

УДК 625.84

**С. В. Алексиков, Д. И. Гофман, О. А. Брыткова, И. И. Глазунов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М6 «КАСПИЙ» ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА**

В статье описана технология строительства бетонного покрытия автомобильной дороги М6 «Каспий». На основании лабораторных исследований доказана эффективность применения химических добавок к бетону MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591. Обоснована экономическая целесообразность строительства бетонных покрытий на федеральной магистрали.

**Ключевые слова:** бетон, дорожное покрытие, автомобильная дорога, строительство, химические добавки MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591.

В Волгоградской области на участке км 903 + 500 — км 922 + 000 (19,4 км) автомобильной дороги «Каспий» выполняется реконструкция магистрали по параметрам ІВ технической категории. Согласно проекту, число полос движения увеличивается с двух до четырех, ширина земляного полотна — до 26,5 м, проезжей части — до 7,50 × 2,00 м (рис. 1). Работы выполняются компанией «СМУ-Дондорстрой».

Земляное полотно отсыпается из песка мелкого. Дорожная одежда состоит из следующих конструктивных слоев: геотекстиль, щебеночно-песчаная смесь (С-4) толщиной 25 см, верхний слой основания из «тощего» цементобетона — 18 см, пленки аэродромной ППА, покрытие из бетона тяжелого — 24 см (рис. 2).

Для устройства монолитного цементобетонного покрытия автомобильной дороги в соответствии с рабочей документацией принят тяжелый бетон БСТ В35 В<sub>тб</sub> 4,4 W10 F200 по ГОСТ 26633—2015\* [1]. Как показал опыт эксплуатации автомагистрали Москва — Волгоград, целесообразность строительства цементобетонного покрытия обусловлено его долговечностью (до 30—50 лет) в условиях интенсивного воздействия тяжелых транспортных и климатических нагрузок.

В составе тяжелого бетона БСТ В35 применен портландцемент марки М500 (ГОСТ 10178—85) без минеральных добавок на основе клинкера нормированного состава ПЦ-500-ДО-Н, поставляемый предприятием-изготовителем АО «Себряковцемент». Цемент имеет следующие характеристики: содержание Са<sub>3</sub>АІ (алюминат кальция) — 5,7 %; нормальная плотность цементного теста — 27,25 %; сроки схватывания (начало) — 170 мин; содержание щелочных оксидов в пересчете на Na<sub>2</sub>O — 0,6 % по массе.

В качестве мелкого заполнителя применен песок кварцевый природный нефракционный (ГОСТ 8736-2014), поставляемый предприятием-изготовителем (карьер) ООО «Челюскинское». Песок имеет следующие характеристики: модуль крупности М<sub>к</sub> — 2,3; истинная плотность — 2,61 кг/см<sup>3</sup>; насыпная плотность — 1577 кг/м<sup>3</sup>; содержание пылевидных и глинистых частиц — 0,4 %.

\* СТО НОСТРОЙ 2.25.41-2011. Устройство цементобетонных покрытий автомобильных дорог. М., 2011. 46 с.



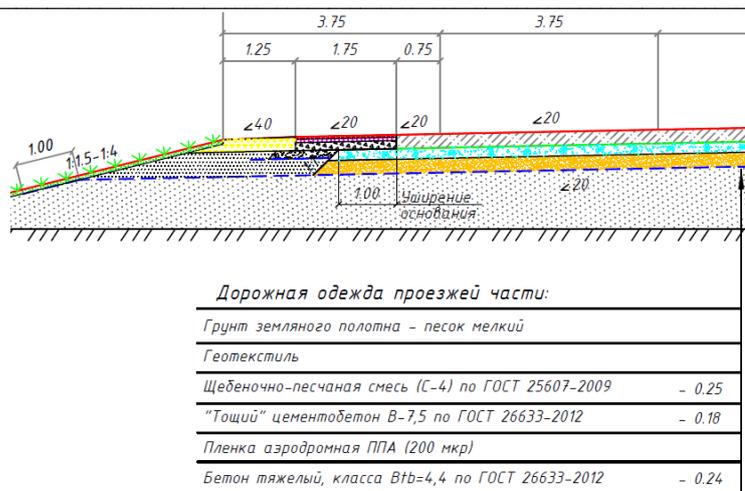


Рис. 2. Конструкция дорожной одежды км 903 + 500 — км 922 + 000

В качестве крупного заполнителя используется щебень фракции 5...10 мм и 10...20 мм (ГОСТ 8267-93), поставляемый предприятием-изготовителем АО «Павловск неруд». Щебень 5...10 мм имеет следующие характеристики: истинная плотность — 2,70 г/см<sup>3</sup>; насыпная плотность — 1355 кг/м<sup>3</sup>; марка по прочности — 1400; марка по морозостойкости — F 300; содержание пылевидных и глинистых частиц — 0,4 %. Щебень 10...20 мм характеризуется: истинной плотностью 2,67 г/см<sup>3</sup>; насыпной плотностью 1365 кг/м<sup>3</sup>; маркой по прочности 1400; маркой по морозостойкости F 300; содержанием пылевидных и глинистых частиц 0,4 %.

