

УДК 621.9.048:625.855.3

МЕЖФАЗНЫЕ КОНТАКТЫ В БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ УСИЛЕНИЕ

Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kov-nata@mail.ru

В настоящее время при строительстве дорогих покрытий почти 98 % составляют битумоминеральные материалы (в том числе асфальтобетон). Для снижения их стоимости широко применяются огромные запасы местных минералов (кварцевые пески) и отходы промышленности в виде отработанных формовочных смесей (побочный продукт литейного производства). Такой подход экономически и экологически вполне оправдан, но требует теоретического обоснования, поскольку в естественном состоянии адгезионное взаимодействие в системе битум – кварцевая подложка (SiO_2 более 95 %) является слабым, а при воздействии воды – еще снижается. В связи с этим объективно возникает необходимость коренного совершенствования технологии битумоминеральных композиций для обеспечения надежности дорожных покрытий с использованием кремнеземных компонентов.

Все представления об усилении адгезионной связи в системе «кварцевая минеральная подложка – битум» традиционно носят физико-химический характер, и в них используются в основном методы коллоидной химии. В статье сделана попытка рассмотреть этот вопрос на основе молекулярно-кинетической теории строения вещества, учитывая, что общепринятые расчеты межмолекулярных взаимодействий компонентов в системе « SiO_2 – органическое вяжущее (ОВ) вещество» отсутствуют.

В качестве теоретической предпосылки используется следующее общеизвестное в физике положение: так как каждый атом и молекула любого вещества имеют собственные электромагнитные поля, то действие внешних электромагнитных полей вызывает их взаимодействие, приводящее к возбуждению электронов, деформациям и разрыву химических связей. Анализ литературы свидетельствует о том, что существующие электрические связи между компонентами систем SiO_2 –ОВ дают основания для применения различных электрофизических методов, воздействующих на эти компоненты с целью усиления их адгезионного взаимодействия.

С учетом указанных позиций в статье рассмотрены вопросы определения энергии связи при физической адсорбции и адгезии в системе SiO_2 –ОВ.

Ключевые слова: межфазные контакты, битумоминеральные системы, активация, энергия связи.

Ил. 1. Библиогр.: 13 назв.

INTER-PHASE CONTACTS IN BITUMEN-MINERAL SYSTEMS AND THEIR STRENGTHENING

KOVALEV Ya. N.

Belarusian National Technical University

Presently bitumen-mineral materials (including asphalt-concrete) comprise nearly 98 % for construction of expensive road pavement. Large resources of local minerals (quartz sand) and industrial wastes in the form of used molding sand (foundry by-product) are widely applied for reduction of their cost. Such approach is economically and ecologically reasonable but it requires its justification because an adhesion interaction in the bitumen-quartz substrate system (with SiO_2 more than 95 %) is rather poor in natural state and due to water action it is still more decreasing. In this connection an objective necessity arises to modify significantly technology of bitumen-mineral compositions for ensuring reliability of road pavements while using silicon components.

All the ideas pertaining to strengthening of adhesion bonds in the "quartz mineral substrate – bitumen" system are traditionally of physical and chemical nature and they presuppose mainly usage of colloidal chemistry methods. The paper considers the matter on the basis of molecular kinetic theory of matter taking into account the fact that there is absence of generally accepted calculations for intermolecular interactions of components in the SiO_2 – organic matrix material system.

As a theoretical supposition the following well-known regulatory principle in physics is used: as every atom or molecular have its own electromagnetic field then action of external electromagnetic fields initiates their interaction that leads to excitement of electrons, deformations and rupture of chemical bonds. Literature analysis shows that the existing electric bonds between components of the SiO_2 – organic matrix material system provide the possibility to apply various electro-physical methods having an effect on these components with the purpose to strengthen their adhesion interaction.

The paper investigates matters for determination of bond energy during physical adsorption and adhesion in the SiO_2 – organic matrix material system with due account of the indicated principles.

Keywords: interphase contacts, bitumen-mineral systems, activation, bond energy.

Fig. 1. Ref.: 13 titles.

