

соискание ученой степени кандидата технических наук. – Харьков, 1971. – 198 с.

10. **Герман-Галкин С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Матлаб 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.

11. **Померанцев А.** Матричные операции в Excel. 2010. Режим доступа <http://rscs.chemometrics.ru/Tutorials/excel.htm>

12. Data Import and Export Режим доступа <https://www.mathworks.com/help/matlab/data-import-and-export.html>

Рукопись поступила в редакцию 10.05.2018

УДК 622.271

Ю.С. МЕЦ, А.Ю. АНТОНОВ, доктора техн. наук, профессора  
Криворожский национальный университет

## УКРАИНЕ – ЕВРОПЕЙСКИЕ ДОРОГИ

**Целью** настоящего исследования является выяснение особенностей асфальтобетонных покрытий современных автотрасс, устойчивость насыпных оснований, взлетно-посадочных полос аэродромов. Поскольку в перспективе поставлена задача создания в нашей стране условий, материалов и технологии таких сооружений, необходимо уточнить возможности сырьевой базы, учесть требования промышленности к строительным материалам и их физико-механическим характеристикам, регламентируемым соответствующими стандартами.

**Методы исследований.** Для достижения сформулированной цели выбраны направления исследований:

1. Анализ и оценка сырьевой базы Украины для производства строительного сырья необходимой номенклатуры.
2. Возможность использования архейских и протерозойских интрузивных, ультраметаморфических и метаморфических пород Украинского щита – гранитов различного состава, сиенитов, габбро, лабрадоритов, мигматитов, гнейсов, кристаллических сланцев, амфиболитов, кварцитов и песчаников.
3. Оценка технологических свойств строительных щебней по их форме (кубовидности и лещадности).
4. Анализ мировой практики эффективного производства щебня кубовидной формы.

**Научная новизна.** Решение поставленных задач и составляет актуальность данной работы. Асфальтобетонные смеси на кубовидном щебне обладают лучшей уплотняемостью за счет взаимозаклинивания зерен. Щебень же с зернами лещадной формы при уплотнении смеси вследствие слабой механической прочности частично разрушается, образуя свежие поверхности не покрытые битумом. Последние под действием атмосферных факторов (вода, мороз) могут являться первичными очагами разрушения асфальтобетонных покрытий. Повышенное содержание прочного кубовидного щебня обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, а увеличенное количество асфальтного вяжущего вещества способствует повышению водо- и морозостойкости.

**Практическая значимость и результаты.** Установлено, что в Украине насчитывается 780 объектов с разведенными запасами, в том числе 422 находятся в эксплуатации. Из них 377 месторождений, которые оценены по категории А+В +С, имеют запасы 2498036,9 тыс. м<sup>3</sup>

Наибольшее количество запасов сосредоточено в областях: Житомирской -17,7%; Полтавской – 14,53%; Кировоградской - 8,33%; Донецкой – 8,11%; Днепропетровской – 6,05%.

На территории Кировоградской и Днепропетровской областей эксплуатируются 28 и 20 месторождений соответственно. Наибольший объем продукции производится в Днепропетровской, Полтавской, Ровенской, Винницкой, Запорожской областях, которые обеспечивают более 55% потребности в щебне.

**Ключевые слова:** кубовидный щебень, дорожное покрытие, сырьевая база.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-173-177

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В связи со строительством в Украине автомобильных дорог европейского уровня, взлетных полос аэродромов, оснований для скоростных железных дорог и других ответственных сооружений возникла потребность в увеличении объемов выпуска нерудных строительных материалов, особенно щебня из скальных изверженных пород. Это обеспечивает повышенную прочность и долговечность сооружений. Однако, эти породы почти в два раза прочнее и абразивнее, чем породы осадочного происхождения и, поэтому, требуют повышенных затрат энергии при добыче и последующей механической переработке.

