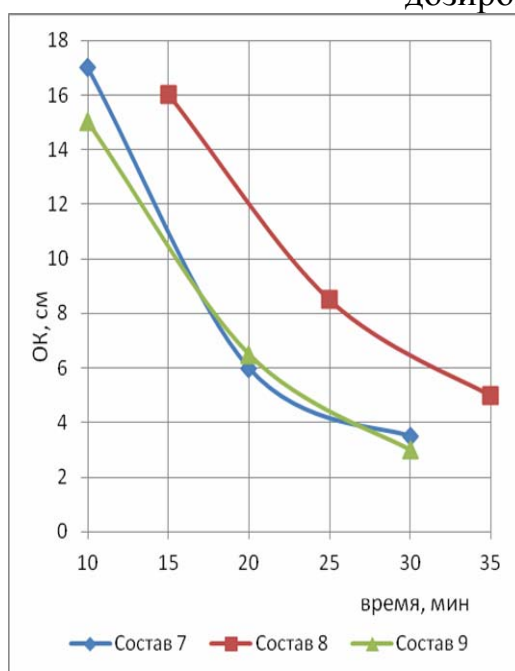


Рисунок 4 – Изменение подвижности смеси при различных дозировках ПКЭ

Сведения для расшифровки рецептурно-технологических особенностей составов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Вид и дозировка пластификаторов в экспериментальных составах бетонной смеси

Номер состава	Вид и дозировка добавки, % от массы цемента по жидк. вещ-ву	Водоцементное отношение	Температура воздуха, °С
Состав 1	ЛСТ 0,8%	0,57	27,5
Состав 2	ЛСТ 1%	0,58	26
Состав 3	ЛСТ 1,2%	0,58	25
Состав 4	НСФ1+ЛСТ, 0,8%	0,68	32
Состав 5	НСФ1+ЛСТ, 1%	0,62	28,5
Состав 6	НСФ1+ЛСТ, 1,2%	0,49	31,5
Состав 7	ПКЭ 0,6%	0,58	34
Состав 8	ПКЭ 0,8%	0,58	30
Состав 9	ПКЭ 1%	0,55	35

Как следует из представленных результатов, увеличение дозировки пластификатора от минимального значения на 50-66% не приводит к качественному изменению ситуации. Причем утверждение это справедливо для всех применяемых пластификаторов независимо от их природы. Согласно полученным данным, за 35-45 минут подвижность падает на две марки, что, в большинстве случаев, недопустимо в технологии товарных бетонных смесей. При этом приведенные верхние пределы дозировок являются пограничными с точки зрения отсутствия расслоения смеси и дальнейшее их увеличение приведет нарушению связности смеси.

Существуют различные методы рецептурно-технологического характера для увеличения сохраняемости товарной бетонной смеси: применение добавок-замедлителей схватывания; снижение температуры бетонной смеси за счет введения холодной воды или даже льда взамен части воды затворения [2]; повторное введение пластификатора перед укладкой смеси.

Последний способ вызывает наибольший интерес с технологической и экономической точки зрения. Несмотря на то, что метод давно известен технологам, широко применяется за рубежом и разрешен к применению отечественной нормативной документацией [3], в России достаточно редки

случаи применения его на практике. В отечественной научно-технической литературе также мало сведений об исследованиях в этой области. Нет полной ясности по следующим вопросам:

1. Какую дозировку добавки назначать при повторном введении для восстановления подвижности?
2. Сколько раз можно таким образом «оживлять» бетонную смесь?
3. Какое влияние на бетонную смесь и затвердевший бетон окажет повышенная суммарная дозировка пластификатора при многократном введении?

Для определения эффективности многократного введения пластификатора последующие эксперименты проводились по следующей схеме. Пластификатор в выбранной дозировке вводился в бетонную смесь при приготовлении. В/Ц определялось исходя из обеспечения первоначальной подвижности 16-18 см. Сразу после измерения первоначальной ОК из части смеси изготавливались контрольные образцы-кубы с ребром 100 мм. Далее каждые 10 минут производилось перемешивание и определение показателя ОК. В момент, когда подвижность смеси первый раз опускалась до 3-4 см, вводилась порция пластификатора в той же дозировке, но с учетом фактически уменьшенного объема смеси. Контролируя подвижность с периодичностью 10 мин, дожидались повторного снижения подвижности до ОК=3-4 мин и вводили пластификатор третий раз. Далее с известной периодичностью контролировали подвижность смеси до достижения уровня ОК=3-4 см в третий раз. После этого из бетонной смеси изготавливалась вторая серия образцов-кубов для контроля прочности. Предел прочности при сжатии образцов-кубов определялся в возрасте 3 и 28 суток нормально-влажностного твердения.

