

## ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СБОРНО-МОНОЛИТНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ПЛИТНОГО ПОЛИСТИРОЛА И ТОРКРЕТПОЛИСТИРОЛБЕТОНА ДЛЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

*Докт. техн. наук, проф., заслуженный работник образования Республики Беларусь,  
чл.-кор. НАН Беларуси ХРУСТАЛЕВ Б. М.,  
аспиранты КУДРЕВИЧ В. А., КУДРЕВИЧ О. О.*

*Белорусский национальный технический университет*

В Республике Беларусь с 1992 г. значительное количество зданий теплоизолировано по отечественной технологии монолитным полистиролбетоном методом торкретирования в соответствии с [1]. Сущность этого способа теплоизоляции состоит в нанесении с помощью сжатого воздуха полистиролбетонной смеси на поверхность изолируемой стены с закрепленной на ней армирующей сеткой. На поверхность полистиролбетона торкретированием наносится слой цементно-песчаного раствора толщиной до 10 мм.

Полистиролбетонная смесь состоит из портландцемента марки 400–500, вспененных гранул полистирола с насыпной плотностью 14...16 кг/м<sup>3</sup> и воды, добавленной непосредственно перед ее нанесением. Плотность полистиролбетона составляет 500...600 кг/м<sup>3</sup>. Указанный полистиролбетон – негорючий материал и применяется для любых зданий.

Используемые материалы – недефицитны и недороги. Изолируемая поверхность не требует тщательной подготовки, любые шероховатости лишь увеличивают прочность сцепления теплоизоляции со стеной. Благодаря высокой прочности, морозостойкости и адгезии полистиролбетона к кирпичной кладке или бетонной поверхности теплоизоляция является надежной и долговечной. На ряде зданий она эксплуатируется более 5...7 лет, а на некоторых – более 10 лет без каких-либо повреждений, обеспечивая расчетную теплозащиту.

Недостаток торкретполистиролбетонной теплоизоляции – значительный объем работ с

«мокрым» процессом. Это определяет их сезонность, так как основные работы по нанесению полистиролбетонной смеси на изолируемую поверхность можно выполнять при среднесуточной температуре наружного воздуха не ниже +5 °С. При более низкой температуре можно выполнять только подготовительные работы и закрепление армирующей сетки.

Для снижения объема работ с «мокрым» процессом разработан метод сборно-монолитной теплоизоляции на основе плитного пенополистирола и торкретполистиролбетона (рис. 1, 2). На изолируемой стене при помощи пластмассовых дюбелей-анкеров крепятся плиты полистирольного пенопласта с промежутками между ними как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Размер рядовых плит составляет 1×1 м, а ширина промежутков между плитами – 0,2 м. Размеры плит определяются стандартными размерами плит полистирольного пенопласта (2×1 м) и удобством работы с ними. Толщина плит пенополистирола рассчитывается с учетом обеспечения нормируемого сопротивления теплопередаче.

По плитам пенополистирола закрепляется армирующая сетка «рабица». Шаг крепления армирующей сетки – 0,4...0,6 м. Плотность полистиролбетона – 600 кг/м<sup>3</sup>. Толщина слоя полистиролбетона на плитах пенополистирола должна быть не менее 50 мм для противопожарной защиты пенополистирола.

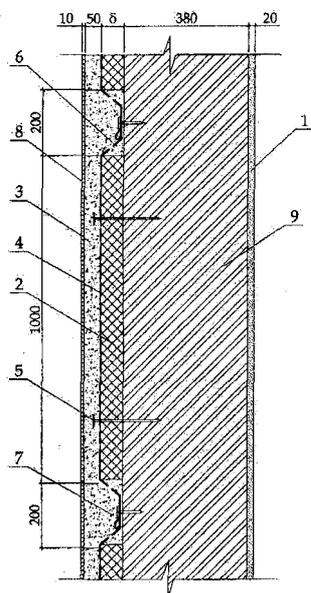


Рис. 1. Конструктивное решение сборно-монолитной теплоизоляции из плитного пенополистирола и торкретполистиролбетона: 1 – кирпичная кладка; 2 – пенополистирол; 3 – полистиролбетон; 4 – армирующая сетка; 5 – дюбель-анкер; 6 – петля крепления сетки; 7 – дюбель-гвоздь; 8 – защитное покрытие;  $\delta$  – толщина пенополистирола (определяется по расчету); 9 – известково-песчаный раствор

