



УДК 666.982.2

© А. В. Судаков, В. И. Судаков, 2007

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ ПЛИТОК

Судаков А. В. – директор ЗАО «Исследования в строительстве»,
Судаков В. И. – директор «Хабакадемархстройцентра» РААСН, канд. техн. наук, проф. кафедры «Строительные материалы и изделия» (ТОГУ)

Массовое применение бетонных тротуарных плиток в условиях г. Хабаровска вскрыло проблему долговечности плиточных покрытий. Были проведены исследования плиток для покрытий на всех этапах создания их свойств: расчет состава бетона и смеси, проектирование технологии изготовления плиток и устройства покрытия, обслуживание в процессе эксплуатации. В статье решаются проблемы качества с использованием конструктивно-технологического метода. В заключительной части предлагаются меры по обеспечению расчетного гарантированного срока эксплуатации методами поверхностной защиты и другими структурно-технологическими приемами.

The extensive concrete slab paving in Khabarovsk denoted the problem of the slabs durability. The slabs properties have been investigated at every stage of their manufacturing: calculation of concrete composition and mix, designing technology of molding and manufacturing, maintenance and servicing. The authors will solve the problems of quality with structural-technology methods. In conclusion they suggest some measures that should provide for the design guarantee period of maintenance with using protective or other structural-technology methods.

Массовое применение бетонных плит для покрытий тротуаров на магистралях, внутриквартальных проездах, садово-парковых и пешеходных дорожках в условиях г. Хабаровска обосновано по нескольким причинам. Бетонное покрытие не выделяет вредных веществ в летнее время, менее трудоемко при ремонте или демонтаже при прокладке сетей, имеет повышенную декоративность, обеспечивает требуемую шероховатость, более высокую долговечность и низкую стоимость в расчете на год эксплуатации.



Вместе с тем, бетонные покрытия выявили и недостатки в процессе применения – для укладки плитки требуется более жесткое основание, швы пропускают поверхностные стоки в слои основания, что приводит к обводнению фундаментов зданий и сооружений, к повышению уровня верховодки в зоне исторической застройки. Долговечность плиточного покрытия оказалась ниже расчетной. Анализ причин снижения качества и долговечности тротуарных плиток выявил их системные недостатки.

Первый положительный опыт применения тротуаров с бетонным покрытием в г. Хабаровске относится к началу XX в. у торгового дома фирмы «Кунст и Альберс» (1906 г.), где была применена плитка с вскрытой фактурой гранита серого и розового цветов (испытания плитки и её реставрация выполнены нами в 2003 г.). Плитка успешно эксплуатировалась 100 лет и имеет ресурс на 30–50 лет. Современная бетонная плитка и плиты индустриального изготовления при благоустройстве города проявили недостаточную сохранность в покрытиях, срок службы не превысил 25–30 лет.

Мелкоштучные изделия, производство которых было организовано на базе ЗАО «Артель старателей «Амур» по технологии немецкой фирмы Behatop для заводов Hess Multimot RH 2000 VA, впервые массово применены в покрытиях при реконструкции пл. им. В. И. Ленина, проходившей при нашем участии. При этом были улучшены параметры конструкции покрытия, состава бетона и технологии изготовления, технологии укладки. При строительстве площади впервые в городе была налажена технология производства цветной плитки на сером портландцементе.

Технология изготовления плитки по методу вибропрессования предусматривает применение жестких смесей (ОК – 0 см, Ж₂, Ж₃ по техническому вискозиметру – 20–80 с) с расходом воды около 160 л (В/Ц около 0,33), бездобавочного портландцемента (М 400) – 480 кг, заполнителя – песчано-гравийной смеси – 1470 кг на кубический метр.

По ГОСТ 17608-91 регламентируются показатели качества тротуарных плиток по прочности для тротуаров на магистралях – В 30–В35, для тротуаров внутриквартальных дорог – В 22,5–В 25. Морозостойкость для г. Хабаровска – F 200 с насыщением в 5% растворе NaCl. Водопоглощение для плиток из тяжелого бетона не более – 5 %, для мелкозернистого бетона – 6 %. Водоцементное отношение должно быть не выше 0,4 смеси с осадкой конуса до 12 см и подвижностью П₂, П₃, что может быть достигнуто только при применении воздухововлекающих и пластифицирующих добавок.

