

## Некоторые технологические параметры перекрытия слоев при применении самоуплотняющихся бетонных смесей

Г.В. Несветаев<sup>1</sup>, Ю.И. Корянова<sup>1</sup>, Д.П. Сухин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>ООО «Дон-Кубань Строй», Ростов-на-Дону

**Аннотация:** Время перекрытия слоев при послойной укладке бетонной смеси при возведении массивных монолитных железобетонных конструкций является важным технологическим параметром бетонирования, связывающим темп бетонирования, толщину укладываемых слоев и параметры конструкции. Для традиционных бетонных смесей, уплотняемых вибрацией, этот параметр определяется сохраняемостью бетонной смеси с учетом ее температуры. При применении самоуплотняющихся бетонных смесей время перекрытия слоев помимо традиционных факторов существенно зависит от периода формирования «слоновой кожи». Изучено влияние времени перекрытия слоев на прочность их сцепления в зависимости от свойств бетонной смеси и способа ее укладки. В качестве критерия прочности сцепления использован предел прочности на растяжение при изгибе. Подтверждено, что при применении уплотняемой вибрацией традиционной бетонной смеси без суперпластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов время перекрытия слоев 2 ч обеспечивает равнопрочный с основным массивом шов. Для самоуплотняющихся бетонных смесей с применением вибрации при укладке последующих за первым слоев время перекрытия соответствует показателю сохраняемости и возрастает до 6 ч, а при послойной укладке без вибрирования прочность сцепления снижается примерно на 20%, 70% и более 90% при времени перекрытия 2,4 и 6 ч соответственно.

**Ключевые слова:** самоуплотняющиеся бетонные смеси, массивные железобетонные конструкции, время перекрытия слоев, «слоновая кожа».

При возведении массивных железобетонных конструкций одним из важнейших условий является обеспечение их монолитности, в связи с чем, согласно СП 435.1325800.2018, «бетонная смесь должна укладываться в бетонируемую конструкцию горизонтально слоями одинаковой толщины без разрывов, с последовательным направлением укладки в одну сторону во всех слоях. Новый слой бетонной смеси должен быть уложен до начала схватывания бетона ранее уложенного слоя». Послойная укладка бетонной смеси при возведении массивных монолитных конструкций, как правило, связана с некоторыми перерывами между началами укладки предыдущего и последующего слоев, продолжительность которых зависит от параметров конструкции и интенсивности (темпа) бетонирования. При возведении

уникальных объектов интенсивность бетонирования может составлять от 40 до 226 м<sup>3</sup>/ч, а продолжительность процесса до 35 ч [1, 2]. Продолжительность перерыва между укладкой слоев фактически является временем перекрытия слоев бетонной смеси при послойном бетонировании без образования рабочего шва и, согласно СП 70.13330.2012 «устанавливается строительной лабораторией», при этом критерии в СП не оговариваются, а «толщина укладываемого слоя определяется в зависимости от длины рабочей части вибратора», хотя это не единственный фактор. Согласно ВСН 37-96, п. 5.21, «продолжительность времени между укладкой и уплотнением последовательно укладываемых слоев бетонной смеси не должна превышать двух часов». В [3] рассматриваются варианты бетонирования с интервалом укладки бетонной смеси до 3-х часов, в пределах 12 часов и более 12 часов. Отмечается, что СП 70.13330.2012 рекомендует укладку бетонной смеси при возведении фундамента выполнять с образованием холодного шва, а для предельного времени перекрытия слоев, в зависимости от подвижности, температуры и способов уплотнения бетонной смеси указываются значения от 1,5 до 5 ч. В [4] время перекрытия слоев различных бетонов указано от 0,5 до 1,5 ч. В [5] приводятся временные параметры перекрытия слоев бетонной смеси с учетом температуры бетонной смеси и сроков схватывания цемента, а также значения предельно допустимой продолжительности, в зависимости от температуры бетонной смеси, укладки слоев от 2 ч 15 мин. до 3 ч, при этом предельный возраст смеси к началу укладки указывается от 45 мин. до 1 ч. 20 мин. В [3] отмечается, что «при укладке бетонной смеси в массивные фундаментные плиты согласно типовым технологическим картам» должна обеспечиваться «непрерывность укладки на всю высоту плит». Таким образом, при отсутствии перерывов при послойной укладке (без устройства горизонтального рабочего шва) важным технологическим фактором является время перекрытия слоев, которое зависит от параметров конструкции и темпа бетонирования, и