Между плитами пенополистирола наносится сплошной слой полистиролбетона, образующий противопожарные преграды по границам проемов и фасада, а также обеспечивающий надежность крепления теплоизоляции к стене и устраняющий возможность образования вентилируемых воздушных прослоек в местах неплотного прилегания плит пенополистирола к поверхности стены. По полистиролбетону торкретированием наносится защитный цементно-песчаный слой толщиной 10 мм, после чего поверхность стены имеет фактуру «под шубу» и может быть окрашена фасадной краской.

Для сборно-монолитной теплоизоляции требуется в два раза меньше полистиролбетона, чем для эквивалентной монолитной торкретполистиролбетонной. В результате объем работ с «мокрым» процессом значительно сокращается, расширяется объем работ, которые можно выполнять при температурах наружного воздуха ниже +5 °С (крепление плит пенополистирола дюбелями), что позволит сократить трудоемкость и стоимость теплоизоляции, уменьшить ее сезонность.

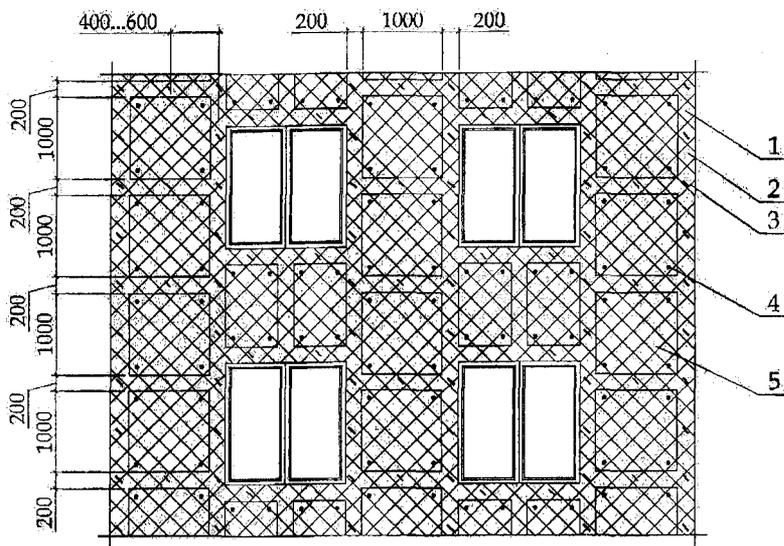


Рис. 2. Схема крепления пенополистирольных плит и армирующей сетки: 1 – поверхность изолируемой стены; 2 – армирующая сетка; 3 – петля крепления сетки с дюбель-гвоздем; 4 – дюбель-анкер; 5 – пенополистирольная плита

В целях проверки соответствия требованиям [2] наружной стены со сборно-монолитной теплоизоляцией из плитного пенополистирола и торкретполистиролбетона выполнен ее тепло-влажностный расчет для зданий с нормальным и влажным режимами помещений в климатических условиях г. Минска. Для зданий с нормальным режимом эксплуатации (жилой дом) стены выполнены из керамического пустотного кирпича, с влажным (бассейн) – из глиняного обыкновенного. Условия эксплуатации ограждений по табл. 4.2 [2] соответствуют условиям «Б». Расчетные характеристики материалов приведены в табл. 1.

Так как данная конструкция является многослойной неоднородной, ее сопротивление теплопередаче рассчитано с учетом положений п. 5.11 [2]. Толщину плит пенополистирола ориентировочно принимаем равной 70 мм. Отношение площади изолируемой стены, покрытой плитами пенополистирола, к общей изолируемой площади составляет 60 %. Расчет выполнен на примере стены жилого здания.