По рекомендациям отечественных норм основание под плитку с возможностью заезда транспорта должно быть выполнено из щебня



или бетона. Для посадки плитки на основание применяется песок, укрепленный цементом. Требования норм достаточно высоки, но могут быть скорректированы для плитки, произведенной на импортном оборудовании и для условий г. Хабаровска.

Плитка, изготовленная по методу вибропрессования с твердением на стеллажах в естественных условиях, не отвечает требованиям норм по отпускной прочности (не ниже 90 % для мелкозернистого бетона), т. к. имеет около 30–40 % проектной прочности при вывозе на склад. В холодный период года со среднесуточными температурами ниже +15 °С, отпускная прочность изделий еще ниже и достигает 25–30 %.

Введение традиционных ускорителей твердения ХК и ННХК вызывает образование высолов и не обеспечивает нормативной отпускной прочности.

Метод безопалубочного изготовления плитки на поддонах требует высокой жесткости смеси, что сохраняет форму изделия после съема плиты прессы и стальной рамки, но не позволяет снизить объем остаточного воздуха. Поэтому пористость изделий выше нормативной и является основной причиной снижения морозостойкости бетона и долговечности покрытий. Время вибрирования изделий было принято 5–10 с, что обеспечивало формообразование и начальное уплотнение бетонной смеси. По расчетам время уплотнения смеси должно быть увеличено до 20–25 с, при этом производительность линии снижается более чем в два раза.

Твердение бетона на стеллажах, а не в условиях тепловлажностной обработки приводит к потере свободной влаги и некоторой деградации цементного камня, что является фактором увеличения пористости из-за уменьшения объема новообразований.

Таким образом, параметры технологии изготовления на оборудовании импортной линии нуждались в корректировке для обеспечения показателей качества плитки в соответствии с действующими нормами. Зависимость водопоглощения и морозостойкости бетона тротуарных плиток от прочности в проектном возрасте представлена на рис. 1. Как следует из полученных результатов прочность, водопоглощение и пористость вибропрессованного бетона зависят от времени уплотнения и изменяются в широких пределах от ненормативных до приемлемых значений. Из результатов следует, что время уплотнения 20–25 с позволяет обеспечить нормативное водопоглощение – 5–6 % и морозостойкость 200–250 циклов при коэффициенте вариации около 12 %.

Использование бетона без добавок, как показано на рис. 2, не может быть обосновано даже при интенсивном уплотнении. Эффективность добавок для жестких бетонных смесей не проявляется в полной степени, но возрастает по мере увеличения времени уплотнения при

тиксотропическом разжижении смеси. Величина нагрузки при 14 изделиях на поддоне (тип Р6 рава «UNI» – общая площадь $210 \times 14 \text{ см}^2$) может изменяться от 100 до 300 г/см^2 .

С учетом снижения эффективности применения жидких добавок в жестких смесях был использован активированный заполнитель – песок гидрофобизированный в парогазовой фазе органического материала, выполняющий функции носителя ПАВ [1].

