

УДК 625.7.06

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРУДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ЛЕОНОВИЧ И. И.



ЛЕОНОВИЧ Иван Иосифович,  
академик БГА, академик Российской  
академии естественных наук,  
доктор технических наук, профес-  
сор; заведующий кафедрой БГПА

**1. Введение.** В Республике Беларусь по состоянию на 1 января 1997 г. эксплуатировалось более 52,1 тыс. км<sup>2</sup> автомобильных дорог общего пользования, из которых 29,7% составляли дороги республиканского значения и 70,3% — местного значения. На 1000 тыс. км<sup>2</sup> территории приходится 248,2 км дорог с твердым покрытием, на 1000 га пашни — 8,2 км и на 1000 человек населения — 5,0 км.

Дороги с твердым покрытием составляют 51,5 тыс. км<sup>2</sup> или 98,8% от общей протяженности, а грунтовые — около 600 км (1,2%), внутрихозяйственные дороги составляют около 150 тыс. км<sup>2</sup>, а городских дорог и улиц протяженность 10 тыс. км<sup>2</sup>. По видам дорожных одежд дороги общего пользования распределяются следующим образом: цементобетонные — 3,5%, асфальтобетонные — 64,0%, черные гравийные и черное шоссе — 2,7%, белое шоссе (щебеночное, шлаковое) — 1,1%, мостовое — 0,4%, гравийные — 28,3%.

Дорожная сеть в целом достаточно развита. Все

города районного, областного и республиканского значения связаны между собой и имеют, как правило, усовершенствованные типы покрытий. Подъезды к центральным усадьбам сельскохозяйственных предприятий построены по современным проектам и обеспечивают устойчивые транспортные связи в течение всего года.

Однако дорожную проблему в республике нельзя считать полностью решенной. Современное состояние многих автомобильных дорог не соответствует возросшей интенсивности транспортных потоков. Мал удельный вес автомобильных дорог высоких (I, II) категорий. Автостреды, пересекающие территорию Беларуси с запада на восток и с севера на юг, не полностью соответствуют международным стандартам по ровности проезжей части, инженерному обустройству и сервисному обслуживанию. Требуют значительного улучшения транспортно-эксплуатационных качеств и повышения мер безопасности движения внутрихозяйственные дороги, главные транспортные артерии населенных пунктов.

Строительство новых автомобильных дорог, а также реконструкция и ремонт существующих, требуют большого количества дорожно-строительных материалов. Дороги являются весьма материалоемкими сооружениями, а требования к материалам специфичны и довольно высоки. Номенклатура материалов, используемых дорожными организациями, чрезвычайно широкая. Это: битумы, цементы, эмульсии, дегти, металлы, мастики, краски, пластические массы, стекло, гидрофобы, соли и др. Однако самыми распространенными являются каменные материалы [7]. Они используются как в чистом виде, так и в качестве заполнителей при производстве бетонных смесей, создании различных искусственных конгломератов. Широкое и повсеместное использование в дорожном строительстве каменных материалов требует всестороннего их исследования, выработки обоснованных критериев для оценки свойств и рекомендаций по условиям их применения. Такие комплексные исследования в нашей Республике проводятся постоянно [2, 4].

На их основе разрабатываются ГОСТы и технические условия, совершенствуются конструкции дорожных одежд, создаются новые до-

рожностроительные машины и технологии производства работ.

**2. Ресурсы каменных материалов.** Геологическое строение Республики Беларусь отличается большим разнообразием. Благодаря исследованиям геологов изучены последовательность и условия залегания геологических структур, возраст, толщина, состав и физические свойства пород, поведение химических элементов и история геологического развития земной коры. По составу, условиям формирования горных пород и полезных ископаемых на территории Беларуси выделяются два геоструктурных этажа: нижний — кристаллический фундамент нижнепротерозойского и архейского возраста, сложенный магматическими, метаморфическими, вулканическими и смешанными породами, и верхний — осадочный чехол позднепротерозойско-антропогенного возраста, представленный разнообразными осадочными, изредка вулканогенными породами.