Бетонная смесь изготавливается в смесительной установке «Элкон-180» и перевозится на объект при средней дальности 11 км.

Для снижения расслоения бетонной смеси, увеличения воздухоудерживания, морозостойкости, водонепроницаемости и повышения прочности бетона принято решение применять химические добавки MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591 компании BASF [2—17]. Указанные добавки на основе водного раствора поверхностно-активных веществ (дозировка 0,2...2,0 % от массы цемента) в бетонах с высокой маркой образуют замкнутую систему пор (80 % пор имеет размер 100...300 мкм), позволяют получать бетоны высоких классов по морозостойкости и водонепроницаемости с плотностью 1040...1080 кг/м<sup>3</sup>, водородным показателем 5...8 pH, содержанием СИ-иона в массе не более 0,1 % [2—12].

Добавка MasterAir-125 — высоководоредуцирующая (суперпластифицирующая) добавка на основе эфира поликарбоксилата, снижает водопотребление, увеличивает подвижность, уменьшает количества воды затворения, снижает скорость тепловыделения при твердении бетонов, повышает прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость бетона. Добавка Master Glenium SKY 591 имеет мощное водоредуцирующее действие, позволяет улучшить качество поверхности бетона, снижает продолжительность и интенсивность вибрирования [1, 2, 5—17]. Лабораторные исследования показали, что применение химических добавок позволяет увеличить прочность бетона на сжатие и изгиб на 10...15 % (рис. 3, 4). Химические добавки хранятся на территории

строительного городка «СМУ-Дондорстрой», при температуре от +5 °С в закрытой емкости.