Таблица 1

Расчетные характеристики материалов ограждающих конструкций

№ позиции	Наименование материала	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент		
			теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°C)	паропроницаемости $\mu$ , мг/(м·ч·Па)	теплоусвоения $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
1	Кладка из керамического пустотного кирпича	1500	0,735	0,15	8,03
2	Пенополистирол	15	0,054	0,05	0,3
3	Полистиролбетон	600	0,12	0,06	2,36
4	Армирующая сетка	—	—	—	—
5	Дюбель-анкер	—	—	—	—
6	Петля крепления сетки	—	—	—	—
7	Дюбель-гвоздь	—	—	—	—
8	Цементно-песчаный раствор	1800	0,93	0,09	11,09
9	Известково-песчаный раствор	1600	0,81	0,12	9,76
10	Железобетон	2500	2,04	0,03	19,7
11	Пенополиуретан	40	0,04	0,05	0,42
12	Древесина	500	0,18	0,06	4,54

Приведенное термическое сопротивление конструкции определяем по формуле (5.9) [2]

$$R_k = \frac{R_{ка} + 2R_{кб}}{3} = 1,864 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}. \quad (1)$$

Сопротивление теплопередаче наружной стены жилого дома составляет  $R_T = 2,022 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , что отвечает требованиям [2] для нормативного сопротивления теплопередаче стен из штучных материалов.

Аналогичный расчет сопротивления теплопередаче наружной стены бассейна с кладкой из глиняного сплошного кирпича дает  $R_T = 1,973 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , что практически удовлетворяет требованиям [2].

Сравнительный расчет сопротивления теплопередаче аналогичной наружной стены толщиной 0,38 м с теплоизоляционным слоем из торкретполистиролбетона плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> при толщине 0,12 м без плит пенополистирола дает  $R_T = 1,662 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  для сплошного кирпи-

ча и  $R_T = 1,710 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  для пустотного кирпича, что ниже на 16 %.

Для обеспечения нормируемого тепловлажностного режима материалов наружных ограждающих конструкций в соответствии с [2] сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию, определяемого по формуле

$$R_{Пн} = R_{Пн} \frac{e_a - E_k}{E_k - e_{Нот}}, \quad (2)$$

где  $R_{Пн}$  – сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности конструкции. Плоскость возможной конденсации в много-

слойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции. В рассчитываемой ограждающей конструкции положение плоскости возможной конденсации принимаем на границе полистиролбетона и защитного цементно-песчаного покрытия;  $e_a$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха при расчетных температуре и относительной влажности;  $E_k$  – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации при температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой по формуле:

$$t_k = t_a - \frac{t_a - t_{Нот}}{R_T} \left( \frac{1}{\alpha_a} + \Sigma R_T \right), \quad (3)$$

где  $t_{Нот}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период; для г. Минска  $t_{Нот} = -1,6 \text{ °C}$ ;  $R_T$ ,  $\Sigma R_T$  – сопротивление теплопередаче конструкции и термическое сопротив-

ление ее слоев от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации в рассчитываемом сечении ограждающей конструкции.

Рассчитываемое сечение для данной стены проходит по сплошному слою полистиролбетона, так как оно является более неблагоприятным (коэффициент паропроницаемости пенополистирола ниже, чем полистиролбетона);  $e_{\text{Нот}}$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха при средней температуре наружного воздуха за отопительный период,  $e_{\text{Нот}} = 455$  Па.

Выполним расчет сопротивления паропроницанию для наружной стены жилого дома. Расчетная температура внутреннего воздуха составляет  $18^\circ\text{C}$ , относительная влажность – 55 %, парциальное давление водяного пара – 1135 Па.

Температура в плоскости возможной конденсации

$$t_k = 18 - \frac{18 + 1,6}{1,710} \cdot (0,115 + 1,552) = -1^\circ\text{C}.$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации при  $t_k = -1^\circ\text{C}$  составляет  $E_k = 563$  Па.