---

рекомендуемое значение которого по разным данным составляет, в зависимости от температуры и марки бетонной смеси по сохраняемости, от 0,5 до 5,5 ч [3, 6]. В сухую жаркую погоду это время может существенно корректироваться с учетом интенсивности влагопотерь и продолжительности стабилизации осадки бетонной смеси [7]. Согласно [1] при непрерывном бетонировании фундаментной плиты с применением самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБ) интервал времени перекрытия слоев составлял от 2 до 6 ч. Поскольку, по данным [8] при применении СУБ с суперпластифицирующими добавками (СП) на основе эфиров поликарбоксилатов в условиях пониженной влажности отмечен процесс быстрого формирования «слоновой кожи» - слоя толщиной от 50 до 500 мкм, свойства которого значительно отличаются от основного объема цементного камня. Этот слой может стать причиной нарушения сцепления укладываемых слоев бетонной смеси даже при приемлемых значениях времени перекрытия слоев, причем кинетика влагопотерь также может влиять на время перекрытия слоев, особенно в сухую жаркую погоду [7, 9]. Учитывая широкое применение СУБ, полученных с применением СП на поликарбоксилатной основе [10], в т.ч. высокопрочных и с комплексными модификаторами [11, 12], на основе регионального сырья [13], а также легких на пористых заполнителях [14], с применением техногенного сырья [15, 16], и немногочисленность данных по особенностям прочности сцепления слоев при послойной укладке при применении СУБ, исследование технологических параметров, определяющих прочность сцепления слоев указанных бетонов при послойной укладке бетонной смеси представляет актуальную задачу.

Исследования выполнены на тяжелых бетонах, полученных из СУБ, содержащих СП отечественного производства на основе эфиров поликарбоксилатов. Портландцемент – ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Новоросцемент». Подвижность СУБ соответствовала марке РК1 по ГОСТ Р 59714-2021.

---

Диапазон предела прочности на сжатие исследованных бетонов в проектном возрасте составил, в зависимости от слоя и условий укладки бетонной смеси от 25,3 (В20 по схеме Г ГОСТ 18105) до 39,1 МПа (В30). Стабилизация слоя бетонной смеси СУБ высотой 30 см наступала после укладки через 5 ч, а рост тепловыделения после 7 ч.

Оценка влияния времени перекрытия слоев на «монолитность» при использовании СУБ выполнена на образцах 100x100x400 мм, формируемых вертикально в специальных пластиковых формах. Образцы контрольной серии СУБ изготавливались без вибрирования с укладкой смеси в один слой толщиной 400 мм. При послойной укладке бетонной смеси время перекрытия слоев составляло 2, 4, 6 ч при двух слоях толщиной по 200 мм. Образцы первой серии СУБ при послойной укладке изготавливались без вибрирования бетонной смеси в обоих слоях, а во второй серии при укладке второго слоя осуществлялось штыкование 10 раз стержнем диаметром 12 мм с погружением его в ранее уложенный слой на 5 см (имитация погружения глубинного вибратора при послойном уплотнении смеси). Для сравнения изготавливались образцы с укладкой в один слой из бетонной смеси без СП (традиционный бетон) с вибрационным уплотнением и в два слоя с вибрированием каждого слоя в течение 40 с со временем перекрытия слоев 2 ч. Величина влагопотерь в верхнем слое толщиной 40 мм при использовании смесей СУБ через 4 ч составила 2,5%, а через 6 ч – 4% от воды затворения, т.е. не являлась критической. В качестве критерия «монолитности» использован предел прочности на растяжение при изгибе, как и в [17] при оценке влияния замораживания на прочность сцепления бетонного стыка. На рис. 1 представлены фото изготовления и испытания образцов.