Результаты испытаний приведены на рисунке 5.

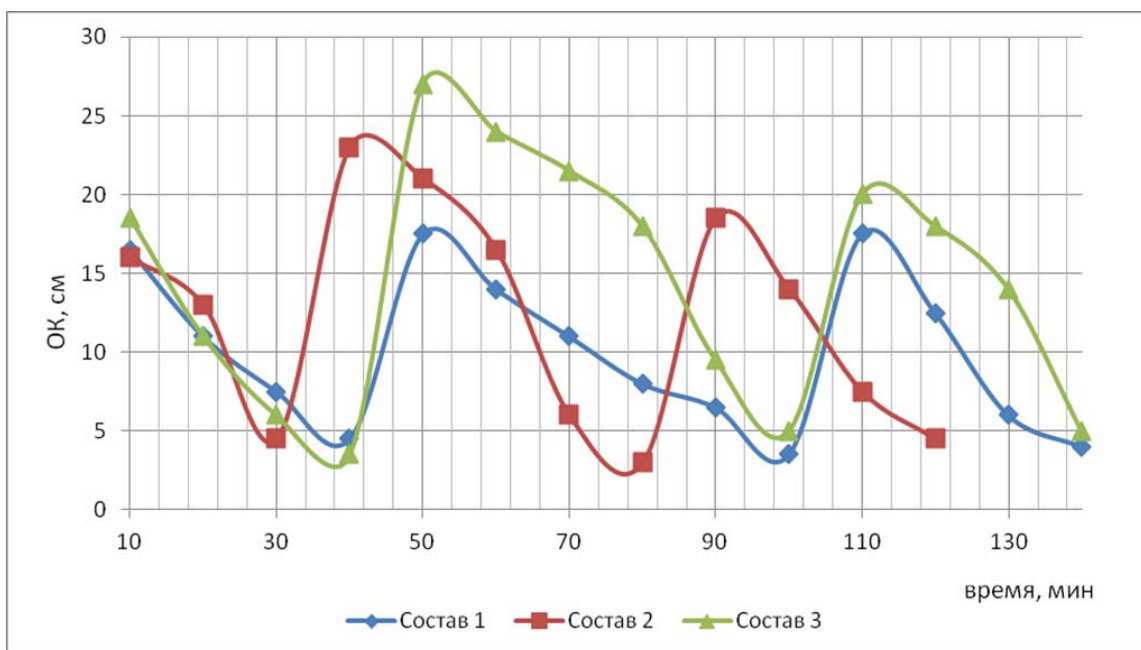


Рисунок 5 – Влияние многократного введения пластификатора на сохраняемость подвижности бетонной смеси

Сведения для расшифровки рецептурно-технологических особенностей составов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Вид и дозировка пластификаторов при их многократном введении в бетонную смесь

Номер состава	Вид и дозировка добавки, % от массы цемента по жидк. вещ-ву	Водоцементное отношение	Температура воздуха, °С
Состав 1	ЛСТ 1%+1%+1%	0,56	31
Состав 2	НСФ1+ЛСТ 1%+1%+1%	0,6	31,5
Состав 3	ПКЭ 0,8%+0,8%+0,8%	0,57	29

Анализируя приведенные на рисунке 5 кривые, можно сделать следующие выводы.