В настоящее время потребность в высококачественных материалах имеет тенденцию к росту, особенно в щебне кубовидной формы. Следует отметить значительные возможности Украины в сырьевой базе для получения такого щебня [1-3]. Установлено, что использование щебня кубовидной формы для приготовления асфальтобетонных смесей увеличивает качественные показатели дорожных покрытий в 2,5-3 раза по сравнению со щебнем лещадной формы. Причем, чем выше уровень кубовидности, тем меньше расход вяжущих материалов, цемента и би-

тума [4-6]. Получение щебня фракций 5-10, 10-15, 10-20 мм и смеси 5-20 мм с минимальным содержанием игольчатых и пластинчатых зерен (до 15%) на существующих щебеночных заводах, оснащенных эксцентриковыми конусными дробилками, оказалось чрезвычайно трудным делом. С увеличением прочности скальных пород резко снижается производительность дробилок по мелким фракциям и возрастает износ их деталей и узлов. Кроме того, ухудшается качество щебня, нарушается структура породы из-за появления большого числа микротрещин, снижающих прочность и морозоустойчивость материалов [7-9].

Характеризуя промышленность нерудных строительных материалов как самостоятельную отрасль, отметим, что она находится в трудном положении. Ее основные фонды изношены более чем на 80 %. До 1989 г. предприятия, в основном, работали на полную мощность. В связи с падением объемов производства в начале 1990-х годов эксплуатация машинного парка предприятий производилась в щадящем режиме. Часть незадействованного оборудования была использована в качестве запчастей. В настоящее время этот резерв практически исчерпан и возникла острейшая задача переоснащения и замены изношенного оборудования [10].

**Анализ исследований и публикаций.** Современные технологии производства строительных материалов и изделий на их основе предъявляют повышенные требования к качеству щебня, используемого, в основном, в качестве заполнителя при производстве бетонов, асфальтобетонов и дорожных покрытий. От качества щебня, в значительной мере, зависят потребительские свойства и долговечность автомобильных дорог. Особенно это относится к щебню, который используется в верхних слоях дорожной одежды, непосредственно воспринимающих высокие механические нагрузки от движущегося транспорта, находящиеся под воздействием природных факторов – переменная температура, влажность, многократное замораживание, оттаивание и воздействие антигололедных химических средств.

Применяемый в дорожном хозяйстве щебень подразделяют на три группы: щебень для устройства оснований дорог, где используются преимущественно осадочные и рыхлые породы с крупностью фракций 5-20 до 0-70 мм; щебень для нижних слоев покрытий, где используются метаморфические изверженные породы с крупностью фракций 5-20 и 20-40 мм; щебень для верхних слоев покрытий из асфальтобетонных смесей и поверхностной обработки, где используются изверженные и частично метаморфические горные породы с крупностью щебня от 5 до 20мм с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15 %, который принято называть кубовидным. Спрос на такой щебень постоянно возрастает, однако потребность в нем удовлетворяется на 30-40 % [11].

**Постановка задачи.** В перспективе поставлена задача создать в стране автомобильные дороги европейского уровня, взлетные полосы аэродромов, скоростных железных дорог и др., что будет увеличивать потребность в щебне кубовидной формы.

**Изложение материала и результаты.** Магматические породы, применяемые для производства щебня, в зависимости от содержания окиси кремния, делятся на две основные группы: кислые (окиси кремния > 60%) – в основном граниты, а также основные и средние (окиси кремния < 65%) – в основном габбро, диабазы, базальты, диориты. Щебень, изготовленный из кислых пород, обладает слабой адгезией к битуму и, чтобы ее повысить, в битум вводят специальные добавки. Щебень, изготовленный из основных пород, имеет повышенную адгезию к битуму и асфальтобетон, приготовленный из этого щебня, характеризуется низким водонасыщением и набуханием, более высокими коэффициентами водостойкости. На работу щебня в слоях дорожной одежды большое влияние оказывает форма его зерен (степень кубовидности).

Установлено, что асфальтобетонные смеси на кубовидном щебне обладают лучшей уплотняемостью за счет взаимозаклинивания зерен. Щебень же с зернами лещадной формы при уплотнении асфальтобетонной смеси вследствие слабой механической прочности частично разрушается, образуя свежие поверхности не покрытые битумом [12]. Последние, под действием атмосферных факторов (вода, мороз), могут являться первичными очагами разрушения асфальтобетонных покрытий. Повышенное содержание прочного кубовидного щебня обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, шероховатость покрытия, а увеличенное количество асфальтного вяжущего вещества способствует повышению водо- и

морозостойкости, водонепроницаемости, деформативности и усталостной стойкости защитного покрытия.