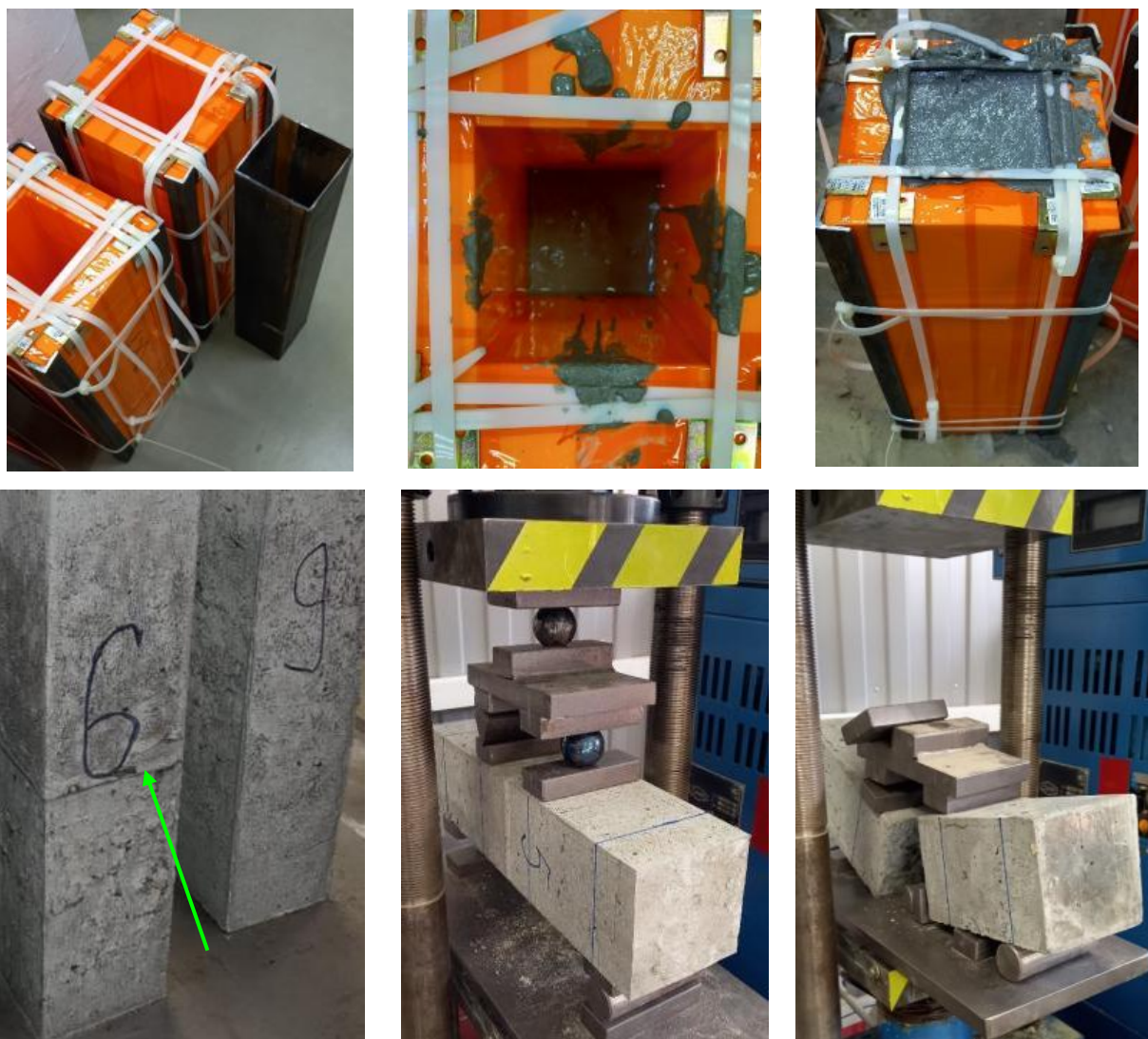


Рис. 1. - Этапы послойного изготовления призм и испытания на изгиб.

Стрелкой обозначен шов при перекрытии слоев

На рис. 2 представлены данные о соотношении предела прочности на растяжение при изгибе от предела прочности на сжатие бетонов, использованных для оценки влияния времени перекрытия слоев на прочность сцепления. Для сравнения представлены результаты [18] для ТБ и для СУБ, содержащих микрокремнезем (МК) в дозировке от 7,8 до 14,5 % от массы цемента и для СУБ на легких пористых заполнителях [14]. СУБ с МК имеет повышенные на 15-28 % значения прочности на растяжение при изгибе относительно среднестатистических данных для ТБ вибрационного уплотнения

[19], а соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатие у СУБ без МК в принципе не отличается от ТБ.