Повторное (многократное) введение пластификатора в бетонную смесь позволило увеличить время снижения подвижности с ОК=16-18 см до ОК=3-4 см с 35-45 минут до 120-140 минут, т.е. в 3 раза. По степени эффективности с точки зрения повышения сохраняемости можно выделить пластификаторы на основе ЛСТ и ПКЭ. Падение подвижности происходило медленнее, чем на пластификаторе НСФ1+ЛСТ: в первом случае до ОК=3-4 см подвижность упала через 40, 90 и 140 минут от начала затворения, а во втором – через 30, 80 и 120 минут. По степени эффективности с точки зрения восстановления подвижности

по значению ОК хорошо проявили себя добавки на основе НСФ1+ЛСТ и ПКЭ. После второго введения добавок подвижности смесей превысили первоначальную (на 31 и 46% соответственно), после третьего – на 15 и 8% соответственно. В то время, как пластификатор на основе ЛСТ при втором и третьем введении лишь восстанавливал подвижность до первоначальной.

В работе мы ограничились трехкратным введением пластификатора по следующим причинам. Во-первых, с технологической точки зрения 1,5-2 часов от приготовления до окончания укладки бетонной смеси, как правило, достаточно. Во-вторых, после третьего введения добавок появилась угроза расслоения бетонной смеси, что сделало невозможным еще одну итерацию восстановления подвижности без дополнительных мер по стабилизации смеси.

Интересно отметить, что при таком методе восстановления подвижности итоговая суммарная дозировка пластификаторов втрое превышает обычные рабочие дозировки. В случае, если бы пластификаторы в таком количестве вводились однократно в процессе приготовления, неизбежно произошло бы сильное расслоение смеси, и, даже если бы ее удалось более или менее равномерно уложить в конструкцию, то бетонная смесь не затвердевала бы в течение 3-5 и более суток. Подобные случаи известны практикам. Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии показали, что в условиях нашего исследования не только не замедляется динамика набора прочности, но ее абсолютное значение в возрасте 28 суток возрастает (таблица 5).

Таблица 5 – Предел прочности при сжатии образцов-кубов

Пластификатор/прирост относительно контрольного	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 3 суток	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 суток
ЛСТ (контрольный)	15,8	26,65
ЛСТ	38,87	56,34
Прирост	+ 69%	+ 45%
НСФ1+ЛСТ (контрольный)	14,35	20,3
НСФ1+ЛСТ	32,8	41,8
Прирост	+ 41%	+ 27%
ПКЭ (контрольный)	16,15	22,55
ПКЭ	37,85	49,9
Прирост	+ 40%	+ 32%

Для объяснения причин столь значительного прироста прочности (на 27-45% в возрасте 28 суток) требуется проведение более детальных исследований. Но уже на данном этапе можно утверждать, что многократное повторное введение пластификаторов в бетонную смесь является эффективным инструментом управления ее подвижностью, не снижая при этом прочность при сжатии затвердевшего бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. – М.: изд-во АСВ, 2007 г. 528 с.
2. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон: технология производства работ. – 2-е издание перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 576 с.
3. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

REFERENCES

1. Bazhenov Y.M. The technology of concrete. Textbook. - M .: Publishing House of the ABU, 2007, 528 p.
2. Hayutin YG Monolithic concrete: production technology works. - 2nd Edition Revised. and add. - M .: Stroyizdat, 1991. - 576 p.
3. GOST 7473-2010 Concrete mixtures. Technical conditions.

RE-INTRODUCTION OF PLASTICIZERS AS A MANAGEMENT TOOL OF WORKABILITY READY-MIX CONCRETE

S.A. UDODOV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: udodov-tec@mail.ru*

The urgency of developing management mobility ready-mix concrete. The assumption on the relevance and effectiveness of repeat (fractional) plasticizers to control the introduction of wet concrete of sulfate-resisting portland cement (SRPC). It was established experimentally that by using SRPC virtually no correlations between the type of plasticizer and retentive effect on mobility in a single administration. Re-introduction of the plasticizer enabled to effectively manage the mobility mix. Moreover, technological efficiency was approximately the same for different types of plasticisers. Three consecutive plasticizer in unchanged dosage allowed under the conditions of the experiment increase the retentive with 35-45 minutes to 120-140 minutes. It was found that repeated administration of the plasticizer does not slow down the

dynamics of strength development in the age range 3-28 days; the compressive strength of the concrete as a result of repeated administration of plasticizer increased by 27-45% in 28 days.

Key words: concrete mix, plasticizers, re-introduction, the keeping of workability, workability management, the strength of concrete