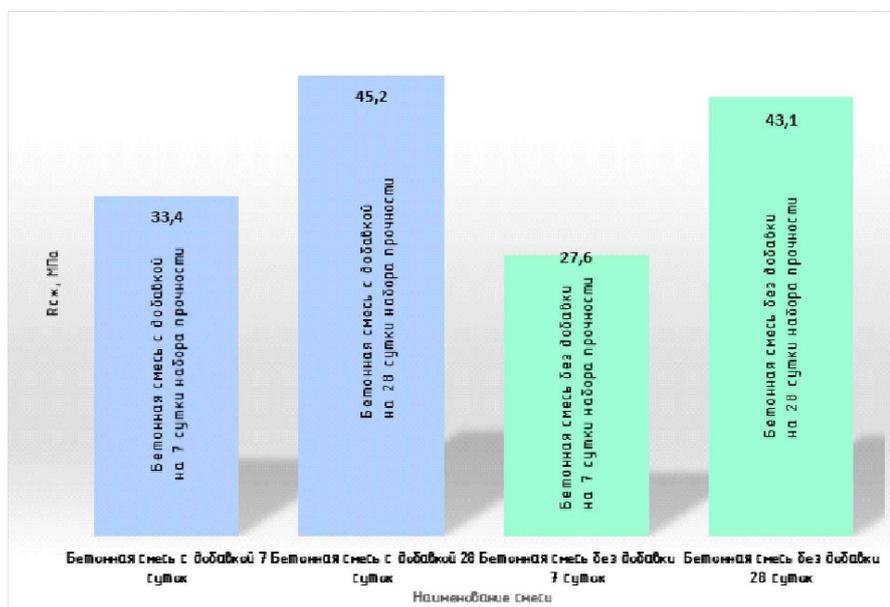


Рис. 3. Влияние добавок на прочность бетона на сжатие

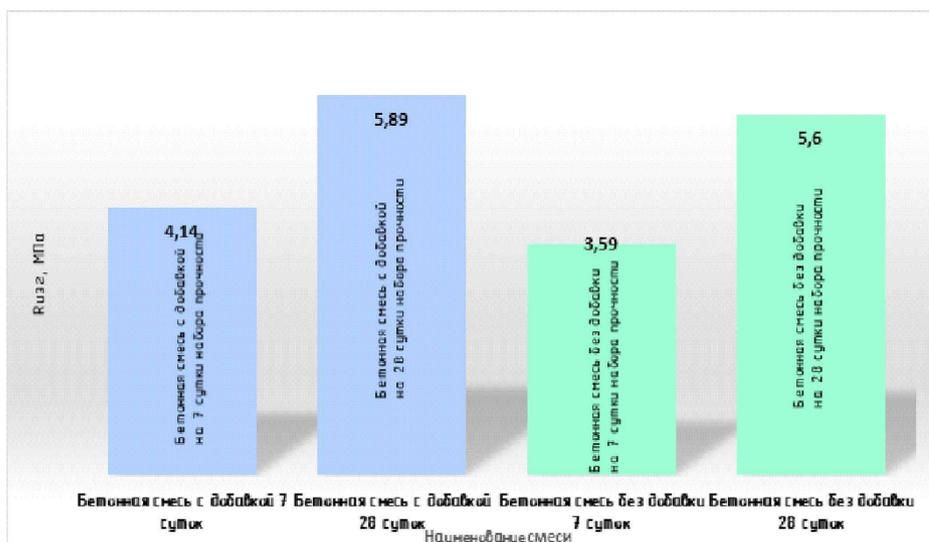


Рис. 4. Влияние добавок на прочность бетона при изгибе

В качестве материала для ухода за свежесделанным бетоном покрытия применяется пленкообразующий паронепроницаемый материал на основе водной дисперсии парафинов Master Kure 220 WB (ООО «BASF»), который обеспечивает создание сплошной пленки, обладающей достаточной влагозадерживающей способностью и сцеплением с бетоном в период 28 сут. Период формирования пленки при температуре воздуха +20 °С не превышает 5 ч,

пленка защищает бетон от высыхания: снижает образование усадочных трещин, повышает износостойкость, снижает проницаемость поверхностного слоя [6—11]. Дополнительный уход за бетоном не требуется.

Укладка бетонной смеси в покрытие выполняется в два этапа.

1-й этап — ширина укладки 4,5 м:

- смесь из смесительной установки Элкон-180 доставляется к месту укладки в кузовах автосамосвалов, накрытых влагонепроницаемым пологом, в течение 40 мин с момента выхода со смесительной установки;
- выгрузка смеси выполняется равными частями на основание из «тощего» бетона перед бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800;
- цементобетонную смесь укладывают и уплотняют на ширину 4,5 м бетоноукладчиком со скользящими формами GOMACO GHP-2800 (рис. 5);
- ручная отделка поверхности и боковых граней цементобетонного покрытия выполняется с передвижного мостика (заделка пор, раковин при помощи кельма-меча, гладилок канальных ГК-2, макловицы, терок) (рис. 6).



Рис. 5. Укладка смеси бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800



Рис. 6. Ручная отделка цементобетонного покрытия

На момент открытия движения строительной техники и транспорта по уложенному цементобетонному покрытию прочность бетона должна составлять не менее 70 % величины его требуемой прочности (СП 78.13330.2012). Последующие работы выполняются в следующей последовательности:

- после укладки бетонной смеси по одной полосе бетоноукладчик GOMACO GHP-2800 возвращается на начало полосы для начала укладки бетонной смеси. Производится уширение скользящей формы бетоноукладчика до 4,75 м;
- смесь из смесительной установки Элкон-180 доставляется к месту укладки в кузовах автосамосвалах, накрытых влагонепроницаемым пологом;
- выгружается смесь равными частями на основание из «тощего» бетона перед бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800;
- выполняется окончательная отделка и нанесение пленкообразующего материала Master Kure 220 WB на бетонное покрытие при помощи текстурировщика GOMACO T/C-600;
- цементобетонная смесь укладывается и уплотняется на ширину 6 м бетоноукладчиком со скользящими формами GOMACO GHP-2800;
- бетоноукладчик одной стороной идет по уложенной ранее 4,5-метровой полосе цементобетонного покрытия (прочность бетона не менее 70 % величины его требуемой прочности), другой стороной — по основанию из «тощего» бетона В-7,5;
- производится ручная отделка поверхности и боковых граней цементобетонного покрытия с передвижного мостика (заделка пор, раковин при помощи кельма-меча, гладилок канальных ГК-2, макловицы, терок);
- выполняется окончательная отделка и нанесение пленкообразующего материала на бетонное покрытие при помощи текстурировщика GOMACO T/C-600;
- в конце каждой захватки или при вынужденных длительных перерывах в укладке бетона устраиваются поперечные рабочие швы, которые совпадают со швом расширения или сжатия цементобетонного покрытия;
- при достижении бетоном прочности на сжатие в пределах 8,0...10,0 МПа нарезается продольный шов.