При проектировании работ по укладке асфальтобетона в покрытие грузонапряженных дорог следует иметь в виду, что больший эффект дает устойчивый каркас из щебня, а не повышенная вязкость применяемого битума. Щебень, как крупный заполнитель бетонов, образует жесткий скелет в бетоне, увеличивает его прочность и модуль деформации, уменьшает ползучесть, усадку, повышает его долговечность и сокращает расход цемента. Мелкий заполнитель – песок оказывает влияние на реологические свойства бетонной смеси – вязкость, предельное напряжение сдвига бетона, а также на его плотность. Форма зерен крупного заполнителя непосредственно влияет на удобоукладываемость бетонной смеси. Кроме этого, щебень с зернами плоской (лещадной) или игловатой формы имеет значительно большую пустотность, чем щебень с зернами кубовидной формы. Характер уплотнения балласта в процессе укладки и эксплуатации путей существенно зависит от начальной пустотности щебеночного каркаса, то есть от состава и формы зерен щебня. Предельная пустотность щебеночного балласта составляет 0,33-0,34, а начальная часть достигает 0,45-0,50, что вызвано в значительной степени наличием лещадных зерен. Лещадные и игловатые зерна ломаются под нагрузкой и повышают неравномерность осадки балласта при эксплуатации. Отечественные стандарты на щебень для балласта требуют получения двух фракций – 25-60 мм и 5-25 мм, причем содержание зерен крупнее верхнего предела и менее нижнего предела не должно превышать 5 %. Повышение скорости движения поездов вызвало изменение требований к балласту, особенно по его горизонтальной устойчивости. В результате в отечественные стандарты было внесено требование по обеспечению кубовидности щебня – ограничение содержания лещадных зерен до 18 %. Европейские стандарты также требуют ограничения лещадности щебня, используемого для железных дорог, на уровне 15-20 %.

В нашей стране сосредоточены значительные запасы сырья для производства строительного щебня. Чаще всего в их качестве используют архейские и протерозойские интрузивные, ультраметаморфические, метаморфические породы Украинского щита – граниты различного состава, сиениты, габбро, лабрадориты, мигматиты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты и песчаники.

В настоящее время в Государственном фонде месторождений полезных ископаемых насчитывается 780 объектов с разведанными запасами, в том числе 422 находятся в эксплуатации. Из них 377 месторождений, которые оценены по категории А+В+С, имеют запасы 2498036,9 тыс. м<sup>3</sup> [13]. Наибольшее количество запасов сосредоточено в областях: Житомирской – 17,3 %; Полтавской – 14,53 %; Кировоградской – 8,33 %; Донецкой – 8,11 %; Днепропетровской – 6,05 %.

В Украине функционируют около 400 предприятий по производству бутово-щебеночной продукции. Наибольший объем продукции производится в Днепропетровской, Полтавской, Ровенской, Винницкой, Запорожской областях, которые обеспечивают более 50 % потребности в щебне. На территории Кировоградской и Днепропетровской областей сегодня эксплуатируется 28 и 20 месторождений соответственно.

К крупным предприятиям Днепропетровской области относятся: Новопапавловское месторождение, Любимовское месторождение, Мишурино-Рижский карьер. К крупным предприятиям Кировоградской области относятся: Власовское месторождение (гранит), Светловодское карьероуправление; Гайворонское месторождение (мигматит); Бантышевское месторождение – ЗАО «Новоукраинский гранкарьер».

Показатели производственной мощности и обеспеченности запасами названных объектов приведены в табл. 1-4 (при этом показатель обеспеченности запасами на 30 лет означает зафиксированные значения «более 30 лет», поскольку в большинстве случаев предприятия имеют возможность существенного прироста запасов промышленных категорий). Что касается сырьевой базы горно-обогатительных комбинатов, то она практически не ограничена, но отсутствует рынок сбыта [10-15].