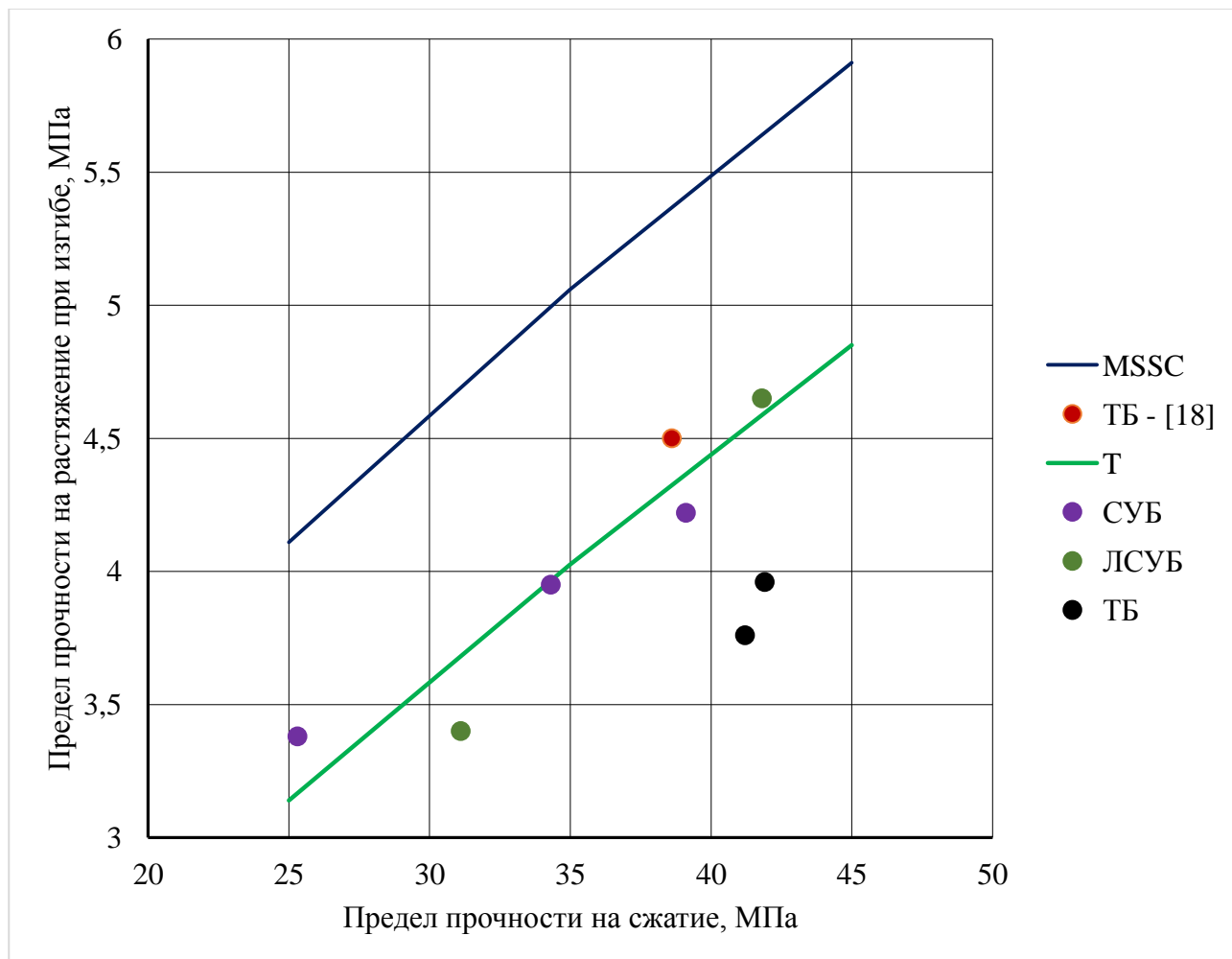


Рис. 2. - Соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и на сжатие

MSSC – СУБ с МК [18]; Т, ТБ – [18] – тяжелый бетон [18]; СУБ – экспериментальные данные авторов; ЛСУБ [14]

В табл. 1 и на рис. 3 представлены результаты исследований влияния времени перекрытия слоев на предел прочности на растяжение при изгибе («прочность сцепления»).