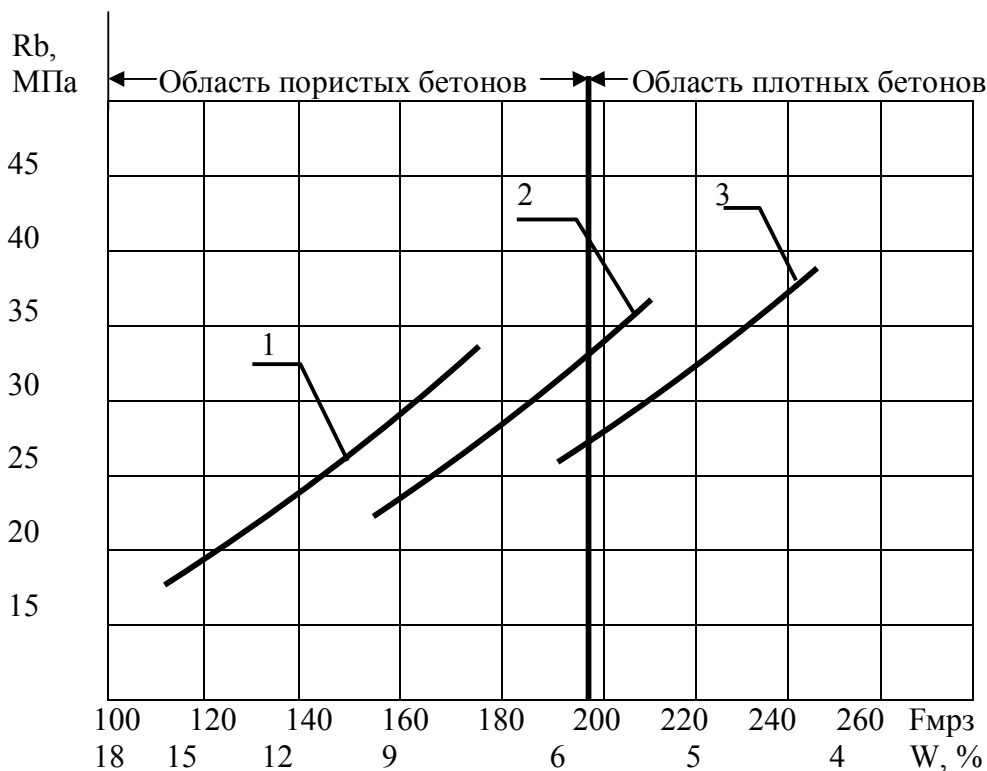


Рис. 1. Зависимость водопоглощения (W) и морозостойкости ($F_{mрз}$) от прочности (R_b) бетона в проектном возрасте (бетон без добавок):

1 – время вибрирования 10 с; 2 – то же 20 с; 3 – то же 30 с

Как видно из рис. 2, водопоглощение бетона значительно (до 20–27 %) снижается, а прочность возрастает от 15 до 25 % по сравнению с бетоном без добавок или пластифицированным суперпластификатором. Основная часть эффекта достигнута снижением водопотребности заполнителя, повышением удобоукладываемости жесткой смеси, водоотделения при вибрировании и замедлением высыхания смеси при твердении, что снижает потребность в дополнительном уходе за бетоном.



При определении класса бетона основное значение имеет величина коэффициента вариации прочности, который характеризует однородность или ширину доверительного интервала в гистограмме распределения прочности, поэтому были получены распределения прочности для бетонов (рис. 3).

При этом коэффициент вариации прочности бетона изменяется от 25 до 10 %, что соответственно характеризует рост средней и требуемой прочности при назначении класса бетона. Этот показатель прогнозирует изменение основных характеристик бетона – прочности, водопоглощения, морозостойкости, надежности или длительной прочности на конец расчетного периода эксплуатации.

