

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА**

УДК 691.327.620.193

**С.П. Горбунов**

*Доцент кафедры «Строительные материалы»  
ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,  
кандидат технических наук*

**Б.Я. Трофимов**

*Заведующий кафедрой «Строительные материалы»  
ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,  
доктор технических наук, профессор*

В работе рассматриваются результаты выявления причин ускоренного разрушения камней железобетонных бортовых производств ООО ПСО КПД и СК, используемых при организации дорожного полотна одной из улиц г. Челябинска.

Камни бетонные и железобетонные бортовые (далее по тексту – камни) в соответствии с общероссийским классификатором относятся к группе изделий "Дорожные материалы".

В соответствии с ГОСТ 25192 камни могут изготавливаться из тяжелого или мелкозернистого бетона, отвечающего требованиям ГОСТ 26633.

В соответствии с ГОСТ 6665 камни должны изготавливаться в климатическом исполнении УХЛ по ГОСТ 15150 (для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом).

Анализ причин ускоренного разрушения проводился в два этапа. На первом этапе осуществлялось сравнение фактических показателей производства камней на ООО ПСО КПД и СК с требованиями действующей нормативной документации. На втором этапе параллельно с этим проводились лабораторные исследования фактических параметров качества бетона камней, эксплуатирующихся в условиях воздействия климатических факторов г. Челябинска.

**Анализ качества материалов, используемых  
для производства камней**

Технические требования к изделиям и материалам, используемым при производстве камней бетонных бортовых регламентируются ГОСТ 6665.

В основу анализа положены данные по изделиям, представленные заводом-производителем, а также данные статистического анализа оценки результатов контроля качества при производстве и приемке камней, выпускаемых на предприятии в период с сентября 1999 по апрель 2000 года.

### Качество вяжущего

В соответствии с п.1.3.9 ГОСТ 6665 для изготовления бетонной смеси использовался портландцемент ЗАО «Уралцемент» ПЦ 500–Д0, минералогический состав клинкера которого соответствовал следующим данным (вес %):  $C_2S=67$ ;  $C_3S=13$ ;  $C_3A=6$ ;  $C_4AF=14$ , что в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 10178.

Доля оксида магния в составе клинкера в паспортах предприятия не указывается. По данным испытаний лаборатории ЗАО «Уралцемент» содержание оксида магния в клинкере не превышает 1,98%.

В соответствии с п.1.5.3 ГОСТ 26633 для производства сборных конструкций, подвергаемых тепловой обработке, следует применять цементы I и II групп эффективности при пропаривании. Использованный цемент относится к I группе.

Таким образом, используемый ООО ПСО КПД и СК цемент для производства камней удовлетворяет требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 6665 и ГОСТ 26633 и может быть использован в качестве вяжущего при производстве камней бетонных и железобетонных бортовых.

#### *Мелкий заполнитель*

В соответствии с п.1.3.10 ГОСТ 6665 для приготовления бетонной смеси в качестве мелкого заполнителя следует применять природные обогащенные и фракционированные, а также дробленые обогащенные пески по ГОСТ 8736, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633.

Приложение 3 (обязательное) ГОСТ 26633 предъявляет дополнительные требования к заполнителям для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и оснований только для песков из отсевов дробления и обогащенных песков из отсевов дробления.

По данным анализа результатов испытаний песков в лаборатории ООО ПСО КПД и СК для изготовления бетонной смеси использовался песок строительный ЗАО "Береговое", нормативные показатели качества которого приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Нормативные показатели качества кварцевого песка

Нормативный показатель	Интервал изменения показателя за анализируемый период
Группа песка	средний
Модуль крупности песка	2,18-2,30
Содержание пылеватых, илистых и глинистых частиц, %	1,4-3,1
Проход через сито с размером ячейки 0,16 мм, %	2,3-4,7
Глина в комках, %	следы

ГОСТ 26633 (п.1.5.12) допускает для бетонов класса по прочности В 30 или В<sub>тб</sub> 4.0 включительно использование песка с модулем крупности 1,0-1,5 и с содержанием зерен менее 0,15 мм до 20% по массе и пылевидных и глинистых частиц не более 3% по массе.

Для оптимального состава тяжелого бетона ГОСТ 6665 рекомендует применять пески с модулем крупности не менее 2,0.

Таким образом, используемый ООО ПСО КПД и СК песок соответствует требованиям указанных выше стандартов.