Таблица №1

Результаты исследований влияния времени перекрытия слоев  
 на прочность сцепления

Бетон	Способ укладки	Время перекрытия шва, ч	Предел прочности бетона на растяжение при изгибе	
			$R_{f,t}$ , МПа	$R_{f,t} > 0,5R_f$
СУБ	Без вибрации	0	3,38 (100)**	да
		2	2,71 (80,2)	да
		4	0,91 (26,9)	нет
		6	0,14 (4,1)	нет
	Штыкование	0	3,59 (100)	да
		2	4,22 (117)	да
		4	3,95 (110)	да
		6	3,06 (85,1)	да
ТБ*	С вибрацией	0	3,46 (100)	да
		2	3,52 (102)	да

Примечание: \* - тяжелый бетон без добавок вибрационного уплотнения; \*\* - %

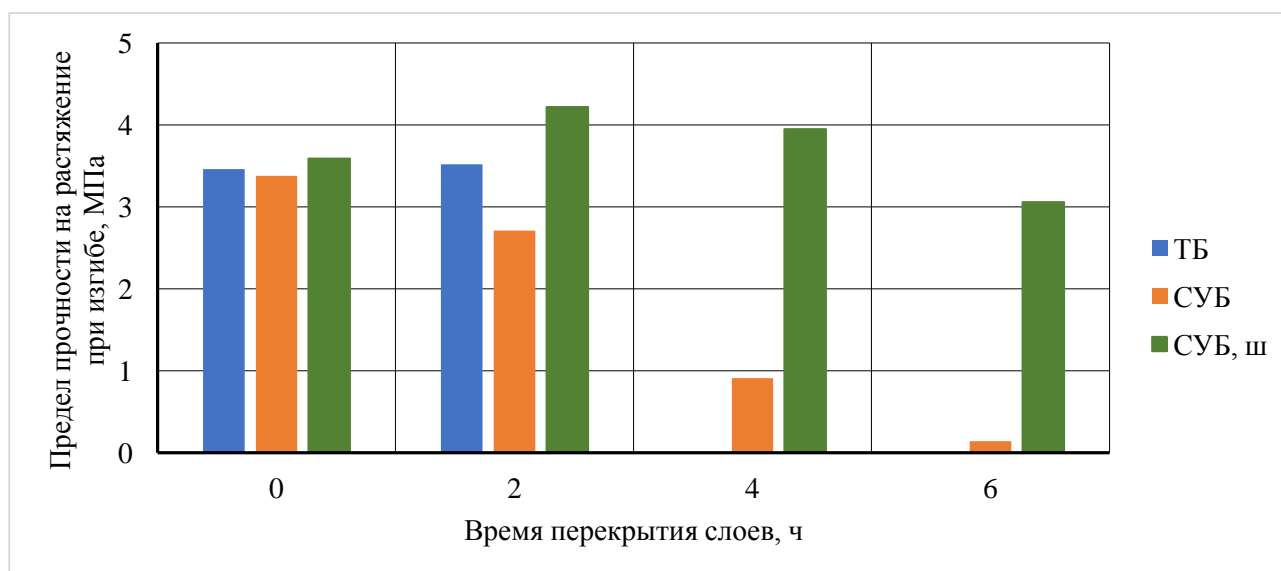


Рис. 3. - Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе («прочности сцепления») от времени перекрытия слоев

ТБ, СУБ, СУБ, ш – соответственно вибрированный ТБ; СУБ, укладываемый без вибрирования; СУБ, ш – СУБ, укладываемый со штыкованием

Из представленных в табл. 1 и на рис. 3 результатов очевидно:

- при времени перекрытия слоев 2 ч для традиционного ТБ, укладываемого с послойным вибрированием, прочность сцепления между слоями не уступает прочности основного тела бетона, т.е. «монолитность» полностью обеспечена;

- при времени перекрытия слоев СУБ, укладываемого со штыкованием второго слоя (имитация вибрирования), прочность сцепления между слоями при времени перекрытия до 4 ч не уступает прочности основного тела бетона, а при времени перекрытия 6 ч снизилась на 15%, что, вероятно, может быть устранено более интенсивным уплотнением при укладке второго слоя;