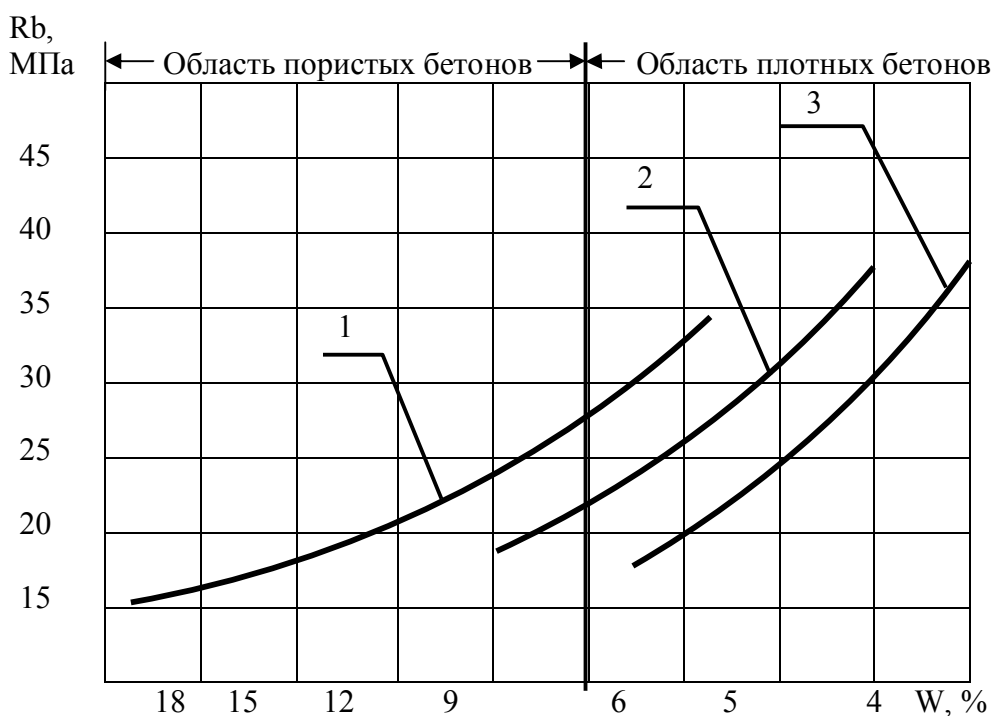


Рис. 2. Зависимость водопоглощения (W) от прочности (Rb) и управляющих воздействий бетона тротуарных плиток в проектном возрасте: 1 – бетон без управляющих добавок; 2 – бетон с добавкой пластификатора (С 3); 3 – бетон с гидрофобным заполнителем

Из прогноза долговечности бетонов низких классов следует, что расчетный срок эксплуатации составляет около 15–20 лет, тогда как для оптимальных по характеристикам бетонов высокой прочности (при заданном классе) расчетный срок эксплуатации – 50 и более лет.

Таким образом, срок эксплуатации, окупаемость и затраты на эксплуатацию более эффективны у бетонов повышенной прочности и надежности.

Параметры качества бетона как комплексного показателя его долговечности и надежности можно назначать и поддерживать в коридоре требуемых свойств.

Для управления техническими свойствами, обеспечения ремонтно-пригодности и восстановления ресурса в процессе эксплуатации были применены пропитки бетона. Результаты испытаний приведены в таблице.

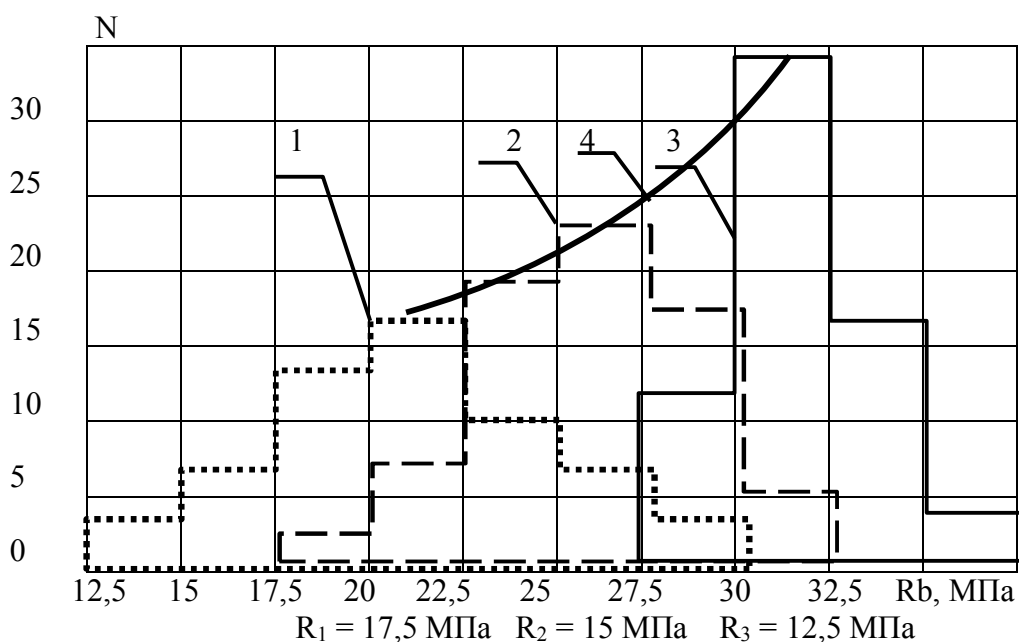


Рис. 3. Гистограммы нормального распределения прочности бетона (R_b) тротуарных плиток в проектном возрасте при различном времени уплотнения: 1 – время вибрирования 10 с; 2 – то же 20 с; 3 – то же 30 с; 4 – огибающая кривая распределения (повышение однородности и надежности бетона); $R_1 - R_3$ – размах прочности бетона

Как видно из рис. 3, размах значений прочности уменьшается по мере увеличения абсолютного значения средней прочности.