### ***Крупный заполнитель***

В соответствии с п.1.3.10 ГОСТ 6665 для приготовления бетонной смеси в качестве крупного заполнителя следует применять щебень из естественного камня, гравия и доменного шлака по ГОСТ 8267. ГОСТ 10260. ГОСТ 3344, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 26633.

Марка щебня по прочности на сжатие должна быть не ниже 1000, по морозостойкости – не ниже F 200.

Наибольший размер зерен крупного заполнителя – 20 мм.

По данным анализа результатов испытаний лаборатории ООО ПСО КПД и СК для изготовления бетонной смеси использовался щебень Новосмолинского карьера по ГОСТ 8267 из изверженных интрузивных горных пород гранитного комплекса со следующими показателями качества:

- содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,45-0,96%;
- глина в комках – отсутствует;
- содержание зерен лещадной формы – 18,7-25,2%;
- марка щебня по дробимости – 1400;
- содержание зерен слабых пород в щебне – 0,8-1,0%.

Данные по морозостойкости щебня в письме отсутствовали, что явилось причиной проведения оценки марки щебня по морозостойкости укоренным методом в соответствии с ГОСТ 269.0.

Проведенные исследования показали, что потери массы фракций 10-20 и 5-10 после 15 циклов попеременного увлажнения в насыщенном растворе сульфата натрия и высушивания при температуре 100°С составили соответственно 0,9 и 1,8%.

Результаты испытаний позволяют утверждать, что по морозостойкости щебень Новосмолинского карьера имеет марку не ниже F 300 и может быть использован по этому показателю в бетонах любой нормируемой морозостойкости.

Таким образом, проведенный анализ материалов позволяет сделать заключение о полном их соответствии требованиям нормативной документации и возможности их использования для бетонов любой нормируемой прочности и морозостойкости.

### Анализ состава бетонной смеси и технологии готовой продукции

Механические свойства бетона камней и конструктивные параметры изделий определяются следующими значениями:

- класс бетона по прочности на сжатие В30;
- нормируемая отпускная прочность тяжелого бетона 70% от класса бетона по прочности на сжатие и класса бетона по прочности на растяжение при изгибе (в теплый период года);
- класс бетона по прочности на растяжение при изгибе  $B_{тб}$  4.0;
- толщина защитного слоя бетона – 10 мм.
- армирование изделий осуществлялось катанкой из углеродистой стали обыкновенного качества диаметром 6 и 8 мм класса А1 по ГОСТ 30136.

По данным лаборатории ООО ПСО КПД и СК, для изготовления камней была использована бетонная смесь следующего состава, кг/м<sup>3</sup>: цемент – 570; песок – 500; щебень смеси фракций 5-20 мм – 1240; вода 220; добавки ЛСТ и СВН 0,16 и 0,01% от массы вяжущего соответственно.

Указанный состав был подобран лабораторией ООО ПСО КПД и СК в соответствии с требованиями ГОСТ 27006, откорректирован по удобоукладываемости (марка П2 с ОК=5-6 см), прочности и морозостойкости (марка по морозостойкости F 200 для бетонов дорожных и аэродромных покрытий).

Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси находился в пределах 4,5-5,1%, что соответствует требованиям п.1.3.8 ГОСТ 6665 и табл.1 ГОСТ 26633.

Водопоглощение бетона находилось в интервале значений 4,3-5,0%, что не превышает максимально допустимое значение (п.1.3.5 ГОСТ 6665).

Расход цемента в бетонной смеси (табл. 3 ГОСТ 26633) превышает минимально допустимый для конструкций, армированных ненапрягаемой арматурой при атмосферном воздействии на них, что в достаточной мере обеспечивает сохранность арматуры.

Водоцементное отношение удовлетворяет требованиям ГОСТ 6665.

В соответствии с требованиями СНиП 3.09.01-85 на предприятии осуществляется весовое дозирование сыпучих материалов, воды затворения и водных растворов химических добавок. Дозаторное оборудование проходит своевременную поверку.

Для изготовления бетонной смеси используется смеситель принудительного действия СБ–138; необходимость использования смесителей принудительного действия определяется требованиями п.4.10 СНиП 3.09.01-85.

Анализ оценки статистической однородности бетонной смеси при приемке бетона по прочности проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 18105 с определением коэффициента вариации бетона по прочности и назначении среднего уровня прочности.

Все вышесказанное позволяет предположить необходимую стабильность производства камней с требуемыми показателями качества.

Некоторыми из решающих факторов для обеспечения требуемой марки по морозостойкости тяжелого бетона являются правильный выбор и неукоснительное соблюдение параметров тепловлажностной обработки. При этом следует руководствоваться требованиями ГОСТ 6665, СНиП 3.09.01-85 и Пособиями по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85).

Режимы тепловой обработки изделий из бетонов повышенной морозостойкости должны быть мягкими и включающими:

- предварительное выдерживание не менее 3 часов;
- подъем температуры среды со скоростью не более  $15^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;
- скорость выбирается минимально допустимой из рекомендуемых:
  - таблица 4 СНиП 3.09.01-85 –  $15^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;
  - п.1.3.17 ГОСТ 6665 –  $25^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;
  - п.3.50 Пособия по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85) –  $20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ ;
- температура изотермической выдержки должна быть не выше  $70^{\circ}\text{C}$  (п.1.3.17 ГОСТ 6665);
- длительность изотермической выдержки должна назначаться в зависимости от эффективности цемента при пропаривании при условии обеспечения требуемых значений отпускной и марочной прочности бетона;
- скорость остывания среды в камере в период снижения температуры изделий не должна превышать  $20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ .

Режим тепловой обработки, используемый на предприятии при производстве камней ( $3+3+10 (70^{\circ}\text{C})+3$ ) отвечает изложенным выше требованиям. Данных по фактическим значениям параметров тепловой обработки представлено не было, однако, учитывая данные по отпускной и марочной прочности бетона с учетом ее статистической изменчивости (фактическая отпускная прочность бетона в анализируемый период изготовления камней была не менее 28,0 МПа при коэффициенте вариации  $K_v = 6,3 - 11,2$  и среднем уровне прочности 23,6-27,0), можно предположить, что параметры тепловлажностной обработки выдерживались на требуемом уровне.

Фактическая прочность бетона на сжатие в марочном возрасте была не менее 35,0 МПа при коэффициенте вариации  $K_v = 5,6 - 7,4\%$  и среднем уровне прочности 33,7-34,3 МПа.

Таким образом, используемые материалы, состав бетонной смеси и параметры технологического процесса изготовления камней бетонных и железобетонных бортовых позволяют изготавливать готовую продукцию в полном соответствии с требованиями ГОСТ 6665 при обязательном гарантировании стабильности технологического процесса.

Что же послужило причиной ускоренного разрушения бортовых камней в условиях эксплуатации в столь короткий промежуток времени?

### **Результаты натуральных обследований изделий и лабораторных испытаний**

В апреле 2000 г. сотрудниками кафедры "Строительные материалы" Южно-Уральского государственного университета в присутствии представителей ООО ПСО КПД и Дорстроя были проведены натурные обследования камней бетонных и железобетонных бортовых по пр. Победы с целью определения степени дефектности камней железобетонных, характера повреждений и отбор проб бетона для дальнейших лабораторных исследований фактических показателей качества изделий.

Анализ проводился на длине 3000 м ограждения дорожного полотна. Рассматривались и зоны остановок общественного транспорта, внутриворовые заезды. Было отмечено, что:

1. Бетон железобетонных камней на 25-30% длины ограждения дорожного полотна разрушен на 40-70%. Характер разрушения дает основание предполагать воздействие на бетон агрессивных факторов, включающих химическую и морозную коррозии в процессе эксплуатации.

2. Максимальную степень разрушения имеют камни, на которые в процессе эксплуатации воздействовали дополнительные внешние силовые факторы (наезд автомобильного транспорта, пешеходные переходы у остановок общественного фактора, воздействие рабочих органов дорожных уборочных машин и т.п.).

Характер разрушения бетона позволяет выделить два типа коррозионных процессов:

1. Поверхностное шелушение бетона с постепенным отслаиванием чешуек цементного камня и обнажением заполнителя характерно для морозной агрессии водонасыщенного бетона с высокой маркой по морозостойкости.

2. Полное разрушение бетона по всему объему камня с потерей сплошности изделия. Такой характер разрушения бетона вне зависимости от его марки по морозостойкости в практике наблюдался для изделий, длительное время находившихся в водных растворах хлорида натрия низких концентраций при температуре среды минус 4-6°C.

При эксплуатации дорожного покрытия в зимний период 1999-2000 гг. для предотвращения гололеда широко использовалась пес-

косолевая смесь. Жидко-снеговая масса во время расчистки проезжей части перемещалась в сторону бортовых камней, которые постепенно погружались и вмораживались в нее. В растворах хлорида натрия при длительном вмораживании происходит интенсивное разрушение бетона, что описано в публикациях [1-4].

Постоянное замораживание бетона в растворах хлорида натрия низкой концентрации приводит к быстрому разрушению бетона без циклического воздействия переходящей через  $0^{\circ}\text{C}$  температуры, особенно, если температура среды не ниже эвтектической температуры замерзания водного раствора хлорида натрия (минус  $21,3^{\circ}\text{C}$ ). В этом случае в системе постоянно имеется жидкая фаза, представленная водным раствором хлорида натрия переменной концентрации. Ускоренное разрушение бетона при высоких отрицательных температурах (минус  $4-10^{\circ}\text{C}$ ) объясняется тем, что за счет миграции влаги увеличивается степень насыщения бетона жидкой фазой. Кроме того, в этом случае могут возникать коррозионные процессы, обусловленные обменными реакциями концентрированного солевого раствора с цементным камнем. Возможен также осмотический перенос растворителя в поровое пространство бетона, в котором концентрация солевого раствора повышается вследствие химического и адсорбционного связывания воды. В этих условиях эксплуатации наиболее опасны температуры среды выше эвтектической. Колебания температуры способствуют разрушению бетона. Проведенные дополнительно лабораторные исследования подтвердили предположение о причинах ускоренного разрушения бетона.

На рис.1 показан характер разрушения бетонного образца, изготовленного из бетонной смеси с маркой по морозостойкости F 200, испытываемого в условиях постоянного контакта бетона с 5%-ным водным раствором хлорида натрия при температуре минус  $4-6^{\circ}\text{C}$ .

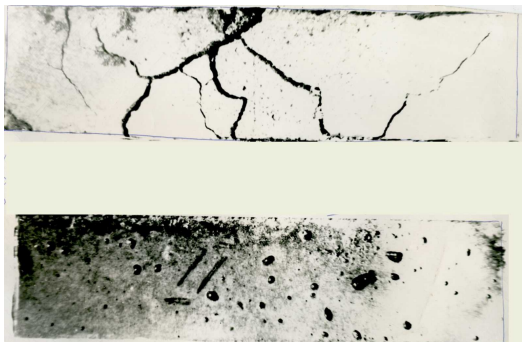


Рис. 1. Структура поверхности испытываемого и контрольного образцов мелкозернистого бетона состава 1:2,5, содержащего 0,05% от массы вяжущего добавки СНВ. Срок испытания – 10 суток

Возможность подобного разрушения не предусматривается стандартными испытаниями бетона на морозостойкость, тем более ускоренными испытаниями дорожного бетона на морозостойкость при температуре замораживания минус 50°C. Быстрый переход через эвтектическую температуру не приводит к возникновению циклических напряжений при эксплуатации бортовых камней при высоких отрицательных температурах.

Следует отметить, что как и сотрудниками кафедры "Строительные материалы", так и членами комиссии, действующей на основании протокола совещания координационного Совета по развитию улично-дорожной сети, отмечены совпадающие участки максимального разрушения, обрабатываемые пескосолевой смесью в первую очередь: спуски, подъемы, перекрестки, места остановок общественного транспорта, пешеходные переходы. Это совпадение позволяет однозначно предположить в качестве основной причины разрушения наличие в антиобледенительных составах хлорида натрия.

Аналогичные изделия, не подвергаемые в процессе эксплуатации воздействию водных растворов хлорида натрия, находятся в удовлетворительном состоянии.

Таким образом в бетонах, находящихся в постоянном контакте с соленоснеговой смесью при низкой концентрации хлорида натрия, усталостные явления наблюдаются не только при воздействии знакопеременных температур, но в большей степени при колебаниях температур в пределах минус 3-10°C, что было характерно для мягкой зимы 1999-2000 г. в г. Челябинске. Средняя температура воздуха на высоте 10 м от поверхности земли в период зимы 1999-2000 гг. составила, по данным Гидрометцентра, минус 9,3°C.

Бордюрные камни по пр. Победы – не единственные проблемные места г. Челябинска. Практика проводимых обследований элементов дорожного полотна и транспортного строительства показывает, что ускоренное разрушение бетона проезжей части дорог и мостов наблюдается всегда, когда в осенне-зимний период происходит обработка пескосолевой смесью. Из объектов в г. Челябинске можно отметить:

- элементы ограждения проезжей части моста через р. Миасс около Торгового центра (проведена реконструкция бетона элементов ограждения с дополнительной защитой красочными составами, что привело к исключению коррозионных процессов бетона);
- элементы ограждения проезжей части виадука (транспортная развязка у железнодорожного вокзала – 100% разрушения на момент проведения обследования).

Первичной защиты бетона при таких жестких условиях эксплуатации хватает на 2-3 года, а первые признаки разрушения появляются через сезон.



Прочность бетона в процессе обследования контролировалась неразрушающим методом по ГОСТ 22690 с использованием прибора ИПС-МГ4 (диапазон измерений 10-50 МПа), в работе которого косвенной характеристикой прочности бетона является параметр ударного импульса. В соответствии с табл. 1 ГОСТ 22690 метод ударного импульса можно использовать при предельном значении прочности бетона в интервале 10-70 МПа.

Прочность бетона контролировалась выборочно в четырех точках (четная и нечетная стороны проспекта Победы напротив домов №292 и 298). Прочность бетона неразрушенных изделий и неразрушенной части дефектных изделий находится в пределах 42-46 МПа.

Практически отсутствует разрушение бетона в местах уширения проезжей части для стоянок и остановок автотранспорта, в местах развилки дорог у въездов к жилым домам, то есть, в местах, которые в процессе эксплуатации дорожного полотна не обрабатывались препаратами-антиобледенителями.

Толщину защитного слоя бетона определяли путем механического обнажения арматуры. В среднем эта величина находилась в пределах 9-12 мм, что соответствует схеме армирования камней БУ 300.30.32, БУ 300.30.29. Лабораторный анализ степени карбонизации бетона с поверхности камней показал, что защитные свойства по отношению к арматуре потеряны по толщине 0,8-1,4 мм. Водная вытяжка из бетона, отобранного из центра камня, имеет значение рН, равное 12,03. Это говорит о том, что бетон камней в массе своей имеет достаточное количество щелочи, пассивирующей арматурную сталь. Только в местах примыкания соединительных хомутов арматурного каркаса к поверхности бетона отмечается коррозия арматуры с выносом продуктов коррозии в виде пятен коричневого цвета на поверхность бетона.

Первоначальный состав бетона определялся на представительной пробе бетона 12 кг, отобранной при вскрытии разрушенного изделия на всю его толщину. В основу метода определения состава бетона положены Методические рекомендации [7] (ситовой метод определения содержания цемента по разности между массой исследуемой пробы и массой заполнителя).

Используемый метод оценки состава бетона обеспечивает относительную точность в пределах 5-10%. Результат оценки показал следующее:

- плотность бетона находится в пределах 2,35-2,28 кг/л;
- количество гидратной влаги в бетоне 4,0-4,5% от массы навески;
- количество крупного заполнителя 49,5-53,4% от массы навески;
- количество мелкого заполнителя 20,9-22,1% от массы навески;
- количество вяжущего 25,4-28,1% от массы навески.

С учетом плотности бетона первоначальный состав бетона ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) может быть охарактеризован как ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ):

- вяжущее – 584-621;
- мелкий заполнитель – 462-490;
- крупный заполнитель – 1075-1180.

С учетом погрешности методики определения, а также наличия в песке частиц менее 0,15 мм (которые по методике могли быть включены в долю вяжущего в бетоне) можно констатировать, что анализируемый первоначальный состав бетона разрушенной части камней аналогичен производственному составу, который используется для изготовления камней бетонных и железобетонных бортовых на ООО ПСО КПД и СК.

Водопоглощение проб неразрушенной части бетона камней находится в пределах 4,8-5,3% (что практически соответствует требованиям ГОСТ 6665), разрушенного бетона 8,7-10,2%.

Химический анализ проб, отобранных из середины разрушенных камней, показал следующее содержание ионов, масс. %:

$$\text{Cl}^- = 818-869 \text{ мг};$$

$$\text{NH}_4^+ = 20-21 \text{ мг};$$

$$\text{NO}_2^- = 10-14 \text{ мг}.$$

Полученные результаты позволяют сделать предположительную оценку агрессивности жидкой фазы, воздействующей на бетон в процессе его эксплуатации. Если учесть, что степень водонасыщения бетона в процессе его эксплуатации составляла 100%, то количество влаги в 1 литре бетона составляло 48-53 мл.

Известно, что поровая структура бетона представлена, в основном, порами цементного камня (пористостью используемых заполнителей можно пренебречь).

Таким образом, накопление солей в бетоне в процессе его эксплуатации происходит именно в цементном камне. С учетом этого абсолютное содержание ионов в 1 литре бетона может быть оценено, как:

$$\text{Cl}^- = 13,1 - 15,4 \text{ г/л}; \text{NH}_4^+ = 0,38 - 0,43 \text{ г/л}; \text{NO}_2^- = 0,19 - 0,21 \text{ г/л}.$$

Указанные значения следует оценивать как минимальные, поскольку в анализе принимается полное водонасыщение бетона.

В соответствии с таблицей 5 СНиП 2.03.11-85 степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на бетон особо низкой проницаемости как по содержанию аммонийных солей, так и по суммарному содержанию хлоридов и нитритов может быть квалифицирована как неагрессивная.

Накопление солей в бетоне происходило, по-видимому, в зимний период времени, когда дорожное покрытие обрабатывалось специальны-

ми составами, содержащими песчаную каменную фракцию и соли: хлориды, нитраты и аммония для удаления наледи с поверхности. Таким образом в бетонах, находящихся в постоянном контакте с солеснеговой смесью при низкой концентрации солей, усталостные явления наблюдаются не только при воздействии знакопеременных температур, но в большей степени при колебаниях температур в пределах минус 3-10°C [5, 6], что было характерно для мягкой зимы 1999-2000 г. в г. Челябинске.

### РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для Уральского региона, а особенно для транспортных сооружений, дорожных бетонных покрытий и элементов обрабатываемых в процессе эксплуатации антиобледенительными составами следует разработать территориальные нормы к бетонам в плане их долговечности. На примере МКАД следует осуществлять постановку на производство элементов дорожного полотна с маркой по морозостойкости не менее F 300 для бетонов дорожных и аэродромных покрытий (водопоглощение бетона не более 3,5-4,0%).

2. При невозможности выполнения рекомендаций по обеспечению требуемой морозостойкости бетона следует предусматривать при производстве бетонных и железобетонных элементов вторичную защиту (пропиточные составы и т.п.), предотвращающую водонасыщение бетона при непосредственном контакте с жидкими средами, указывая в заказах на производство необходимость их использования.

3. В процессе эксплуатации следует предусматривать полное удаление снежного покрова с бетонных изделий для предотвращения их постоянного контакта с солеснеговыми смесями.

4. В местах, где на камни бетонные и железобетонные бортовые в процессе эксплуатации дорожного полотна возможно интенсивное механическое воздействие, в проекте работ следует предусматривать установку изделий из природного камня.

### Библиографический список

- 1 Конин В.П., Гладков В.С. Стойкость бетонов при вмораживании в растворы солей./ Вопросы долговечности бетона транспортных сооружений. – М.: ВНИИ транспортного строительства, 1979. – С.125-134.
- 2 Москвин В.М., Подвальный А.И., Садыков М.С. Разрушение бетона, замораживаемого в растворах солей / Коррозия бетона в агрессивных средах. – М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1971. – С.87-97.
- 3 Долговечность железобетона в агрессивных средах. /С.Н.Алексеев, Ф.М.Иванов и др. – М.: Стройиздат, 1990. – С.41-42.

- 4 Добшиц Л.М., Портнов И.Г., Соломатов В.И. Морозостойкость бетона транспортных сооружений: Учебное пособие. – М.: МИИТ, 1999. – С.11.
- 5 Инструкция по применению химических реагентов для предупреждения и удаления гололедных образований на аэродромных покрытиях. – М.: ВНИИГА, 1990. – 32 с.
- 6 Крамар Л.Я., Королев А.С., Трофимов Б.Я. Долговечность цементно-бетонных дорожных покрытий при применении антигололедных реагентов. /Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб. науч. тр. / МАДИ (ГТУ); УФ МАДИ (ГТУ). – М., 2001. – С.53-55.
- 7 Методические рекомендации по определению первоначального состава бетона". – М.: НИИЖБ Госстроя СССР. 1983. – 18 с.