- при укладке СУБ без штыкования второго слоя прочность сцепления между слоями с увеличением времени перекрытия слоев снижается в соответствии с зависимостью (показатель достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,95$  при  $\tau > 2$ ):

$$\frac{R_{f,\tau}}{R_{f,0}} = 1 - 0,1 \cdot \tau, \text{ при } \tau < 2;$$
$$\frac{R_{f,\tau}}{R_{f,0}} = 0,8 - 0,2 \cdot (\tau - 2), \text{ при } \tau > 2 \quad (1)$$

$R_{f,\tau}, R_{f,0}$  – соответственно предел прочности на растяжение при изгибе («прочность сцепления») при времени перекрытия слоев  $\tau$  и «монолита», т.е. при времени перекрытия слоев с ростом влагопотерь даже не превышающих критическое значение в связи с формированием «слоновой кожи» прочность сцепления между слоями снижается.

На рис. 4 представлены фотографии образцов СУБ в изломе после испытаний на растяжение при изгибе в зависимости от времени перекрытия слоев. Хорошо видно изменение характера поверхности в изломе в зависимости от времени перекрытия слоев без штыкования (вибрирования).







Рис. 4. - Образец СУБ в изломе после испытаний на растяжение при изгибе.

Слева направо время перекрытия слоев 0, 2, 4, 6 ч

На рис. 5 представлены фотографии образцов СУБ в изломе после испытаний на растяжение при изгибе в зависимости от времени перекрытия слоев и способа уплотнения. Характер поверхности в изломе образцов, при укладке второго слоя которых применялось штыкование, аналогичен поверхности образцов эталонных и со временем перекрытия слоев 2 ч без штыкования, а также вибрированных образцов ТБ.



Рис. 5. - Образец СУБ в изломе после испытаний на растяжение при изгибе.  
Слева направо: время перекрытия слоев соответственно 2 без штыкования,  
4 и 6 со штыкованием

На рис. 6 представлены фотографии образцов вибрированного ТБ в изломе после испытаний на растяжение при изгибе в зависимости от времени перекрытия слоев. Шов в зоне перекрытия слоев четко виден на фотографии. Характер поверхности в изломе образцов идентичен. Разрушение образцов, изготовленных с перекрытием слоев, происходило не по зоне контакта «старого» и «нового» бетона.

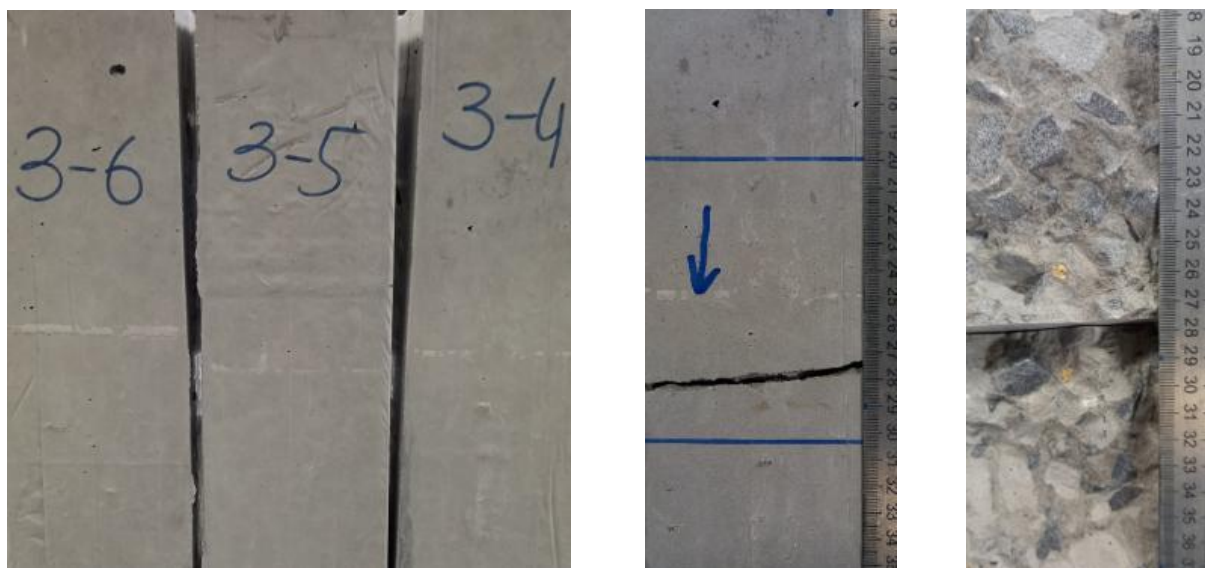


Рис. 6. - Образцы вибрированного бетона, слева направо: шов, время перекрытия слоев 2 ч; излом не по шву; в изломе