Таблица 1

## Сравнительный анализ добычи строительного сырья

Добыча строительного камня в Украине						
Год	Украина		Кировоградская область		Днепропетровская область	
	тыс. м <sup>3</sup>	%	тыс. м <sup>3</sup>	%	тыс. м <sup>3</sup>	%
1989	91073	100	5381	100	7490	100
2016	24236	26,6	1618	30,1	3719	49,7

Таблица 2

## Производство щебня на ГОКах Кривбасса из скальных пород вскрытых рудных месторождений

Производство щебня, тыс.м <sup>3</sup>			
Год	всего	в т.ч. товарного	%
1989	2754,2	833,6 (или 30,3%)	100
2016	1185,8	52,6 (или 4,4%)	43

Таблица 3

## Темпы роста добычи строительного камня

Страна, регион	Месторождения, которые разрабатываются			Количество лет для достижения добычи 1989 г.
	добыча по годам, тыс. м <sup>3</sup>		темпы роста добычи тыс.м <sup>3</sup>	
	2015	2016		
Украина	22127,4	24236,0	2108,6	32
Кировоградская обл.	1212,4	1617,8	405,4	10
Днепропетровская обл.	3146,7	3718,9	572,3	7

Таблица 4

## Обеспеченность балансовыми запасами месторождений строительного камня

Страна, регион	Разрабатываемые месторождения			
	запасы (А+В+С1+С2) по состоянию на 01.01.2017 г., тыс.м <sup>3</sup>	добыча в 2016 г., тыс.м <sup>3</sup>	Обеспеченность запасами, лет	
			уровни добычи	
			2016 г.	1989 г.
Украина	4475201,5	24236,0	185	49
Кировоградская обл.	523377,0	1617,8	324	97
Днепропетровская обл.	305979,8	3718,9	82	41

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Как видно из приведенных данных, действующие добычные предприятия при существующей сырьевой базе имеют на последующие десятилетия практически неисчерпаемые возможности для развития.

Вместе с тем из года в год возрастают транспортные тарифы и цены, что приводит к снижению темпов роста сбыта сырьевой продукции. Отдельное складирование добытых запасов требует отчуждения значительных площадей земли с вытекающими из этого отрицательными последствиями. Поэтому возникает необходимость в снижении затрат на добычу и увеличение (расширение) ассортимента производимой продукции, и в первую очередь, щебня кубовидной формы.

*Список литературы*

1. Арутюнов В.С., Юмашев В.М. и др. Технологии производства щебня узких фракций кубовидной формы для верхних слоев асфальтобетонных покрытий. Тр.СоюздорНИИ, 2000. - Вып. 199. - М. - С. 28-30.
2. Арутюнов В.С., Исаев В.С. и др. Роль щебня в обеспечении качества асфальтобетонных покрытий. Тр.СоюздорНИИ, 2000. - Вып. 199. - М. - С. 34-39.
3. Шлаин И Б и др. Производство щебня из карбонатных пород. М. Стройиздат, 1971.
4. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М. Стройиздат, 1969.
5. Виноградов Б.И. Влияние заполнителей на свойства бетона. М. Стройиздат, 1979.
6. Беркович В.А., Кобец В.С. Получение щебня с правильной формой зерна при «переработке абразивных пород. «Нерудные строительные материалы», Сб. Трудов, ВЯИИнеруд, 1969. - Вып. 26. - Тольятти.
7. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути. Под ред. В.Г. Альбрехта и А.Ф. Золотарского, М. «Транспорт», 1975. - 280 с.
8. Вайсберг Л.А., Шуляков А.Д. «Технологические возможности конусных инерционных дробилок при производстве кубовидного щебня». «Строительные материалы», 2000.- №1.- С. 8-9.
9. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. «Новое поколение щековых и конусных дробилок». «Строительные и дорожные машины», 2000. - № 7. - С. 16-21.
10. Буткевич Г.Р. «Промышленность нерудных строительных материалов: достигнутое и перспективы». «Строительные материалы», 2003. - № 11. - С. 2-5.