В настоящее время в мире остро стоят вопросы экологии и снижения затрат во всех сферах производственной деятельности. Исходя из этого тезиса анализ проблемы включает две предпосылки.

Первая из них – экологическая. Она заключается в том, что нужен перевод всей экономики на безотходную и малоотходную технологию. Именно она должна стать сердцевинной рождающейся сейчас новой науки о переработке отходов – капрологии. Итак, первое – утилизация отходов, сокращение затрат. Отсюда следует, что в дорожном строительстве необходимо максимально использовать местные некондиционные материалы и отходы промышленности, какими, в частности, являются огромные запасы кварцевых песков и отработанных формовочных смесей, т. е. кремнеземистых материалов.

Вторая предпосылка – технологическая, базирующаяся на обеспечении надежности дорожных покрытий, материал которых содержит некондиционные компоненты. Это необходимо осуществлять за счет коренного совершенствования технологических процессов, применяя высокие технологии [1].

Таким образом, выявляется четкая взаимосвязь: экология – надежность дорожных покрытий с использованием некондиционных материалов – обеспечение прочности и долговечности битумоминеральных материалов (БММ) с некондиционными компонентами. Существует общеизвестная концепция, объясняющая природу прочности БММ, обусловленной битумными связями. Все представления об усилении адгезионной связи в системе «минеральная подложка – битум» обычно сводятся к те-

зису, что устойчивое сцепление возможно только при хеомадсорбционном взаимодействии битума с минеральным материалом. С этим можно полностью согласиться, вопрос заключается лишь в выборе путей усиления таких межфазных контактов.

Известные работы, рассматривающие этот вопрос, традиционно носят физико-химический характер, и в них используются в основном методы коллоидной химии [2–7]. Имеются попытки изучить роль органических вяжущих материалов в обеспечении работоспособности асфальтобетонных покрытий на основе молекулярно-кинетической теории строения вещества [8].

Вместе с тем, расчет межмолекулярных взаимодействий компонентов в системе « SiO_2 – органическое вяжущее вещество» отсутствует. Контактные взаимодействия SiO_2 и ОВ энергетически весьма незначительны, что доказано экспериментально. Это является одной из серьезных причин образования многочисленных деформаций и разрушений БММ в дорожных покрытиях. Так как каждый атом и молекула любого вещества имеют электрические и магнитные поля, то действие внешних электрических и электромагнитных полей вызывает их взаимодействие, приводящее к возбуждению электронов, деформациям и разрыву химических связей.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что существующие электрические связи между компонентами системы SiO_2 –ОВ дают основание для применения различных электрофизических методов, воздействующих на эти компоненты с целью усиления их адгезионного взаимодействия. Исследование систе-

мы $\text{SiO}_2\text{--OB}$, проведенное с позиции активационно-технологической механики, позволило сделать следующие выводы, явившиеся предпосылкой для разработки технологии активации твердо- и жидкофазных компонентов БММ [9, 10]:

1. Поверхность зерен кремнезема состоит из силонольных (Si--OH) и силоксановых (SiO--Si) групп, образующихся при механическом разрушении зерен. При этом характерен мозаичный характер электрической зарядки поверхности, в большинстве случаев носящей отрицательный заряд.

2. Тонкий поверхностный слой активированного кремнезема при контакте с водой частично растворяется и образует монослой гидроксильных групп (OH).

3. Под действием механических нагрузок и трения на поверхности SiO_2 возникают некомпенсированные электрические заряды, знак которых обусловлен величиной работы выхода электрона контактирующего материала.

4. Жидкие ОБ являются высокомолекулярными соединениями, молекулы которых обладают дипольным моментом.

5. На границе раздела фаз в системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$ в присутствии влаги существует двойной электрический слой (ДЭС), строение которого определяется величиной заряда минеральной поверхности и диполем полярных молекул вяжущего вещества.

6. Под действием внешнего электрического поля полярные молекулы высокомолекулярных органических вяжущих веществ деформируются, что стимулирует рост их дипольного момента.

7. Адгезия ОБ к SiO_2 (подложке) имеет электрическую природу, а разрушение адгезионных контактов между адгезивом и минеральной поверхностью представляет физический механизм, аналогичный раздвижению обкладок конденсатора, образованного ДЭС.

8. Стимулирование плотности электрических зарядов на поверхности SiO_2 приводит к возрастанию величины адгезии к ним ОБ, а также росту когезионной прочности пленки самого вяжущего вещества.

В основу анализа усиления межфазных контактов в исходной системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$ положена следующая комплексная рабочая гипотеза [9]:

1) надежная энергетическая связь E между парой взаимодействующих материалов (SiO_2 и ОБ) может быть обеспечена за счет активации одного из них (или обоих одновременно);

2) при неудовлетворительном адгезионном контакте между взаимодействующими материалами их надежная энергетическая связь может быть обеспечена не непосредственно, а через промежуточный (буферный) слой в виде ПАВ. В этом случае анализируется тройная система $\text{SiO}_2\text{--ПАВ--OB}$ (рис. 1);

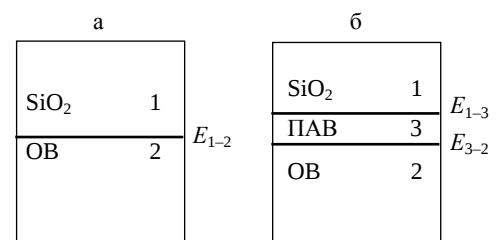


Рис. 1. Структурные схемы межфазных контактов в системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$: а – бинарная система $\text{SiO}_2\text{--OB}$; б – тройная система $\text{SiO}_2\text{--ПАВ--OB}$; жирными линиями показаны гранулы раздела фаз; E – энергия связи между фазами (1–3)

3) при анализе взаимодействия SiO_2 и ОБ используется квантовомеханический подход, позволяющий перейти от качественных оценок к приближенным количественным (расчетным). Привлечение квантовомеханических представлений понадобилось также для обоснования методики экспериментальных исследований, выбора соответствующих режимов активации твердофазных компонентов БММ и объяснения механизма явлений.

Анализ экспериментальных данных и результатов квантовомеханических расчетов, проведенных в Институте физики АН Литвы, свидетельствует о том, что в молекулах ряда веществ существует группа атомов (функциональные группы), для которых характерно квазипостоянство некоторых физических величин: пространственного строения, характерных колебаний и химической активности. Эти функциональные группы (CH_3 , NH_2 , CH_2 , C_6H_5 и т. д.), называемые фрагментами, включают в себе значительный потенциал активности взаимодействующих веществ. Однако пока не найдены эффективные методы раскрытия этого потенциала и управления им для решения инженерных задач.

Исходя из квантовомеханических представлений, для удобства анализа межмолекулярные взаимодействия упрощенно рассматриваются в виде взаимодействия двух силовых центров.

Суммарная энергия связи между силовыми центрами при активации одного из взаимодействующих веществ равна сумме энергий $\Sigma E_{\text{св}}$ ковалентной связи атомов $E_{\text{ков}}$ и энергии ионной связи $E_{\text{ион}}$. Известно, что в природе нет чисто ионных или чисто ковалентных связей, поэтому можно говорить о преимущественно ионном или ковалентном их характере. Для дипольных молекул необходимо также учитывать еще и диполь-дипольные взаимодействия $E_{\text{дип}}$

$$\Sigma E_{\text{св}} = E_{\text{ков}} + E_{\text{ион}} + E_{\text{дип}}.$$

С этих позиций рассмотрены вопросы определения энергии связи при физической адсорбции и физической адгезии в системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$. Расчеты показали, что вблизи трибоактивированной поверхности частиц SiO_2 молекулы газообразного битума будут распадаться с тенденцией повышения их адсорбции на подложку и образовывать «чисто углеродные» слои

$$\Sigma E_{\text{св(OB)}} < \Sigma E_{\text{св(SiO}_2\text{--OB)}}.$$

$$(1,8 \text{ эВ}) \quad (3,23 \text{ эВ})$$

Это положение косвенно подтверждается экспериментальными данными других авторов. В частности, известно, что хемосорбция двухатомных и более сложных молекул может осуществляться в режиме диссоциативной адсорбции. При этом происходят разрыв связи между атомами адсорбируемой молекулы и присоединение ее атомов к адсорбенту. В случае неактивированной поверхности SiO_2 адсорбция битумов на ней не приводит к распаду самих молекул битума, поскольку в данном случае возникает лишь слабое Ван-дер-Ваальсово взаимодействие

$$\Sigma E_{\text{св(OB)}} > \Sigma E_{\text{св(SiO}_2\text{--OB)}}.$$

$$(1,8 \text{ эВ}) \quad (1,52 \text{ эВ})$$

Полученные значения для энергии взаимодействия в системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$ могут быть использованы при расчетах режима так называемой газовой технологии асфальтобетона (предварительная модификация трибоактивированных дисперсных частиц SiO_2 в газовом потоке OB). Автором также теоретически про-

анализирован вопрос определения связи в системе $\text{SiO}_2\text{--OB}$ при физической адгезии.

В технологическом процессе приготовления качественной асфальтобетонной смеси важно знать, какое количество мономолекулярных слоев битума участвует в смачивании кремнеземистой поверхности, образуя на ней ту или иную толщину пленки. Вопрос определения толщины пленки битума на минеральной подложке получил свое отражение в работах профессоров Н. В. Горелышева [11], И. В. Королева [12] и др. Целью этих исследований было совершенствование структурообразования БММ и экономии битума. В рассматриваемом автором случае ставилась цель оценить не толщину битумной пленки, а качественную картину расположения мономолекулярных слоев битума на минеральной подложке в зависимости от энергетического состояния ее поверхности.

Первый мономолекулярный слой при физической адгезии обладает сравнительно большей энергией связи битума с поверхностью SiO_2 (1,52 эВ неактивн., 3,23 эВ активн.). Второй слой связан с первым уже диполь-дипольным взаимодействием, величина которого равна 0,061 эВ. Если энергия диполь-дипольного взаимодействия N -го слоя с предыдущим слоем равна энергии теплового движения, то такая связь полностью нарушается и последующие слои битума не будут испытывать воздействие подстилающей поверхности частиц кремнезема.

Количество адсорбированных мономолекулярных слоев на подложке зависит от температуры и определяется по формуле

$$N = 1 + \frac{\ln \frac{3}{2} \frac{kT}{E_{\text{дип}}(1 - P_1)}}{\ln(1 - P_1)},$$

где $E_{\text{дип}}$ – энергия диполь-дипольного взаимодействия битумных слоев; T – температура; k – постоянная Больцмана; P_1, P_2 – вероятности, оценивающие связь молекул битума с поверхностью SiO_2 и между собой.

Приближенные расчеты показывают, что при температуре выше 140 °С в адгезионном процессе участвуют до трех мономолекулярных слоев (толщина пленки битума составляет $1,95 \cdot 10^{-2} \cdot 3 = 5,85$ мкм), т. е. практически фи-

зическая адгезия переходит в физическую адсорбцию. И лишь с понижением температуры число ориентированных мономолекулярных слоев доходит до семи-десяти и толщина битумной пленки составляет 13,7–19,5 мкм.

Расчеты числа мономолекулярных слоев битума проводили исходя из предпосылки, что все электрические дипольные моменты первого монослоя атомов углерода битума на поверхности SiO_2 имеют упорядоченное направление, обеспечивая при этом минимальное расстояние между силовыми центрами. Однако в нормальных условиях такое не наблюдается.

Чтобы получить полностью упорядоченное состояние слоя битума (искусственная ускоренная полимеризация), необходимо учесть, что электрические диполи приобретают строго ориентированное направление лишь во внешнем, искусственно созданном электрическом поле. Отсюда следует важный практический вывод: поверхность твердых мелкодисперсных компонентов в системе SiO_2 –ОВ должна быть искусственно наэлектризована, что позволит не только упорядочить отдельные электрические диполи молекул битума, но и развернуть структурный комплексный ион аморфизированного SiO_2 в поверхностном слое минеральных частиц таким образом, чтобы было обеспечено минимальное расстояние между силовыми центрами взаимодействующих компонентов в рассматриваемой системе. Таким образом, для усиления межфазных (адгезионных) контактов в системе SiO_2 –ОВ необходимо, прежде всего, подвергнуть электрической активации поверхность частиц SiO_2 с частичной их амортизацией.

Разработанная в БНТУ новая технология получения трибоактивированных песков сводится к одновременной реализации двух операций: трибоэлектризации поверхности частиц песка и их обработке катионным или анионным ПАВ (в зависимости от знака наведенного поверхностного заряда). Установлено, что у асфальтобетона с использованием трибоактивированного песка (в качестве модификатора применяли водный раствор извести) модуль упругости был больше на 15–20 % по сравнению с асфальтобетоном на обычном песке. Также показано, что склонность асфальтобетона с трибоактивированным песком к усталостному разрушению в 1,2 раза ниже по сравне-

нию с асфальтобетоном на обычном песке при длительности воздействия нагрузки 0,2 с и в 1,6 раза – при 10,0 с.

Необходимо отметить, что в настоящее время весьма перспективными представляются селективные методы тонкоструктурной спектроскопии, которые позволяют получать богатую информацию о свойствах молекул, их электронных облаков и колебаний ядер. Благодаря этим методам можно изучать взаимодействие молекул исследуемого адсорбента с молекулами адсорбата. Указанные методы также дают возможность использовать люминесцирующие молекулы как микрозонды для изучения свойств поверхности твердых тел в процессе их трибоактивации.

Ряд исследователей отмечают эффективность воздействия внешних электрических полей на процессы структурирования жидких компонентов твердеющих композиционных материалов. Таким образом, альтернативным решением задачи по усилению межфазных контактов БММ является также электрическая активация органического вяжущего вещества. Часть исследований в этом направлении уже выполнена. Они основаны на использовании электрогидравлического эффекта, эффектов вихревого слоя и взрывов кислородно-водородных смесей, получаемых в электролизере.

Исследования показали, что электронно-ионная технология может явиться основой для модификации органических вяжущих, используемых в качестве активаторов при получении минерального порошка из кислых горных пород. Обработку битума осуществляли на специально разработанной установке, функционирующей по принципу электрогидравлического эффекта, возникающего в среде органического вяжущего. Плазма разрядов, пробегающая вдоль силовых электродов, проталкивает и увлекает за собой вяжущее, перемешивая его и одновременно комплексно обрабатывая. В результате такого воздействия в вяжущем образуются реакционно-способные радикалы, при этом из углеводородной оболочки освобождаются химически активные функциональные группы, которые могут создавать прочные связи с кремнеземсодержащими наполнителями и заполнителями. Учитывая опыт и исследования по обработке битума ультразвуком [13], в перспективе

возможен монтаж на АБЗ модульных электрогидравлических установок (колонок), специально разработанных для активации вязкого дорожного битума, а также синтеза новых комплексных органических вяжущих, создаваемых на основе электронно-ионной технологии для реализации полученных результатов и дальнейшего развития исследований в области активационно-технологической механики БММ. В связи с этим требуется решение задач:

1) провести анализ явлений, происходящих на поверхности капель распыляемых поверхностно-активных веществ (или битума) в переменном электромагнитном поле, что позволит разработать турбосмеситель для газовой технологии получения асфальтобетонных смесей;

2) разработать каплеобразователь, учитывающий реологический эффект «механической памяти» жидкой среды, определяемой спектром времени ее релаксации до и после распыления в переменном электрическом поле;

3) разработать теоретические основы компьютерной реофизики оптимальных структур БММ на основе создания электрических моделей их реологических свойств.

ВЫВОДЫ

Существующие электрические связи между компонентами системы $\text{SiO}_2\text{—ОВ}$ дают основание для применения различных электрофизических методов, воздействующих на эти компоненты с целью повышения их адгезионного взаимодействия. В частности, надежная энергетическая связь между парой взаимодействующих материалов (SiO_2 и ОВ) может быть обеспечена за счет активации одного из них (или обоих одновременно) с применением «буферного» слоя в виде поверхностно-активного вещества. Расчетно-теоретические исследования подтвердили перспективность опытно-промышленных разработок по данной проблеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь, П. А. Высокие технологии и наноматериалы в строительной индустрии / П. А. Витязь, В. Г. Горбцов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – С. 4–16.
2. Айлер, Р. К. Химия кремнезема. Растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия: в 2 ч. / Р. К. Айлер. – М.: Мир, 1982. – 1127 с.

3. Алексеева, Е. А. Влияние коллоидных пленок на зернах песка на процессы взаимодействия с битумом / Е. А. Алексеева // Труды Харьк. автомоб. дорож. ин-та. – 1954. – № 17. – С. 75–80.

4. Колбановская, А. С. Влияние природы битума и поверхности каменного материала на свойства битума в тонких слоях / А. С. Колбановская, Л. И. Ефимов // Автомобильные дороги. – 1962. – № 7. – С. 15–17.

5. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 1969. – 399 с.

6. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции / Б. Г. Печеный. – М.: Химия, 1990. – 256 с.

7. Реофизика конгломератных материалов / З. П. Шульман [и др.]; под общ. ред. З. П. Шульмана. – Минск: Наука и техника, 1978. – 240 с.

8. Гохман, Л. М. О роли органических вяжущих материалов в обеспечении работоспособности асфальтобетона / Л. М. Гохман // Автомобильные дороги. – 1987. – № 7. – С. 21–23.

9. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я. Н. Ковалев. – Минск: Бел. Эн., 2002. – 336 с.

10. Ковалев, Я. Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона / Я. Н. Ковалев. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 180 с.

11. Горельшев, Н. В. Механические свойства битума в тонких слоях / Н. В. Горельшев, Т. Н. Акимова, И. И. Пименова // Труды МАДИ. – Москва, 1958. – Вып. 23. – С. 42–54.

12. Королев, И. В. Пути экономии битума в дорожном строительстве / И. В. Королев. – М.: Транспорт, 1986. – 149 с.

13. Зинченко, В. Н. Исследование влияния ультразвуковой обработки битума на структурообразование и свойства асфальтобетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.23.05 / В. Н. Зинченко. – Харьков: ХАДИ, 1979. – 28 с.

REFERENCES

1. Vityaz, P. A., & Gorobtsov, V. G. (2009) High Technologies and Nano-Materials in Construction. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Industry and Engineering], 6, 4–16 (in Russian).
2. Iler, R. K. (1979) The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica. Chichester, Wiley-Interscience Publication. 866 p. (Russ. ed.: Iler, R. K. (1982). *Khimiia Kremnezema*. Moscow, Mir. 1127 p.)
3. Alexeeva, E. A. (1954) Influence of Colloidal Films on the Surface of Sand Grains on Interaction with Bitumen. *Trudy Khar'kovskogo Avtomobil'nogo Dorozhnogo Instituta* [Proceedings of Kharkov Automobile and Highway Institute], 17, 75–80 (in Russian).
4. Kolbanovskaya, A. S., & Efimov, L. I. (1962) Influence of Bitumen Nature Stone Material Surface on Bitumen Properties in Thin Layers. *Avtomobilnye Dorogi* [Automobile Highways], 7, 15–17 (in Russian).
5. Rybiev, I. A. (1969) *Asphalt Concrete*. Moscow, Vysshaya Shkola. 399 p. (in Russian).
6. Pechiony, B. G. (1990) *Bitumen and Bitumen Compositions*. Moscow, Khimia. 256 p. (in Russian).

7. **Shulman, Z. P.**, Kovalev, Ya. N., & Zal'tsgendler, E. A. (1978) *Rheophysics of Conglomerate Materials*. Minsk, Nauka i Tekhnika. 240 p. (in Russian).

8. **Gokhman, L. M.** (1987) On Role of Organic Bonding Materials for Better Performance of Asphalt Concrete. *Avtomobilnye Dorogi* [Automobile Highways], 7, 21–23 (in Russian).

9. **Kovalev, Ya. N.** (2002) *Activation Technologies of Highway Composite Materials*. Minsk, Belorusskaya Entsiklopedia. 336 p. (in Russian).

10. **Kovalev, Ya. N.** (1990) *Activation Technological Mechanics of Highway Asphalt Concrete*. Minsk, Vysheyshaya Shkola. 180 p. (in Russian).

11. **Gorelyshev, N. V.**, Akimova, T. N., & Pimenova, I. I. (1958) Mechanical Properties of Bitumen in Thin Layers. *Trudy MADI* [Proceedings of MADI (Moscow State Automobile & Road Technical University)], Issue 23, 42–54 (in Russian).

12. **Korolev, I. V.** (1986) *Direction of Bitumen Economics in Road Construction*. Moscow, Transport. 149 p. (in Russian).

13. **Zinchenko, V. N.** (1979) *Issledovanie Vlianiia Ul'trazvukovoi Obrabotki Bituma na Strukturoobrazovanie i Svoistva Asfal'tobetona*. Avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk [Investigation of Bitumen Ultrasonic Treatment Influence on Structure Formation and Asphalt Concrete Properties. Dr. tech. sci. diss.]. Kharkov, 28 p. (in Russian).

Поступила 12.12.2013

УДК 691-492

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ РЕИНЖИНИРИНГА ТЕХПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА И СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Докт. геол.-минерал. наук, проф. БУСЕЛ И. А., инж. БУСЕЛ П. И.

УП «Инжгеострой»

E-mail: pavel.busel@gb.by

Процесс помола характеризуется высокой энергоемкостью и низкой производительностью. Эффективность шаровых мельниц, применяемых в настоящее время для помола, достаточно низкая. Только 3–6 % подаваемой электроэнергии идет на измельчение материала. Остальная часть в форме теплоты, вибрации и шума теряется. Проблема снижения энергозатрат на помол весьма актуальна.

Повышение эффективности и качества технологического процесса измельчения сырьевых компонентов при производстве строительных материалов с целью снижения энергоемкости помола является одной из приоритетных задач энерго- и ресурсосбережения в строительной отрасли. Для уже существующих производств повышение эффективности измельчения целесообразно проводить путем модернизации имеющегося на предприятии оборудования и существующих технологических, управленческих и других процессов, связанных с помолом минерального сырья. Чтобы снизить энергоемкость измельчения, необходимо выполнить комплексный реинжиниринг технологического процесса измельчения различных материалов, основанный на использовании новых модификаций мелющих тел, физических и химических интенсификаторов помола, современных информационных технологий и средств промышленной автоматизации. Применение современных информационных технологий и средств промышленной автоматизации позволяет вести процесс измельчения с производительностью, максимально достижимой для существующих мощностей за счет автоматического управления и учета непрерывных изменений технологических параметров. Кроме того, это дает возможность управлять процессом в реальном времени путем оперативной перестройки режимов технологического оборудования.

В статье рассмотрен подход к разработке методологии реинжиниринга технологического процесса измельчения сырьевых компонентов при производстве стройматериалов. Изложено современное состояние техпроцесса помола. Отмечена необходимость совершенствования технологического оборудования, используемого при измельчении сырьевых компонентов с целью повышения эффективности и качества, энерго- и ресурсосбережения. Показана возможность использования различных интенсификаторов помола, позволяющих повысить производительность измельчения. Рассмотрена концепция автоматизации системы управления процессом измельчения минерального сырья. Предложена концептуальная модель комплексирования различных методов и средств интенсификации процесса измельчения. Изложены методологические основы моделирования техпроцесса переработки минерального сырья при производстве цемента и силикатных изделий. Определены контролируемые параметры, необходимые для создания компьютерных моделей техпроцесса помола. Обосновано применение при создании компьютерных моделей имитационного моделирования. Рассмотрена методика имитационного моделирования техпроцесса. Указано на возможность использования аналитических и вероятностных методов. Разработаны и построены имитационные модели работы шаровой мельницы на основе