### Заключение

При послойной укладке самоуплотняющихся бетонных смесей в массивные монолитные железобетонные конструкции формирование «слоновой кожи» оказывает существенное влияние на предельно допустимое время перекрытия слоев, которое может оказаться существенно менее показателя сохраняемости бетонной смеси. Снижение прочности сцепления слоев в этом случае практически линейно зависит от времени их перекрытия. При вибрировании последующего слоя, разрушающего «слоновую кожу», качественное сцепление между слоями может быть обеспечено при времени перекрытия слоев до 6 и, возможно, более часов. Для оценки влияния рецептурно-технологических факторов на прочность сцепления слоев в зависимости от времени их перекрытия целесообразно использовать предел прочности на растяжение при изгибе, определенный на отформованных в два слоя призматических образцах.

## Литература

1. Калиновская Н.Н., Осос Р.Ф., Кучук Е.В. Бетонирование фундаментной плиты турбоагрегата Белорусской АЭС с применением самоуплотняющегося бетона // Технологии бетонов, 2017, № 3-4 (128-129). - С. 15-19.
  2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Высокопрочные бетоны в конструкции фундаментов высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити» // Промышленное и гражданское строительство, 2017, №3. – С. 53-57.
  3. Шпилевская Н.Л., Шведов А.П. Разработка организационно-технологической документации на бетонирование массивных фундаментных плит // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки, 2018, №8. – С. 49-55.
  4. Солопов И.Н., Шкребтий Т.А., Тороев Р.А. Монолитное соединение бетонных слоев в композитных железобетонных конструкциях // Перспективы науки, 2020, №10. - С. 207-209.
  5. Доладов Ю.И., Доладова И.П. Ресурсосберегающая технология бетонирования массивных фундаментных плит // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура, 2011, №2. – С. 132-134.
  6. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Технология и качество бетонных работ: учебное пособие. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 228 с.
  7. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Сухин Д.П. Некоторые вопросы технологии бетонирования массивных фундаментных плит с применением самоуплотняющихся бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2022, № 8 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870)
  8. Wetzel A., Glotzbach C. Microstructural characterization of elephant skin on ultra-high performance concrete // 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 2013. – pp. 1-4.
-

9. Алиев С.А., Муртазаев С.-А.Ю., Таймасханов Х.Э., Муртазаева Р.С.-А. Влияние влагопотерь на прочностные характеристики гелиобетона // Вестник ГГНТУ. Технические науки, 2021, том XVII, № 1 (23) DOI: 10.34708/GSTOU.2021.78.77.005

10. Brouwers H.J.H., Radix H.J. Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study // Cement and concrete research, 2005, № 35 (11). – pp. 2116-2136.

11. Муртазаев С.-А.Ю., Сайдумов М.С., Аласханов А.Х., Муртазаева Т.С.А. Высокопрочные бетоны повышенной жизнеспособности для конструкций фундаментов МФК «Ахмат-Тауэр» // Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, 2017. – С. 875-883.

12. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов // Строительные материалы, 2021, № 12. – С. 48-54.

13. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Хубаев М.С.М. Рецептура самоуплотняющихся бетонов с использованием сырьевых компонентов Северного Кавказа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, 2016, Т. 42, № 3. – С. 193-202.

14. Бычков М.В., Удодов С.А. Легкий самоуплотняющийся бетон как эффективный конструкционный материал // Интернет-журнал Науковедение, 2013, № 4 (17). – С. 1-7.

15. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Елистраткин М.Ю. Самоуплотняющиеся бетоны с использованием модификаторов и наполнителей из природного и техногенного сырья // Эффективные строительные композиты: Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича – Белгород: Белгородский

---

государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 455-465.

16. Булдызов А.А., Алимов Л.А. Самоуплотняющиеся бетоны с наномодификаторами на основе техногенных отходов // Промышленное и гражданское строительство, 2014, № 8. – С. 86-88.