11. Буткевич Г.Р. «Современное состояние горной отрасли промышленности строительных материалов США» «Строительные материалы», 2003. - № 4. - С. 31-33.

12. Барина Я.С. «Современное состояние и проблемы горной промышленности строительных материалов». Материалы X Международной конференции «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов». Минск, 2002. - С. 27-32.

13. Данилишин Б.М., Дорогунцев С.І., Міщенко В.С. та ін. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. – Київ, 1999. – 350 с.

14. Муйземнек Ю.Ф. Конусные дробилки. - М.: из-во Машиностроение, 1970,-196с.

15. Юмашев В.М., Панфилов Ф.В. Технология и оборудование для производства щебня узких фракций кубовидной формы. «Строительная техника и технология», №4, 2002, с.76-79.

Рукопись поступила в редакцию 02.04.18

УДК 621.313.

І.І. ПЕРЕСУНЬКО, асистент, Д.С. КРАВЧЕНКО, А.С. БРАСЛАВСЬКИЙ,  
Ю.В. ШЕРСТНЬОВ, студенти  
Криворізький національний університет

## ВПЛИВ ЗМІН НАПРУГИ І ЧАСТОТИ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ НА РОБОТУ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

**Мета.** Є дослідження впливу зміни напруги і частоти мережі живлення на роботу синхронних двигунів, і виявлення аварійного режиму щоб в подальшому модернізувати електромеханічну систему та забезпечити стійку роботу обладнання з СД.

**Методи дослідження.** При проведенні розглянутого в статті дослідження вирішуються шляхом застосування, як математичного апарату були використані методи теорії стійкості і теорії електроприводу.

**Наукова новизна.** Розглянуто математичну модель аварійних режимів синхронного електроприводу, при коротких замиканнях в різних точках електричної мережі і втрати живлення внаслідок відключення від електричної мережі.

**Практична значимість.** Проведено аналіз впливу зміни напруги і частоти мережі живлення, на автоматизацію високовольтних синхронних електроприводів, і оптимізація режимів їх роботи та способів оцінки запасу стійкості в різних режимах.

**Результати.** Великі синхронні двигуни (далі СД) знаходять в даний час широке застосування в системах електроприводу насосних, компресорних і вентиляційних установок. Такі двигуни мають істотні переваги більш високим ККД у порівнянні з асинхронними машинами такої ж потужності, меншою залежністю крутного моменту від напруги, що підводиться, незалежністю частоти обертання від навантаження на валу електродвигуна, можливістю використання двигуна для компенсації реактивної потужності. Разом з тим, експлуатація синхронних двигунів супроводжується певними особливостями, пов'язаними з можливістю переходу машини в генераторний або асинхронний (щодо напруги живлення) режими роботи внаслідок короточасного зниження або відсутності напруги або втрати збудження. У той же час, як правило великі синхронні машини є споживачами першої категорії, незаплановане відключення яких може призвести до суттєвих матеріальних втрат, ризику для здоров'я і життя людей. Перераховані вище обставини призводять до необхідності комплексного підходу до заходів, спрямованих на збереження стійкості роботи синхронних машин в різних режимах.

**Ключові слова:** аварій, електромеханічних систем, мережі живлення, синхронний електропривод, втрати живлення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-177-181

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Синхронні двигуни знаходять дуже обмежене застосування на початку 20-го століття не дивлячись на їх очевидну перевагу - можливість роботи з видачею реактивної потужності. [7] Пов'язано це було з складністю пуску таких машин - розворот до підсинхронних частоти обертання здійснювався або допоміжним двигуном, або пусковою обмоткою, конструкція якої в той час була погано оптимізована. Пропонувалися також більш екзотичні варіанти машин, наприклад, «Ультрасинхронний двигун» статор якого при пуску приводився в рух таким чином, щоб його частота обертання щодо ротора завжди була синхронною [8].

За останні роки виконано велику кількість досліджень в напрямку контролю і підвищення стійкості роботи синхронних двигунів при короточасній втраті харчування, це показує, що тема є актуальною і розробляється багатьма науково-дослідними колективами.