В кристаллическом фундаменте выявлены месторождения и рудопроявления железных руд, цветных металлов, неметаллических полезных ископаемых. Осадочный чехол содержит различные горные породы, которые используются в виде сырья для производства строительных материалов и изделий или как материал при сооружении объектов транспортного, промышленного и гражданского назначения. В Беларуси открыты сотни месторождений цементного сырья (мергельно-меловые породы, глины), сырья для производства извести (мел, мергель), легкоплавкие глины и сульфиды для кирпичного и керамзит-аглопоритного производства, тугоплавкие и огнеупорные глины, строительные, силикатные, формовочные, стекольные пески, песчано-гравийные материалы, строительный камень, природные минеральные пигменты (глауконит, болотные железные руды, охра) и др. Все эти материалы представляют несомненный интерес для дорожной отрасли, но главными являются месторождения камня, гравийно-песчаных смесей, песков, известняков и доломитов, которые имеют массовое применение в дорожном строительстве. Свойства их весьма разнообразны. В настоящее время выявлено более 500 залежей песков, песчано-гравийно-галечных и других каменных материалов [3].

По размерам эти залежи обычно небольшие (1–50 га). Но в крупных месторождениях площадь распространения гравийно-галечного материала измеряется сотнями гектаров. Мощность слоев также изменяется в широких пределах: от 0,5–3 м в небольших до 10–15 м в крупных залежах. Многие из крупных месторождений являются сырьевой базой для промышленности строительных материалов.

Запасы разведанных месторождений исчисляются сотнями миллионов кубических метров. Необходимо отметить, что значительная их часть уже находится в эксплуатации.

**3. Свойства каменных материалов.** Песчано-гравийные отложения имеют высокую изменчивость зернового состава даже на близлежащих участках. Это объясняется неравномерностью подвижки ледников, таяния льда и, соответственно, неравномерностью мощности потоков талых вод, участвовавших в формировании залежей. Однако пределы изменения средних зерновых составов по месторождениям сравнительно небольшие; валуны — 0–4%, галька — 10–30%, гравий — 20–30%, песок — 40–70%, алеврито-глинистые фракции — 2–6%. Зерен крупнее 5 мм содержится в количестве от 2 до 45%. Ила, пыли и глины на крупнообломочном материале — 0,4–2,0%.

По петрографическому составу количество обломков дисперсных каменных материалов существенно меняется в зависимости от крупности. Так, валуны чаще представлены гранитами и гнейсами. В галечных отложениях преобладают обломки известняков и доломитов. В гравийных зернах также больше обломков карбонатных пород (25–50%), чем гранитовидных (20–30%). В составе мелкого гравия много кварца (до 30%), полевых шпатов (до 20%). Пески в большей степени состоят из кварцевых зерен (до 60–70%), полевых шпатов (до 10–20%) и карбонатов (2–25%). Часто в их составе встречается биотит. Пылеватые частицы представлены, в основном, карбонатными минералами, а глинистые — гидрослюдами.

В составе песчано-гравийных смесей зерен со слабой прочностью до 10%, а в отдельных случаях и больше. Морозостойкость гравия большинства месторождений достаточно удовлетворительная — 96% всего гравийного материала удовлетворяет требованиям стандартов. Плотность пород и минералов, составляющих песчано-гравийные смеси, колеблется от 2,21 до 2,88 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение — от 0,5 до 1,0%. Более подробная характеристика песчано-гравийных материалов Беларуси приведена в работах [2, 3, 4].

Основным сырьем для получения щебня являются залежи гранодиоритов на юге республики. Получают также щебень из известняков и доломитов, гравия и гальки. Средний минеральный состав гранодиоритов следующий: кварц — 3%, биотит — 9%, роговая обманка — 18%, плагиоклаза — 70%, калишпат — 2%. Средний диаметр зерен минералов — 0,8 мм.

Гранодиоритовый щебень отличается высокими значениями показателей физико-механических свойств. Средние значения некоторых из них: плотность 2,76 г/см<sup>3</sup>, пористость — 0,7%, водопоглощение — 0,21%, марка по дробимости при сжатии в цилиндре — «1400», марка по износу в полочном барабане — «И-1». По всем нормируемым показателям данный щебень отвечает требованиям стандарта и может без ограничения использоваться для производства всех видов дорожно-строительной продукции.

**4. Особенности применения каменных материалов в дорожном строительстве.** К сожалению, большинство природных каменных материалов не могут в естественном состоянии, без применения специальных методов их улучшения, использоваться для целей дорожного строительства. Во всех песках наблюдается недостаток фракций 1,25–5,0 мм и избыток фракций 0,315–1,25 мм. Это приводит к тому, что при приготовлении асфальтобетонных смесей очень трудно получить зерновой состав минеральной части, отвечающий требованиям максимальной плотности. В связи с тем, что улучшение гранулометрического состава песков путем их отсева на отдельные фракции и последующего смешивания в других пропорциях в производственных условиях пока неосуществимо, приходится прибегать к увеличению расхода минерального порошка или добавлять в песок отсевы дробления горных пород.

Зерновые составы песчано-гравийных смесей почти всех белорусских месторождений также не отвечают требованиям максимальной плотности и нуждаются в дополнительных затратах на их обогащение. Гравийный материал в своем виде не всегда может использоваться для устройства оснований дорожных одежд и приготовления асфальтобетонных смесей, так как во многих случаях не соответствует своему назначению по зерновому составу, часто содержит зерна слабых пород и имеет загрязненную поверхность. Поэтому возникает необходимость в сортировке по зерновому составу, дроблении крупных фракций, обогащении по прочности, мойке и активации поверхности.

Существенное влияние на свойства каменных материалов могут оказывать технологические факторы, в частности, процесс их высушивания и нагрева в сушильных барабанах при приготовлении асфальтобетонных смесей [2]. При определенных условиях нагрев каменных материалов до технологических температур может приводить к значительному ухудшению их качественных харак-

теристик и к снижению сдвигоустойчивости, трещиностойкости и износостойкости асфальтобетона. Основная причина этого явления — возникающие при нагреве температурные напряжения. Данные напряжения могут быть двух видов — микроструктурные и макроструктурные.

Микроструктурные температурные напряжения вызваны различием тепловых и других свойств составляющих породу минералов и в наибольшей степени присущи полиминеральным каменным материалам. Макроструктурные температурные напряжения имеют место при интенсивном нагреве каменных материалов как из моно-, так и из полиминеральных горных пород и обусловлены температурным градиентом. Полиминеральные каменные материалы при интенсивном нагреве находятся в сложном напряженном состоянии, подвергаясь совместному воздействию обоих входов напряжений (табл. 1)

В работе кандидата технических наук М. И. Карловича [2] получены аналитические зависимости для определения макроструктурных температурных напряжений при нагреве (охлаждении) каменных материалов и обоснована формула для расчета микроструктурных напряжений в полиминеральных каменных материалах. Теоретические зависимости проверены и подтверждены экспериментально. На основании данных зависимостей определены предельно допустимые (критические) температуры и скорости нагрева каменных материалов. Полученные значения критических скоростей и температур нагрева являются основанием для комплексного решения вопросов о применимости каждого вида каменных материалов в определенном технологическом процессе (рис. 1, 2; табл. 2).

В тех случаях, когда отсутствует возможность замены нетермостойких разновидностей каменных материалов на термостойкие, перед определением прочностных характеристик и морозостойкости щебня его следует предварительно нагреть до максимальной технологической температуры.

Изменение свойств гранитов под воздействием температуры

Таблица 1

| Показатели и их размерность  | Температура, °С                       |      |      |      |      |      |
|--|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
|  | 20                                    | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  |
| Модуль упругости, $10^{10}$ Па                                     | 6,70                                  | 5,30 | 4,10 | 3,2  | 2,40 | 1,80 |
| Коэффициент линейного температурного расширения $10^{-5}/\text{К}$ | 0,45                                  | 0,65 | 0,98 | 1,30 | 1,80 | 2,60 |
| Температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$                      | 1,26                                  | 0,89 | 0,74 | 0,66 | 0,61 | 0,59 |
| Теплоемкость, Дж/кг·град   | 0,75                                  | 0,85 | 0,95 | 1,03 | 1,09 | 1,13 |
| Теплопроводность, Вт/м·град  | 2,50                                  | 2,00 | 1,85 | 1,75 | 1,75 | 1,75 |
| Коэффициент Пуассона   | от 0,12 до 0,27 ( $\nu_{ср} = 0,23$ ) |      |      |      |      |      |
| Плотность, г/см <sup>3</sup>                                       | от 2,6 до 2,7 ( $\rho_{ср} = 2,65$ )  |      |      |      |      |      |
| Предел прочности при сжатии, МПа                                   | от 50 до 150 ( $\sigma_{ср} = 100$ )  |      |      |      |      |      |

Критические скорости нагрева каменных материалов для асфальтобетона

| Наименование исходных горных пород | Критические скорости нагрева (°C/с) каменных материалов, используемых в составе асфальтобетонных смесей |                 |
|------------------------------------|---|-----------------|
|                                    | мелкозернистых  | крупнозернистых |
| Гранодиориты, диабазы              | 11  | 2,4             |
| Мраморы, гнейсы                    | 14  | 3,1             |
| Граниты, базальты                  | 16  | 3,3             |
| Габбро, диориты                    | 18  | 4,0             |
| Известняки, доломиты               | 21  | 4,4             |
| Кварциты, песчаники                | 23  | 4,8             |

Этим достигается соответствие между запроектированной маркой асфальтобетона и фактически полученной.

**5. Заключение.** В Республике Беларусь имеются значительные запасы горных пород в виде гранитов, известняков и доломитов, а также гравийно-песчаных отложений осадочного происхождения. Эти материалы используются в дорожном строительстве. Эффективность их применения зависит от состава и свойств материалов. Большинство материалов в процессе использования требуют соответствующей подготовки или переработки. Осуществляется их сортировка, обогащение, дробление, а, в конечном итоге, их стабилизация и создание конгломератов с заданными свойствами. Для оценки свойств каменных

материалов разработаны и применяются стандарты и технические условия. Повышение требований к прочности и долговечности автомобильных дорог выдвигает в число важнейших проблему пересмотра действующих нормативных документов. Необходимость пересмотра усиливается еще и потому, что в республике ведется работа по созданию своей государственной системы стандартизации. В стандартах найдут отражение особенности петрографического и минералогического состава каменных материалов, залегающих в недрах Беларуси, а также новые органические и минеральные вяжущие, которые будут применяться в перспективе при укреплении местных материалов и производстве асфальтобетонных и цементобетонных смесей.

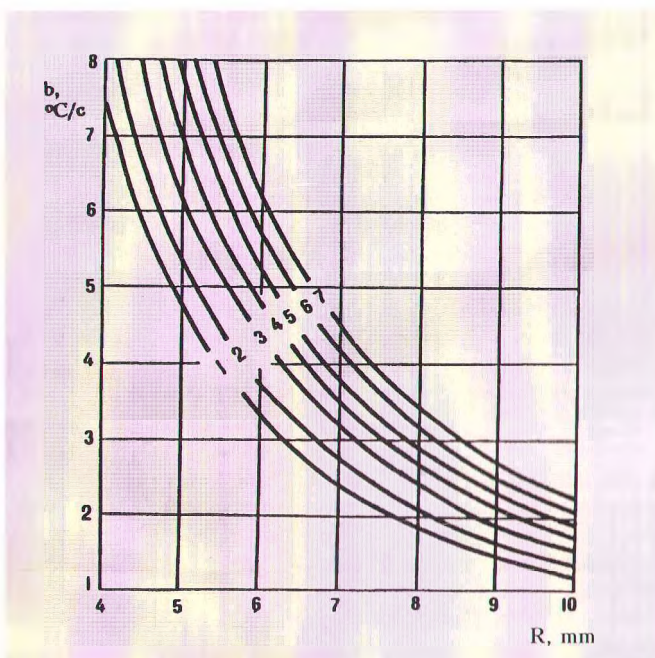


Рис. 1. Критические скорости нагрева:

1—гранодиориты; 2—мраморы; 3—диабазы, известняки; 4—кварциты; 5—граниты, диориты; 6—гнейсы; 7—габбро, базальты

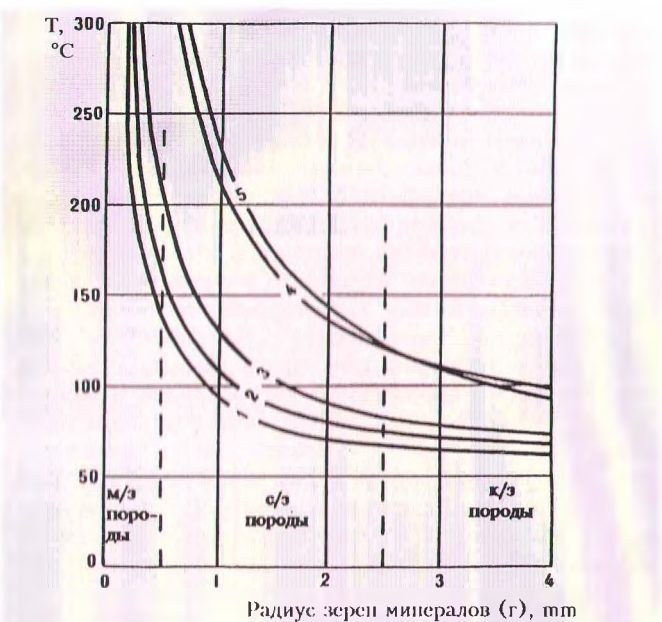


Рис. 2. Критические температуры нагрева полиминеральных каменных материалов различной структуры:

1—граниты, риолиты, диориты, андезиты; 2—гранодиориты; 3—габбро оливинное; 4—сиениты, трахиты; 5—габбро, базальты

## Литература

В технических условиях на производстве горячих асфальтобетонов будут отражены оптимальные режимы сушки и нагрева каменных материалов и температуры в сушильном барабане в зависимости от вещественного состава исходных горных пород. По нашим расчетам только учет свойств каменных материалов при производстве асфальтобетонов может обеспечить повышение их прочности на 10–15% и снизить себестоимость приготовления асфальтобетонных смесей на 8–12%.

Важной проблемой для Беларуси остается рациональное использование природных ресурсов, в том числе ресурсов нерудных каменных материалов. Назрела необходимость более глубокого изучения и учета при строительстве автомобильных дорог свойств местных грунтов, исследования способов их укрепления как традиционными вяжущими, так и новыми, которые могут быть синтезированы в условиях быстроразвивающейся химической отрасли народного хозяйства. По вопросам совершенствования техники и технологии строительства автомобильных дорог актуальной остается международная интеграция ученых и специалистов при решении проблем исследования добычи, переработки и использования нерудных каменных материалов. В этом отношении существенную роль могут сыграть научные силы Белорусской горной академии.

1. Испытания дорожно-строительных материалов. Лабораторный практикум. Грушко И. М., Золотарев В. А., Глуценко Н. Ф. и др. М.: Транспорт, 1985. 200 с.

2. Карлович М. И. Физико-механические свойства каменных материалов и асфальтобетона при интенсификации тепловых процессов в сушильных барабанах асфальтосмесителей. Канд. дис., БПИ, Мн., 1988.

3. Корулин Д. М. Геология и полезные ископаемые Белоруссии. Изд. 2-е. Мн.: Вышэйшая школа, 1976. 160 с.

4. Левков Э. А. Исследование вещественного состава гравийно-песчаных отложений Беларуси с целью их использования в народном хозяйстве. Канд. дис., Мн, 1965.

5. Леонович И. И., Стрижевский В. А., Шумчик К. Ф. Испытания дорожно-строительных материалов. Мн.: Вышэйшая школа, 1991. 232 с.

6. Махнач А. С. Концепция динамического развития Беларуси. Ресурсные возможности: Современный взгляд (доклад на пленарном заседании научного клуба). Мн., 1993. 18 с.

7. Платонов А. П. Основы материаловедения в дорожном и аэродромном строительстве. Часть 1. ЛИСИ, Л., 1991. 201 с.