Уход за свежеложенным бетоном, нанесение шероховатости и пленкообразующего материала производят сразу после появления матовой поверхности (исчезновения влаги с покрытия) с помощью текстурировщика GOMACO T/C-600, который устанавливается по оси обрабатываемой полосы (ряда) и движется в автоматическом режиме (рис. 7).

Для ухода за бетоном применяют пленкообразующие материалы путем распыления равномерно на всю открытую поверхность плиты (включая и боковые грани). После завершения работ по уплотнению пленкообразующий материал Master Kure 220 WB на основе водной дисперсии наносится на поверхность равномерно, без пропусков, в два слоя, с нормой расхода 200 г/м<sup>2</sup> на один слой. Второй слой наносится после формирования пленки на первом слое.

Высота установки траверсы с форсунками для распределения пленкообразующего материала должна быть 50...60 см.



Рис. 7. Нанесение искусственной неровности на поверхность бетонного покрытия

Для защиты свежесушеного цементобетонного покрытия от солнечной радиации и атмосферных осадков устанавливают в процессе укладки специальные средства защиты (передвижные тенты), общей длиной не менее сменной захватки. При прекращении атмосферных осадков специальные средства защиты (передвижные тенты) снимают. Нанесенный на поверхность свежесушеного цементобетона пленкообразующий материал Master Kure 220 WB предотвращает испарение влаги при температуре окружающей среды выше  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Бетонное покрытие, по сравнению с асфальтобетонным, достаточно долговечно, исключает появление колеиности в жаркий летний период года. Расчетный срок службы цементобетонного покрытия в два раза выше, межремонтные сроки в 2...3 раза больше, чем у асфальтобетонного покрытия, эксплуатационные расходы, связанные с ремонтом и содержанием жестких дорожных одежд, ниже в 1,8...2,7 раза. Экономические расчеты показывают, что повышенные строительные затраты в дальнейшем, в течение 30—35 лет эксплуатации федеральных автомагистралей, компенсируются незначительными расходами на ремонт и содержание проезжей части, более высокой скоростью транспортного потока, пониженной себестоимостью перевозки грузов и пассажиров [18]. Суммарные дисконтированные затраты бетонных конструкций ниже традиционных асфальтобетонных на 2...13 %.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Многолетний опыт эксплуатации федеральной дорожной сети показывает, что при реконструкции автомагистралей России предпочтительно строительство цементобетонных покрытий. Это определяется постоянным ростом интенсивности движения (до 10...12 % в год) и осевых нагрузок, повышенной деформативностью (колеиностью) асфальтобетонных покрытий в жаркий период года, долговечностью цементобетонного покрытия (межремонтные сроки в два-три раза больше, чем у асфальтобетонного покрытия). Несмотря на более высокую строительную стоимость конструкций с жестким покрытием, наблюдается экономия эксплуатационных затрат на содержание и ремонт проезжей части. Суммарные дисконтированные затраты жесткой конструкции ниже традиционной асфальтобетонной на 2...13 %.

