

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-497-501>

УДК 625.855.3

## Теоретические предпосылки упрочнения микроструктуры поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий с помощью коллоидного вещества

Канд. техн. наук М. К. Пшембаев<sup>1)</sup>, докт. техн. наук, проф. Я. Н. Ковалев<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018  
Belarusian National Technical University, 2018

**Реферат.** Исходя из гипотезы «вечных дорог», решение проблемы прочности и долговечности дорожных бетонных покрытий в значительной мере определяется теоретическими предпосылками, положенными в основу технологии упрочнения микроструктуры их верхнего поверхностного слоя. Применение мелкозернистого бетона с использованием ультрадисперсных добавок частично помогает получить упрочненный верхний слой таких покрытий. Вместе с тем для разработки технологических параметров требуются дальнейший поиск и развитие теоретического анализа данной проблемы. Исследований по этому направлению крайне недостаточно, и затронутый вопрос продолжает оставаться актуальным. Известен метод применения коллоидного цементного клея и активированного торкрет-раствора для усиления сцепления нового и старого бетона в инженерных конструкциях. Однако исследования в области защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений отсутствуют. Это сдерживает широкое применение указанных приемов в инженерной практике эффективного содержания бетонных покрытий. В данном случае представляет интерес рассмотрение имеющихся теоретических положений о существовании квантовой механики структурообразования в системах, состоящих из коллоидно-дисперсных частиц. Такой подход в дорожном бетоноведении является новым, он связан с возможностью регулирования процессов микромеханики структурообразования в минеральных системах при создании защитных поверхностных слоев в дорожных бетонных покрытиях. Этой проблеме и посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** долговечность дорожных бетонных покрытий, структурообразование в минеральных системах, коллоидно-дисперсные частицы, квантово-механические эффекты

**Для цитирования:** Пшембаев, М. К. Теоретические предпосылки упрочнения микроструктуры поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий с помощью коллоидного вещества / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 6. С. 497–501. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-497-501>

## Theoretical Prerequisites for Strengthening Micro-Structure of Surface Layer in Road Concrete Pavement by Colloid Material

М. К. Pshembaev<sup>1)</sup>, Ya. N. Kovalev<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Assuming that there are perpetual roads solution of the problem pertaining to strength and longevity of road concrete pavements are mainly determined by theoretical prerequisites which are considered as basic ones in technology for strengthening micro-structure of their top surface layer. Application of fine grain concrete with ultra-disperse additives partially helps to obtain strengthened top layer of such pavements. At the same time further search and improvement of theoretical analysis for the given problem are required for development of technological parameters. Investigations on this direction are

### Адрес для переписки

Ковалев Ярослав Никитич  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 150,  
220114, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 265-97-28  
ftk75@bntu.by

### Address for correspondence

Kovalev Yaroslav N.  
Belarusian National Technical University  
150 Nezavisimosty Ave.,  
220114, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 265-97-28  
ftk75@bntu.by

rather insignificant and the problem continues to be considered as an actual one. There is a known method for application of colloid cement glue and activated gunite solution for strengthening binding of new and old concrete in engineering structures. However it is necessary to point out the fact that investigations in the field of protection of road concrete pavements against corrosion destructions are actually absent. Such approach restrains a wide application of the mentioned methods in engineering practice for provision of efficient maintenance of concrete pavements. In this case it is necessary to consider the existing theoretical statements on the essence of quantum structure-formation mechanics in the systems consisting of colloid-disperse particles. This approach to road concrete science is accepted a new one and it is connected with the possibility to regulate processes of structure-formation micro-mechanics in mineral systems while creating protective surface layers in road concrete pavements. The given paper is devoted to this problem.

**Keywords:** longevity of road concrete pavements, structure formation in mineral systems, colloid-disperse particles, quantum-mechanical effects

**For citation:** Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N. (2018) Theoretical Prerequisites for Strengthening Micro-Structure of Surface Layer in Road Concrete Pavement by Colloid Material. *Science and Technique*. 17 (6), 497–501. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-6-497-500> (in Russian)

## Введение

Значительный интерес, с точки зрения анализа формирования прочной микроструктуры в поверхностном слое бетонных покрытий, представляют результаты экспериментально-теоретических исследований, приведенные в [1]. Здесь авторы впервые показали, что механизм упрочнения микроструктуры системы, состоящей из коллоидно-дисперсных частиц в бетоне, носит квантово-механический характер. Было выявлено, что в системах, имеющих в начальной стадии неупорядоченную структуру, вследствие проявления квантово-механических эффектов [2, 3] самопроизвольно образуются более упорядоченные пространственные структуры [4]. При этом показано, что квантово-механические эффекты обусловлены наличием термоэлектродинамического потенциала дегидратационного или десорбционного диспергирования (ДДД) коллоидных частиц и переменного электрического тока в образующейся системе.