Сопротивление паропроницанию наружной стены от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности

$$R_{\text{шт}} = \frac{\delta}{\mu} = \frac{0,01}{0,09} = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}. \quad (4)$$

Требуемое сопротивление паропроницанию наружной стены

$$R_{\text{тгр}} = 0,11 \cdot \frac{1135 - 563}{563 - 455} = 0,58 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопротивление паропроницанию наружной стены от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_{\text{Пв}} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,38}{0,15} + \frac{0,12}{0,06} = 4,7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}. \quad (5)$$

Так как  $R_{\text{Пв}} > R_{\text{тгр}}$ , сопротивление паропроницанию отвечает требованиям [2].

Произведем аналогичный расчет сопротивления паропроницанию для наружной стены бассейна:  $R_{\text{Пв}} = 5,62 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ ;  $R_{\text{тгр}} = 1,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

Таким образом, сопротивление паропроницанию наружной стены бассейна со сборно-монолитной теплоизоляцией из плитного пенополистирола и торкретполистиролбетона также отвечает нормативным требованиям.

С целью проверки соответствия требованиям [2] к температуре внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций и оценки возможности конденсации водяных паров как на поверхности, так и в толще ограждения в узлах сопряжений наружных ограждающих конструкций выполнены расчеты двумерных температурного и влажностного полей наиболее неблагоприятного сечения сопряжения наружной стены и заполнения светового проема в зоне размещения оконных перемычек. Для сравнения произведем аналогичный расчет сечения наружной стены в зоне размещения плит пенополистирола с обрамлением их полистиролбетоном.

Расчет выполнен для жилого дома в климатических условиях г. Минска. Расчетная температура внутреннего воздуха составляет  $18^\circ\text{C}$ , относительная влажность – 55 %. Расчетная зимняя температура наружного воздуха в соответствии с табл. 5.2 [2] составляет  $-26^\circ\text{C}$  – средняя температура трех наиболее холодных суток, так как тепловая инерция наружной стены находится в пределах «св. 4,0 до 7,0».

Тепловую инерцию можно рассчитать

$$D = \frac{0,01}{0,93} \cdot 11,09 + \frac{0,05}{0,12} \cdot 2,36 + \frac{0,05}{0,054} \cdot 0,3 + \frac{0,38}{0,735} \cdot 8,03 + \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 = 5,77.$$

Расчет двумерных температурного и влажностного полей выполнен с помощью компьютера. Распределение температур и парциальных давлений водяного пара по рассчитываемым сечениям стены приведено на рис. 3, 4.

Расчеты показывают, что конструкция наружной стены отвечает требованиям [2], так температура внутренней поверхности везде выше температуры точки росы  $8,8^\circ\text{C}$ , а расчетные парциальные давления водяного пара ниже максимальных при соответствующей температуре в расчетной точке сечения.