17. Румянцев Е.В., Соловьев В.Г., Байбурин А.Х. Влияние замораживания на прочность сцепления в бетонных швах при зимнем бетонировании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2022, Т. 22, № 3. – С. 61-70.

18. Коровяков В.Ф., Туан М.Ч. Литые бетонные смеси для дорожного строительства // Технологии бетонов, 2012, № 9-10 (74-75). – С. 52-55.

19. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. О применении цементных бетонов для дорожных и аэродромных покрытий // Строительные материалы, 2014, № 3. – С. 31-35.

### References

1. Kalinovskaya N.N., Osos R.F., Kuchuk E.V. *Technologii betonov*, 2017, № 3-4 (128-129). pp. 15-19.

2. Kaprielov S.S., Shejnfel`d A.V., Al`-Omais D., Zajcev A.S. *Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo*, 2017, №3. pp. 53-57.

3. Shpilevskaya N.L., Shvedov A.P. *Vestnik Poloczkogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel`stvo. Prikladny`e nauki*, 2018, №8. pp. 49-55.

4. Solopov I.N., Shkrebtij T.A., Toroev R.A. *Perspektivy` nauki*, 2020, №10. pp. 207-209.

5. Doladov Yu.I., Doladova I.P. *Vestnik SGASU. Gradostroitel`stvo i arhitektura*, 2011, №2. pp. 132-134.

6. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. *Technologiya i kachestvo betonny`x robot [Technology and quality of concrete works]: uchebnoe posobie*. Moskva; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. 228 p.

7. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Suxin D.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870)

8. Wetzel A., Glotzbach C. Microstructural characterization of elephant skin on ultra-high performance concrete, 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 2013. pp. 1-4.

9. Aliev S.A., Murtazaev S.-A.Yu., Tajmasxanov X.E., Murtazaeva R.S.-A. Vestnik GGNTU. Texnicheskie nauki, 2021, tom XVII, № 1 (23). DOI: 10.34708/GSTOU.2021.78.77.005

10. Brouwers H.J.H., Radix H.J. Cement and concrete research, 2005, № 35 (11). pp. 2116-2136

11. Murtazaev S.A.Yu., Sajdumov M.S., Alasxanov A.X., Murtazaeva T.S.A. Vy`sokoprochny`e betony` povy`shennoj zhiznesposobnosti dlya konstrukcij fundamentov MFK «Axmat-Taue`r» [High-strength concretes of increased vitality for the structures of foundations of the MFC "Akhmat-Tower"], Fundamental`ny`e osnovy` stroitel`nogo materialovedeniya. Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo oglajn-kongressa, 2017. pp. 875-883.

12. Nelyubova V.V., Usikov S.A., Strokova V.V., Neczvet D.D. Stroitel`ny`e materialy`, 2021, № 12. pp. 48-54.

13. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Xubaev M.S.M. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki, 2016, T. 42, № 3. pp. 193-202.

14. By`chkov M.V., Udodov S.A. Internet-zhurnal Naukovedenie, 2013, № 4 (17). pp. 1-7.

15. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Sajdumov M.S., Elistratkin M.Yu. Samouplotnyayushhiesya betony` s ispol`zovaniem modifikatorov i napolnitelej iz prirodnogo i texnogenogo sy`r`ya [Self-compacting concretes using modifiers and fillers from natural and technogenic raw materials], E`ffektivny`e stroitel`ny`e kompozity`: Nauchno-prakticheskaya konferenciya k 85-letiyu

---





zasluzhennogo deyatelya nauki RF, akademika RAASN, doktora texnicheskix nauk Bazhenova Yuriya Mixajlovicha, Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny`j texnologicheskij universitet im. V.G. Shuxova, 2015. pp. 455-465

16. Buldy`zhov A.A., Alimov L.A. Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo, 2014, № 8. pp. 86-88.

17. Rumyancev E.V., Solov`ev V.G., Bajburin A.X. Vestnik Yuzhno-Ural`skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel`stvo i arhitektura, 2022, T. 22, № 3. pp. 61-70.

18. Korovyakov V.F., Tuan M.Ch. Texnologii betonov, 2012, № 9-10 (74-75). pp. 52-55.

19. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Stroitel`ny`e materialy`, 2014, № 3. pp. 31-35.