Актуальность пропитки обусловлена также тем, что за первые годы использования тротуарных плиток были применены изделия со свойствами ниже нормативных, поэтому ожидается досрочный массовый выход из строя таких плиточных покрытий.



Применяемые для пропитки материалы и их производители (в скобках): «Weather proofing» – 25 % раствор силоксанов в толуоле/ксилоле («Burke» США); «Shield 224» («Seal 900») – раствор силоксанов в органических растворителях («Burke» США); «Joby 210» – водная микроэмульсия силоксанов («Joby» Германия); смесь «Acronal 290D» – 50 % акрилат стирольная водная микроэмульсия («BASF» Германия) и ГКЖ-11 – 24 % водно-спиртовой раствор метилсиликоната натрия («Сибирский силикон» Россия); «P-primer» – акрилат-стирольная водная эмульсия («Terraco» Ю. Корея), «Mowilith DM-760» – 34 % акрилат стирольная водная микроэмульсия («Clariant» Германия).

По результатам сравнения эффективности выбраны пропитки, обеспечивающие глубину до 10 мм и водопоглощение в пределах 0 – 3 %, имеющие меньшую стоимость и расход – «Weather proofing», «Acronal» и ГКЖ-11 «P-primer» (при текущем уходе за покрытием).

Показатели пропитки бетона тротуарных плиток*

Тип материала	Время пропитки, с	Расход пропитки, г/м ²	Глубина пропитки, мм	Водопоглощение через 24 ч, %
«Weather proofing»	30	550	11	1,7
	60	800	14	0,3
	120	1020	16	0,0
«Shield 224» («Seal 900»)	30	140	0–3	5,0
	60	180	0–4	2,5
	120	240	0–4,5	1,5
«Joby 210»	30	540	2	7,0
	60	690	3	6,5
	120	840	3,5	6,0
«Acronal» и ГКЖ-11	30	160	1,5	1,5
	60	210	2,5	0,9
	120	290	5,0	0,6
«P-primer»	30	155	1,5	3,5
	60	165	2,5	2,5
	120	245	5,0	1,5
«DM-760»	30	360	7	6
	60	620	8	5
	120	810	9	4

* Начальное водопоглощение 7–9 %.



Долговечность бетонных плиток может регулироваться:

– при водопоглощении 2–4 % расчетный срок эксплуатации покрытий в благоприятных условиях при использовании пластифицирующих, воздухововлекающих добавок и гидрофобных заполнителей более 50 лет;

– при водопоглощении 5–6 % расчетный срок эксплуатации покрытий в благоприятных условиях при использовании пластифицирующих и воздухововлекающих добавок или гидрофобных заполнителей до 50 лет;

– при водопоглощении 7–8 % расчетный срок эксплуатации покрытий в благоприятных условиях до 30 лет, при использовании неоднократных поверхностных пропиток до 50 лет;

– при водопоглощении 8–12 % расчетный срок эксплуатации покрытий в благоприятных условиях до 15 лет, при использовании неоднократных поверхностных пропиток до 30 лет.

Предлагается реализовать следующий алгоритм принятия инженерных решений при работе с плиточными тротуарными покрытиями: на стадиях проектирования состава бетона, выбора материалов, технологии изготовления, разработки конструкции покрытия, технологии укладки, методов эксплуатации покрытий комплексно учитывать факторы, вызывающие появление дефектов и снижающие долговечность и надежность покрытий [2].

Предлагаемыми инновационными мерами и методами системы качества осуществлять профилактику и предупреждение возможных дефектов и несоответствий, восстанавливая ресурс изделий на каждой стадии, в том числе и для изделий, имеющих показатели ниже нормативных или не соответствующие условиям эксплуатации г. Хабаровска.

Библиографические ссылки

1. *Способ гидрофобизации поверхности дисперсных материалов.* Описание изобретения к патенту Российской Федерации № 2064463. Бюллетень № 21 / В. И. Судаков, Н. И. Ярмолинская, А. В. Судаков, А. С. Латкин – М., 1996.
2. *Судаков В. И.* Управление качеством строительной продукции. Книга 2. Методы. Теория. Практика. Хабаровск, 2005.