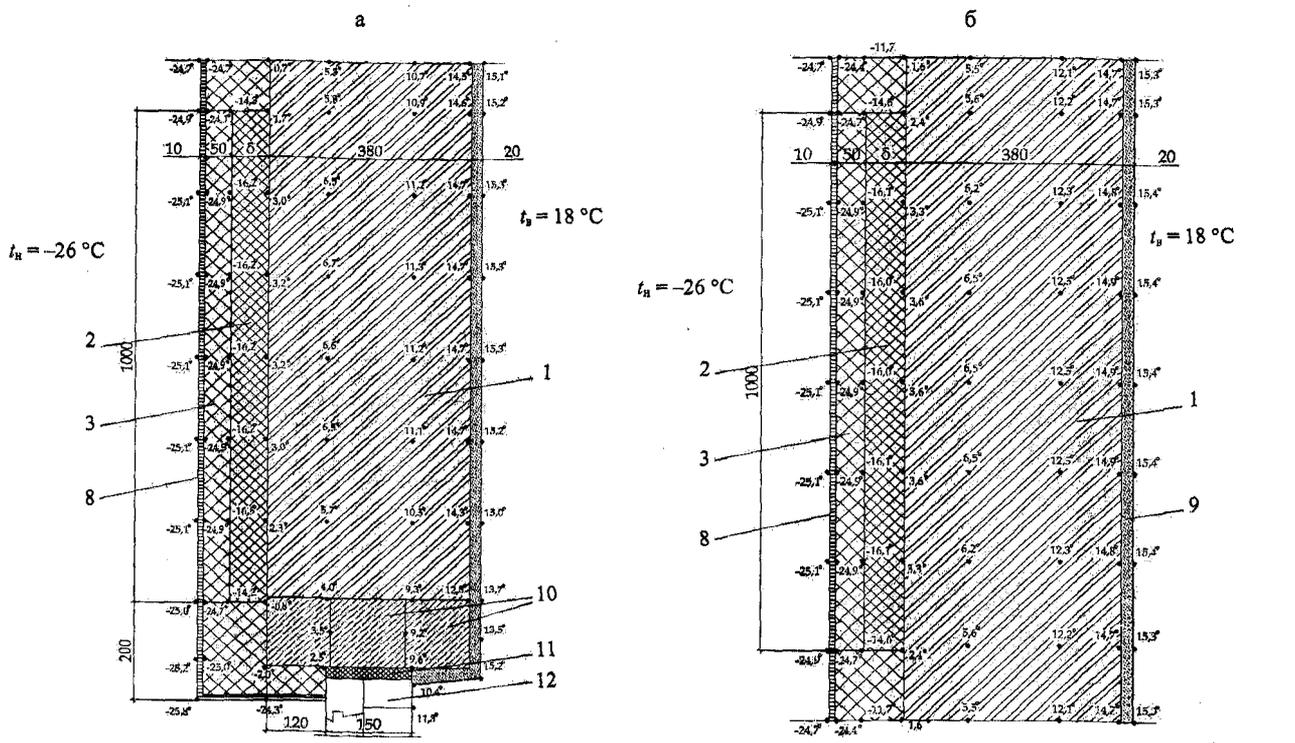


Рис. 3. Температурное поле: а – узла сопряжения наружной стены с заполнением оконного проема; б – наружной стены; 1 – кладка из керамического пустотного кирпича; 2 – пенополистирол; 3 – полистиролбетон; 8 – цементно-песчаный раствор; 9 – известково-песчаный раствор; 10 – железобетон; 11 – пенополиуретан; 12 – древесина

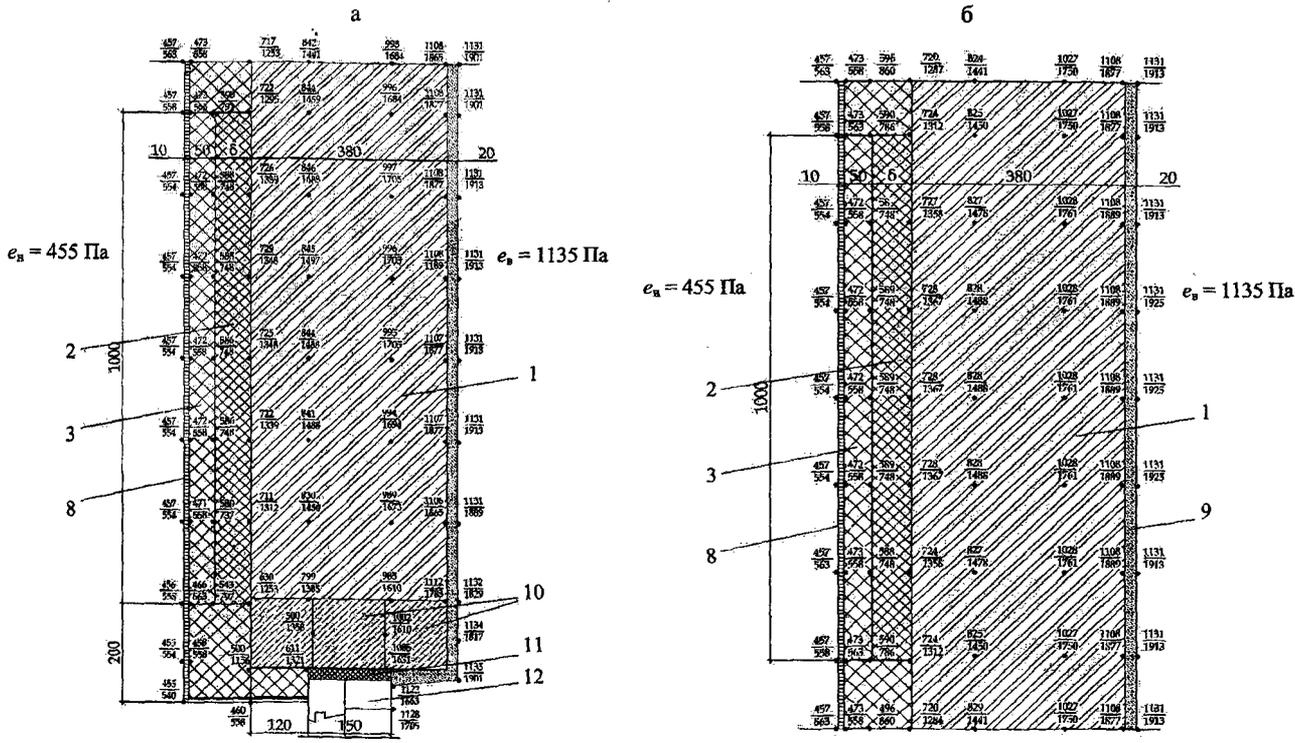


Рис. 4. Влажностное поле: а – узла сопряжения наружной стены с заполнением оконного проема; б – наружной стены (обозначения – на рис. 3)

Примечание. В числителе приведены расчетные парциальные давления водяного пара, в знаменателе – максимальные парциальные давления водяного пара при расчетной температуре, Па.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана конструктивно-технологическая схема сборно-монолитной теплоизоляции наружных стен зданий на основе плитного пенополистирола и торкретполистиролбетона.

2. Выполнены теплотехнические расчеты вариантов теплоизолированных наружных стен для нормального и влажного режимов эксплуатации. Сопротивления теплопередаче и паропроницанию конструкций отвечают нормативным требованиям.

3. При равной толщине монолитной и сборно-монолитной теплоизоляции сопротивление теплопередаче стены со сборно-монолитной теплоизоляцией повышается на 16...20 %.

4. При устройстве сборно-монолитной теплоизоляции значительно сокращается на 40...50 % объем работ с «мокрым» процессом, что снижает трудоемкость и стоимость устройства теплоизоляции, уменьшает зависимость выполнения работ от погодных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. РСН 74-92. Устройство полистиролбетонной теплоизоляции ограждающих конструкций зданий методом торкретирования. – Мн.: Госстрой Республики Беларусь, 1992.

2. СНБ 2.0.4.01-97. Строительная теплотехника. – Мн.: МАиС Республики Беларусь, 1998.

УДК 625.7.002.5

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЕЦИКЛЕРА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НИЗКИХ КАТЕГОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Докт. техн. наук, проф. ВАВИЛОВ А. В., инж. БОЧКАРЕВ Д. И.*

*Белорусский национальный технический университет,  
Белорусский государственный университет транспорта*

Государственная программа развития села предусматривает не только поддержку сельхозпроизводителей, но и бесперебойное круглогодичное обеспечение всех сельских населенных пунктов автомобильными дорогами общего пользования. В программе «Дороги Беларуси» одним из приоритетных направлений выделяется создание устойчивых транспортных связей с 10,5 тыс. населенных пунктов, в которых проживают около 500 тыс. чел. [1].

Решение данной задачи невозможно без разработки оптимального варианта переустройства существующих асфальтобетонных, грунтовых, гравийных, полевых и лесных дорог, не имеющих категорий и не соответствующих требованиям нормативных документов, в автомобильные дороги V или IV категории.

Одним из рациональных способов решения данной задачи является развитие и внедрение прогрессивных технологий дорожных покрытий на основе использования уже имеющихся в дороге материалов.

**Обзор технологий капитального ремонта автодорожных покрытий.** В настоящее время для строительства и ремонта покрытий автодорог наиболее широко применяется технология укладки и уплотнения горячей асфальтобетонной смеси, основными недостатками которой являются значительные материало- и энергоемкость, транспортные расходы и высокая стоимость. Снижения расходов на производство дорожно-строительных работ добиваются при использовании прогрессивных технологий, од-