2. При строительстве бетонных покрытий эффективно применение пластификаторов MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591, которые снижают водопотребление, увеличивают подвижность, снижают скорость тепловыделения при твердении бетонов, повышают прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость бетона. Добавки позволяют улучшить качество поверхности бетона, сократить продолжительность и интенсивность вибрирования. Применение химических добавок увеличивает прочность бетона на сжатие и изгиб на 10...15 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Звездов А. И., Михайлов К. В., Волков Ю. С.* XXI век бетона и железобетона // Бетон и железобетон. 2001. № 1. С. 2—6.
2. *Батраков В. Г.* Модифицированные бетоны. М. : Стройиздат, 1990. 400 с.
3. *Толмачев С. Н., Беличенко Е. А.* Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожных бетонов и фибробетонов // Современные бетоны: наука и практика. 2017. № 1-2. С. 68—72.
4. *Красиникова Н. М., Морозов Н. М., Хохряков О. В., Хозин В. Г.* Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий // Изв. КГАСУ. 2014. № 2(28). С. 166—172.
5. Лигносulfонатные пластификаторы нового типа для бетонных смесей и бетонов различного назначения / Е. С. Шитиков, А. М. Кириллов, Л. А. Феднер, С. Н. Ефимов, А. Б. Самохвалов // Строительные материалы. 2002. № 6. С. 36—38.
6. Классификация пластифицирующих добавок по эффекту их действия / Ф. М. Иванов, В. Г. Батраков, В. М. Москвин и др. // Бетон и железобетон. 1981. № 4. С. 33—37.
7. *Tognon G., Ursella P., Coppetti G.* Design & Properties of Concrete With Strength ver 1500 kg/cm<sup>2</sup> // J. Amer. Concr. Inst. 1980. № 3. Pp. 171—178.
8. Novel organo-mineral phases obtained by interaction of maleic anhydride-allyl ether copolymers into layered calcium aluminum hydrates / J. Plank, H. Keller, P. Andres at al. // Inorganica Chimica Acta. 2006. No. 359.
9. Influence of PC superplasticizers on tricalcium silicate hydration / S. Pourchet, C. Comparet, L. Nicoleau at al. // Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 132—145.
10. *Swamy R. N.* Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow — London : Blackie and Son Ltd, 1992. Pp. 144—170.
11. *Talero R., Rahhal V.* Influence of “aluminic” pozzolans, quartz and gypsum additives on Portland cement hydration // Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 22—35.
12. *Winnefeld F.* Interaction of Polycarboxylate-based Superplasticizer and Cements: Influence of Polymer Structure and C3A-content of Cement, 2007.
13. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement / A. Zingg, L. Holzer at al. Montreal, 2007. Pp. 197—209.
14. *Syal S. K., Katazia S. S.* Development & Interaction of a Concrete Additive for Improved Performance & durability // Cement, Betons, Platres, chaux. 1981. No. 732. Pp. 287—291.
15. *Monosi S., Moriconi J., Pauri M., Colleparady M.* The influence of water/cement ratio on the absorbtion of superplastisizers, on the zeta-potential change and on the cement paste fluidity // Cemento. 1982. Vol. 79. No. 4. Pp. 355—362.
16. *Costa U., Massazza F., Berrila A.* Adsorption of superplaszizers on C3S; changes in zeta potential and reology of pastes // Cemento. 1982. Vol. 79. No. 4. Pp. 323—336.
17. *Иваницкая И. Н., Супота З. С.* Производство и применение химических добавок при изготовлении бетона и железобетона // Строительство. Обзорная инф. Сер. 41.5. Киев, 1986. С. 36.
18. *Алексиков С. В., Алексиков И. С., Карпушко М. О., Беликов Г. И.* Оценка эффективности строительства дорожных цементобетонных покрытий в условиях юга России // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 139—147.

© Алексиков С. В., Гофман Д. И., Брыткова О. А., Глазунов И. И., 2022

Поступила в редакцию  
в мае 2022 г.

*Ссылка для цитирования:*

*Алексиков С. В., Гофман Д. И., Брыткова О. А., Глазунов И. И.* Покрытие автомобильной дороги М6 «Каспий» из модифицированного бетона // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 69—77.

*Об авторах:*

**Алексиков Сергей Васильевич** — д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; AL34rus@mail.ru

**Гофман Дмитрий Иванович** — канд. техн. наук, старший преподаватель каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dima.0103@mail.ru

**Брыткова Оксана Аркадьевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Глазунов Илья Игоревич** — аспирант, инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; glazunov.i@list.ru

**Sergei V. Aleksikov, Dmitrii I. Gofman, Oksana A. Brytkova, Il'ya I. Glazunov**

**Volgograd State Technical University**

## MODIFIED CONCRETE PAVEMENT OF THE HIGHWAY M6 “CASPIY”

The article describes the technology of construction of the concrete pavement of the M6 “Caspian” highway. On the basis of laboratory studies, the effectiveness of the use of chemical additives to concrete MasterAir-125 and Master Glenium SKY 591 was proved. The economic feasibility of building concrete pavements on the federal highway was substantiated.

**Key words:** concrete, pavement, highway, construction, chemical additives MasterAir-125 and Master Glenium SKY 591.

*For citation:*

Aleksikov S. V., Gofman D. I., Brytkova O. A., Glazunov I. I. [Modified concrete pavement of the highway M6 “Caspian”]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 4, pp. 69—77.

*About authors:*

**Sergei V. Aleksikov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

**Dmitrii I. Gofman** — Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dima.0103@mail.ru

**Oksana A. Brytkova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Il'ya I. Glazunov** — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru