

УДК 625.76:678.7+536.4

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНОГО И АЭРОДРОМНОГО ПОКРЫТИЙ

Канд. техн. наук **Ф.К. Горбунов**

(Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН),

инженер **Ю.Н. Шевцов**
(ООО НПП «Новасиб»),

канд. техн. наук **Л.К. Берникова**

(Институт химии твердого и тела и механохими СО РАН)

Конт. информация: f1123723@yandex.ru;
shewtsow@yandex.ru

Статья касается результатов исследования термодинамических характеристик универсальной заливки дорожной (УЗД) с целью применения при ремонте улично-дорожной сети.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное покрытие, климатические воздействия, композиционный материал.

Понятие «дорога» приводится в статье 2 Федерального закона от 10 декабря 1995 №196-ФЗ «О безопасности дорожного движения»: *дорога – это обустроенная или приспособленная и используемая для движения транспортных средств полоса земли либо поверхность искусственного сооружения [1].* Для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог применяют разнообразные природные и искусственные материалы: песок, щебень, бетон, асфальтобетон и др.

В процессе эксплуатации дорожные покрытия подвергаются различным деформациям. Износ дорог происходит из-за внешних и внутренних воздействий на асфальтобетонные покрытия. Дефекты покрытия развиваются от влияния внешних факторов, включающих: силовые нагрузки от транспортных нагрузок, агрессивные природные факторы (осадки в виде дождя и снега, температурные изменения, оттаивание/замораживание).

Внутренние факторы, связанные с разрушением асфальтобетонного покрытия, возникают вследствие изначального невысокого качества материалов, устаревшей технологии асфальтирования, нарушения технологий и правил проведения работ при строительстве дорог. Распространенной технологической ошибкой является недостаточное

уплотнение дорожного полотна, из-за чего со временем образуются неровности, деформации, шелушение, выкрашивание, трещины, сколы, выбоины, ямы [2].

Ежегодно локальный текущий ремонт покрытия требуется примерно для 3% общей площади дороги. Если повреждения и дефекты дорожного покрытия достигают 12-15%, то ремонту подлежит, как правило, 100% этой площади.

Систематическое «лечение» дорожного покрытия осуществляют разными методами, средствами и материалами, что в совокупности определяет качество, срок службы и стоимость, т.е. эффективность ремонтных работ, главная цель которых – обеспечить на дороге безопасное движение автотранспорта с разрешенной Правилами дорожного движения скоростью [2].

Ранее в статье [3] была исследована возможность импортозамещения материала для фиксации весовых датчиков Kistler на композиционный материал на основе сырья российского производства. В продолжение исследований была разработана универсальная заливка дорожная (УЗД) для выполнения ремонта дорожных покрытий, ее эксплуатационные характеристики описаны в статье [4].

Универсальную заливку дорожную изготавливали на основе гелькоата, порошковых красителей и наполнителей.

Процесс изготовления УЗД условно можно условно разделить на три этапа:

- 1) смешивание исходных компонентов;
- 2) добавление к смеси порошковых наполнителей;
- 3) нанесение готовой композиции на дорожное покрытие или другую поверхность.

В зависимости от квалификации рабочих, природных условий, температуры исходных компонентов или иных факторов, этапы получения УЗД могут варьироваться от нескольких минут до нескольких часов. Вследствие этого первостепенной задачей работы, рассматриваемой в данной статье, стало определение максимального периода времени на выполнение каждого этапа изготовления УЗД.

Так как одним из направлений применения УЗД является нанесение ремонтного состава на дорожное покрытие, а, следовательно, УЗД будет подвержена различным климатическим воздействиям, то была также поставлена задача определения интенсивности изменения температуры в объеме образца УЗД при различных температурных воздействиях.

Для определения теплоты, выделившейся в результате реакции, и времени отверждения смеси на основе УЗД провели измерение темпера-

туры полимерной композиции с наполнителем и без. На основании температурного режима отверждения полимерных композиций построен график зависимости температуры реакции от времени (**рис. 1**).

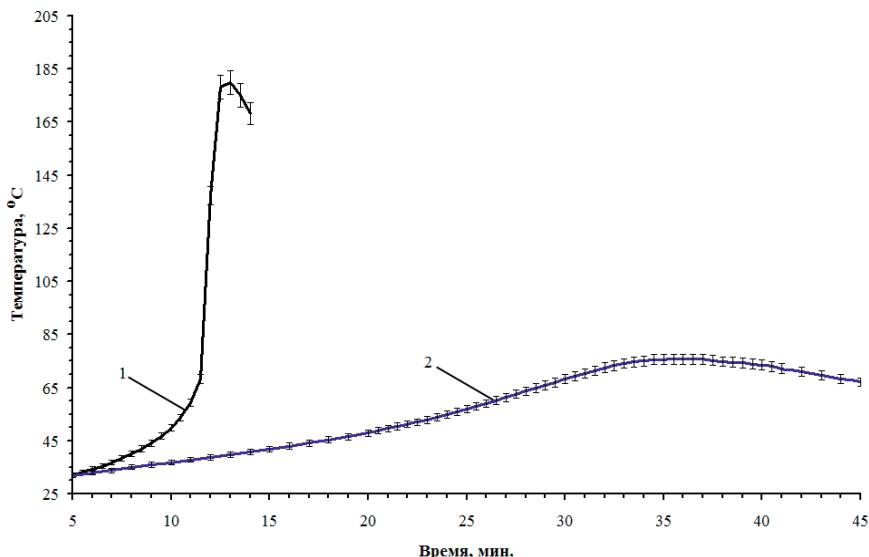


Рис. 1. Температура реакции отверждения УЗД:
1 – без наполнителя; 2 – с наполнителем

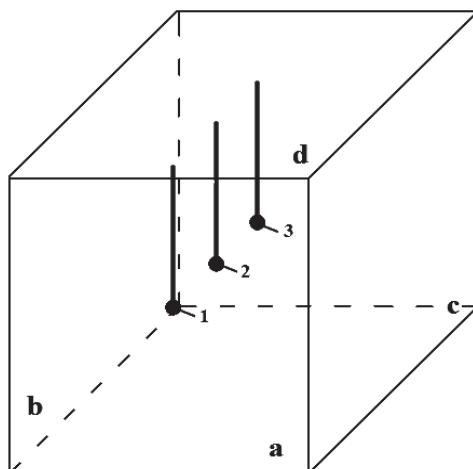
Из данных **рис. 1** (кривая 1) видно, что в течение первых 10 мин. смесь разогревается плавно со скоростью 4 град./мин., а далее температура смеси поднимается лавинообразно до скорости 110 град./мин. и уже через минуту достигает 180 °C. Столь высокая температура смеси приводит к деструкции полимерного материала гелькоат и, как следствие, к ухудшению его эксплуатационных свойств.

Введение в полимерную композицию наполнителя в определенном соотношении приводит к плавному разогреву смеси (**рис. 1, кривая 2**) и соответствует 1 град./мин. При этом температура УЗД не поднимается выше 80 °C, поэтому не происходит термодеструкции смеси. Данный эффект связан с высокой теплоемкостью наполнителя, благодаря чему энергия, выделившаяся в результате реакции, идет на его разогрев.

Таким образом, время от начала первого этапа (смешивание исходных компонентов) и до второго этапа (добавление к смеси порошковых наполнителей) изготовления УЗД не должно превышать 10 мин., в противном случае произойдет закипание смеси. А время между вторым

и третьим этапом (нанесение готовой композиции на дорожное покрытие или другую поверхность) изготовления УЗД должно соответствовать 25-30 мин. от начала смешивания компонентов, в противном случае произойдет отверждение смеси до ее нанесения.

Так как УЗД предназначена для нанесения на дорожное покрытие, следовательно, она будет подвергаться различным климатическим воздействиям. Были установлены температурные изменения в объеме образца УЗД при различных температурах. Для данных исследований были изготовлены опытные образцы (вес 220 г) в виде кубиков (50x50x50 мм). Любое изменение температуры окружающей среды не приводит к мгновенному изменению температуры во всем объеме материала. В связи с этим в образец были вмонтированы три термодатчика со следующей схемой расположения (**рис. 2**): расстояние от боковой стенки «*a*» для термодатчика №1 – 2,5 мм; для термодатчика №2 – 12,5 мм; для термодатчика №3 – 25,0 мм. Расстояние от боковых стенок «*b*» и «*c*» и от верхней стенки «*d*» для всех термодатчиков – 25 мм.



*Рис. 2. Схема расположения термодатчиков в образце УЗД:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3*

Используя подобные датчики, можно определять не только теплоемкость, но и исследовать изменение температуры в процессе синтеза материала УЗД непосредственно в форме. Результаты данного исследования изменения температуры представлены на **рис. 3**.

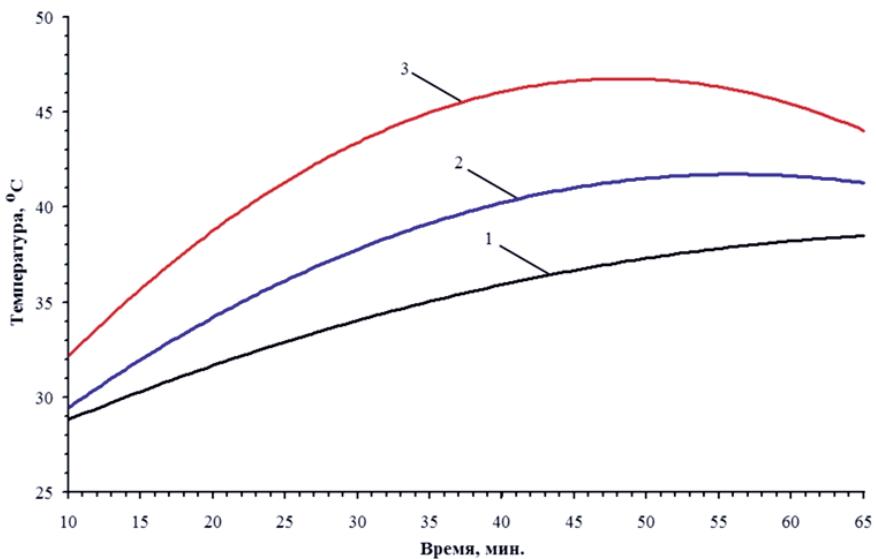


Рис. 3. Зависимость температуры образца от времени реакции:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3

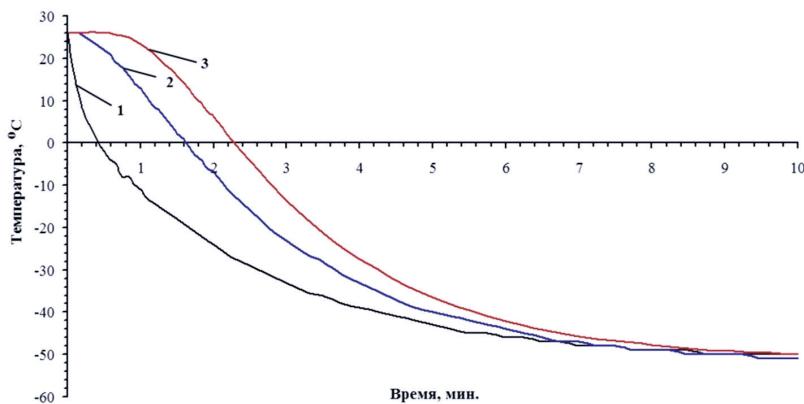
Из рис. 3 видно, что в ходе реакции разогрев контрольного образца происходит внутри, а затем наблюдается увеличение температуры на периферии образца. При этом максимальная температура внутри образца на основе УЗД составила 46,8 °С, а разница температуры между показаниями термодатчиков №1 и №3 – практически 21%.

Зимой эксплуатация дорог в отдельных регионах России осуществляется при понижении температуры окружающей среды до минус 50 °С и ниже. Для определения интенсивности изменения температуры образца УЗД в условиях суровых зим контрольный образец, конденсированный при нормальных комнатных условиях, опустили в емкость, содержащую спирт, температура которого составила минус 50 °С. Полученная термограмма приведена на рис. 4.

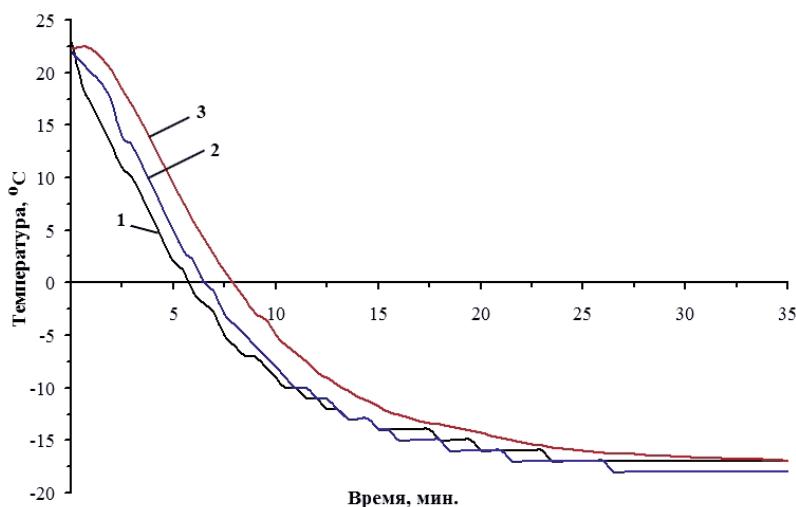
Из рис. 4 видно, что температура внутри образца УЗД при интенсивном охлаждении опускается по экспоненте до минус 50 °С. При этом наблюдаются различия в скорости охлаждения снаружи и внутри образца. Хороший контакт с охлаждающей средой приводит к интенсивному теплоотводу с поверхности УЗД, при этом температурная диффузия внутри композиционного материала значительно запаздывает от скорости теплоотвода. Как было отмечено ранее, температура образца уменьшается по экспоненте и в первые минуты скорость охлаждения достигает до 80 град./мин., при этом разница температура на поверхности и внутри материала составляет 33 °С. Уменьшение разницы темпе-

ратуры внутри УЗД, наблюдается только на 7-8 мин. охлаждения, а полная стабилизация – через 10 мин.

Так как спирт обеспечивает хороший теплоотвод, то применение другого типа охладителя, например, воздуха, приведет к совершенно другой динамике охлаждения материала (рис. 5).



*Рис. 4. Охлаждение УЗД в спирте:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3*



*Рис. 5. Охлаждение УЗД на воздухе:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3*

Из полученных данных (**рис. 5**) видно, что охлаждение образца до заданной температуры (минус 18°C) занимает порядка 30 мин., при этом охлаждение – плавное – по экспоненте, а разница температуры внутри и на поверхности материала не превышает 7,5 °С. Скорость изменения температуры внутри образца варьировалась от 2,7 до 0,7 град./мин., а на поверхности – от 4,2 до 0,2 град./мин. Более плавный теплоотвод с поверхности УЗД приводит к равномерной диффузии тепла в исследуемом материале.

Подобно охлаждению нагревание УЗД от минус 50 °С до плюс 25 °С проводили на воздухе (**рис. 6**). Разогрев образца происходит плавно и равномерно по всему объему со скоростью, не превышающей 4 град./мин., при этом максимальная разница температуры внутри и на поверхности материала достигает 9 °С.

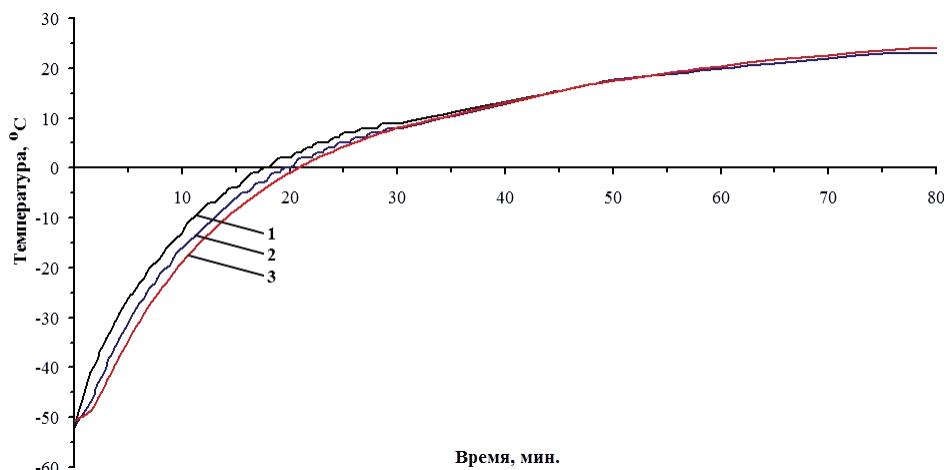


Рис. 6. Нагревание УЗД на воздухе:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3

Для определения скорости интенсивного нагревания материала УЗД (**рис. 7**) исследуемый образец после замораживания при температуре минус 50 °С установили на массивную металлическую плиту, температура которой составила плюс 25 °С. Исследование показало, что скорость разогрева до заданной температуры значительно сократилась (в 4 раза) – с 80 мин. (разогрев на воздухе) до 15-20 мин. (разогрев на металлической плите). При этом разогрев внутренних слоев материала идет достаточно стабильно со скоростью 11 град./мин., в отличие от поверхности, которая разогревается стремительно, в течение первых 30 с скорость разогрева составила 72 град./мин.

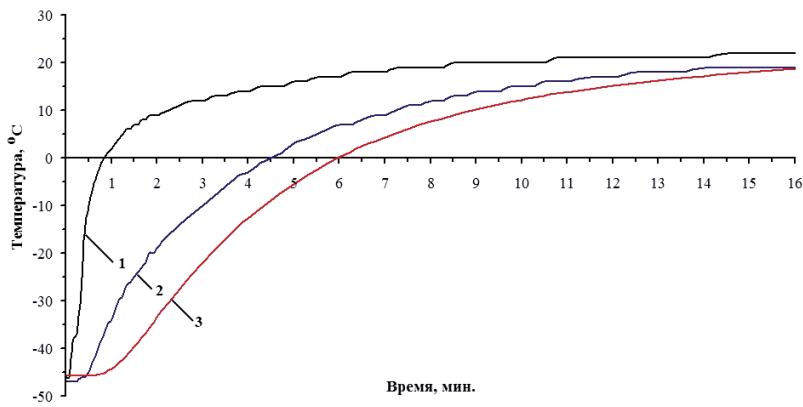


Рис. 7. Нагревание УЗД на металлической подложке:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3

Одним из основных воздействий на дорожное полотно является движение автомобилей и, как следствие, износ и разогрев материала. Износ материала определялся посредством исследования нагревания УЗД (рис. 8) в процессе истирания по ГОСТ [5]. Если зимой при минус 15 °С по дорожному полотну на основе УЗД проедет колонна из 100 легковых автомобилей, то поверхностные слои исследуемого материала разогреются на 23 °С, но уже на глубине 25 мм температура поднимется всего лишь на 3 градуса.

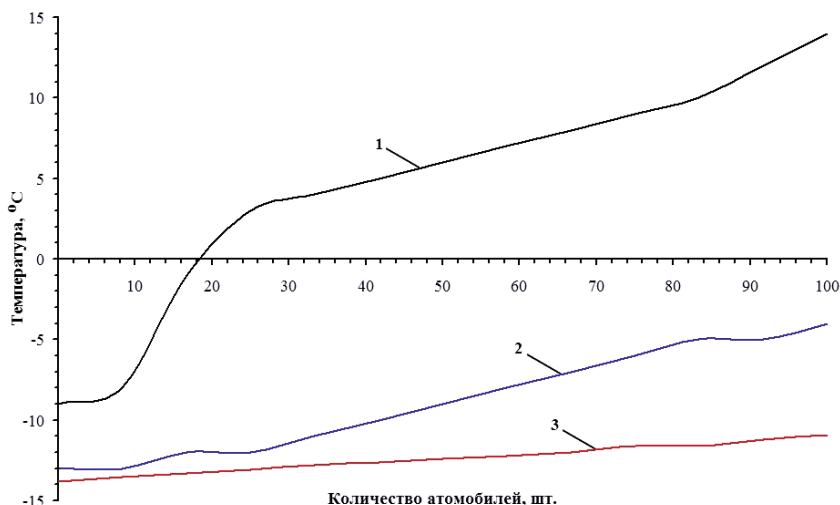


Рис. 8. Нагревание УЗД при истирании:
1 – термодатчик №1; 2 – термодатчик №2; 3 – термодатчик №3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что введение в гелькоат наполнителя в определенном соотношении приводит к разогреву смеси со скоростью 1 град./мин., в результате чего температура УЗД не поднимается выше 80°C и термодеструкции смеси не происходит.
2. Определены временные рамки каждого этапа получения УЗД: от момента смешивания жидких компонентов до введения наполнителя – 10 мин. и от смешивания до нанесения на дорожное покрытие – 25-30 мин. Выявлено, что несоблюдение данных временных рамок приведет к вскипанию или преждевременному отверждению УЗД.
3. Определена интенсивность изменения температуры в объеме образца УЗД при различных температурных воздействиях:
 - скорость охлаждения УЗД в спирте до минус 50°C в первые минуты достигает 80 град./мин., при этом разница температур на поверхности и внутри образца – 33°C, стабилизация температуры объекта происходит через 10 мин.;
 - скорость охлаждения УЗД на воздухе до минус 18°C внутри образца варьировалась от 2,7 до 0,7 град./мин., снаружи – от 4,2 до 0,2 град/мин., при этом разница температур на поверхности и внутри образца – 7,5°C, при стабилизации температуры объекта через 30 мин.;
 - скорость нагревания УЗД на воздухе от минус 50°C до плюс 25°C составила 4 град./мин., при этом максимальная разница температур на поверхности и внутри образца – 9 °C;
 - скорость нагревания внутри материала УЗД на металлической плите от минус 50°C до плюс 25°C составляет 11 град./мин., а на поверхности – 72 град./мин.
4. Установлены температурные изменения в зимний период при интенсивном движении автомобилей (колонна из 100 легковых автомобилей) по дорожному покрытию на основе УЗД: поверхностные слои при заданных условиях нагреваются до 23°C, а на глубине 25 мм температура изменяется только на 3°C. Таким образом, температура на поверхности покрытия стабилизируется уже через несколько минут.

Работа выполнена при поддержке Гранта правительства Новосибирской области на проведение прикладных научных исследований в 2017 году (договор №1/221 от 25.07.2017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожное строительство и обслуживание дорог // Бухгалтерский учет, налогообложение, аудит в РФ — Audit-it.ru [веб-сайт]. — Электрон. дан. — URL: <https://www.audit-it.ru/articles/account/otrasl/a101/44066.html> (дата обращения 20.04.2017).
2. Дорохин С. Ямочный ремонт дороги. Традиционные и новые методы / С. Дорохин // Основные средства. — 2006. — № 5. — Электрон. дан. — URL: <https://os1.ru/article/6936-yamochnyiy-remont-dorogi-traditsionnye-i-novye-metody> (дата обращения 20.04.2017).
3. Горбунов Ф.К. Исследование свойств материала для фиксации в дорожных покрытиях датчиков для динамического взвешивания / Ф.К. Горбунов, Ю.Н. Шевцов // Дороги и мосты. — 2016. — № 36/2. — С.154-165.
4. Горбунов Ф.К. Эксплуатационные характеристики материалов, применяемых для ремонта дорожного и аэродромного покрытий / Ф.К. Горбунов, Ю.Н. Шевцов // Дороги и мосты. — № 37/1. — С. 186-202.
5. ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения изнашиваемости. — М.: Издательство стандартов, 2004. — 8 с.

LITERATURA

1. Dorozhnoe stroitel'stvo i obsluzhivanie dorog // Buhgalterskij uchet, nalogoooblozhenie, audit v RF — Audit-it.ru [veb-sajt]. — Jelektron. dan. — URL: <https://www.audit-it.ru/articles/account/otrasl/a101/44066.html> (data obrashchenija 20.04.2017).
2. Dorohin S. Jamochnyj remont dorogi. Tradicionnye i novye metody / S. Dorohin // Osnovnye sredstva. — 2006. — № 5. — Jelektron. dan. — URL: <https://os1.ru/article/6936-yamochnyiy-remont-dorogi-traditsionnye-i-novye-metody> (data obrashchenija 20.04.2017).
3. Gorbunov F.K. Issledovanie svojstv materiala dlja fiksacii v dorozhn-yh pokrytijah datchikov dlja dinamicheskogo vzveshivaniya / F.K. Gorbunov, Ju.N. Shevtsov // Dorogi i mosty. — 2016. — № 36/2. — S. 154-165.
4. Gorbunov F.K. Jekspluatacionnye harakteristiki materialov, primen-jaemyh dlja remonta dorozhnogo i ajerodromnogo pokrytij /

- F.K. Gorbunov, Ju.N. Shevtsov // Dorogi i mosty. – № 37/1. – S. 186-202.*
5. *GOST 13087-81. Betony. Metody opredelenija istiraemosti. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2004. – 8 s.*

THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF MATERIALS USED TO ROAD AND AIRFIELD PAVEMENTS REPAIR

*Ph. D. (Tech.) F.K. Gorbunov
(Institute of Solid State Chemistry
and Mechanochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences),
Engineer Yu.N. Shevtsov
(LLC Scientific-Practical Entreprise «Novasib»),
Ph. D. (Tech.) L.K. Berdnikova
(Institute of Solid State Chemistry
and Mechanochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences)
Contact information: f1123723@yandex.ru;
shewtsow@yandex.ru*

The article concerns the research results of thermodynamic characteristics of universal road fill (URF) for the purpose of applying for street and roads repair.

Key words: *road, road pavement, climate impacts, composite material.*

Рецензент: канд. техн. наук Л.А. Горельышева (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 14.08.2017 г.