Установленные авторами [1] потенциал ДДД и переменный электрический ток возникают при изменении термодинамических условий системы. Это происходит в процессе ее дегидратации или десорбции в результате микроэнергетического взаимодействия между коллоидными цементными частицами и образующимися при этом газообразными ионизированными частицами, отрывающимися с поверхности коллоидных цементных частиц. В этом случае, как выявлено в [1], взаимодействия между коллоидными частицами и газообразным веществом сопровождаются поляризацией

или появлением диполей [2, 3], что и определяет их квантово-механический характер.

## Теоретические основы упрочнения поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий

Авторы [1] показали, что коллоидная система в процессе структурообразования обладает способностью генерировать электрическую энергию. При этом ими экспериментально доказано, что комплексное явление конденсационно-кристаллизационного образования структурированных дисперсных систем с участием газовой фазы и квантово-механических эффектов, а также термоэлектродинамического потенциала создает энергетическое поле, в области которого коллоидные частицы в момент дегидратационно-десорбционного диспергирования, помимо броуновского движения, получают комбинированные перемещения: колебательное – от колеблющихся электрических зарядов и поступательное – от термоэлектродинамического потенциала дегидратационного или десорбционного диспергирования. Такое перемещение способствует максимальному уплотнению системы. Конденсирующиеся при этом на поверхность коллоидных частиц монослои из газовой среды, проявляя диполи [3], обеспечивают прочные химические связи между коллоидными частицами. В результате происходит чрезвычайно высокое уплотнение всей системы. В [1] показано, что в дисперсных коллоидных системах существуют различные энергетические уровни, которые отражают определенные виды связей коллоидных частиц при

образовании структурированных дисперсных систем. Выделено три таких уровня: I, II, III.

I уровень электростатических взаимодействий характерен при коагуляционном структурообразовании. Это проявляется в виде слабых сил Ван-дер-Ваальса, когда электронные оболочки не перекрываются и возникает только действие сил притяжения. К этому уровню относится коагуляционное твердение «структур высыхания» (в частности, твердение глин).

Ко II уровню относится коагуляционное твердение минеральных вяжущих типа гипса. В процессе твердения между коллоидными частицами возникают значительные по величине силы Ван-дер-Ваальса. Взаимодействие между частицами обусловлено ориентационным, индукционным и дисперсионным эффектами [3], но химической связи между частицами не возникает.

III уровень – это конденсационно-кристаллизационное твердение минеральных вяжущих типа цементного алита ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ). Как установлено в [5], гидратация алита протекает циклично с выделением большого количества теплоты, что вызывает дегидратацию образовавшегося геля. При этом с коллоидных зерен вместе с водой переходят в газовую фазу ионизированные частицы, вследствие чего возникает термоэлектрокинетический потенциал ДДД [6, 7]. В образовавшемся переменном электрическом поле коллоидные частицы получают комплексные перемещения (колебательные и поступательные). Такое движение коллоидных частиц, вызванное квантово-механическим эффектом, становится упорядоченным [2, 3], приводит их к резкому сближению и в результате – к предельному уплотнению дисперсной системы. Этому также способствует параллельно протекающий процесс конденсации мономолекулярных слоев из кремнекислородных соединений в форме  $\text{Si}(\text{OH})_4$  на поверхностях коллоидных частиц. Такой процесс объясняется проявлением квантово-механических эффектов: содержащиеся в атомах электроны находятся в непрерывном движении, при котором распределение зарядов внутри атомов становится несимметричным, в результате чего возникают мгновенные диполи [2, 3]. При конденсации монослоев из кремнекислородных соединений на поверхностях коллоидных ча-

стиц движение мгновенных диполей перестает быть независимым, что вызывает притяжение коллоидных частиц друг к другу на расстояния, близкие к взаимодействию в кристаллических решетках, т. е. при этом возникают химические связи, вызывающие субуплотнение вещества.

Таким образом, в образовавшейся структурированной системе, полученной в этом процессе, энергия химической связи между коллоидными частицами становится равной или близкой по величине энергии внутрикристаллического взаимодействия.

В контексте рассмотрения дисперсных систем с применением традиционных минеральных вяжущих представляет интерес также вопрос применения золя  $\text{SiO}_2$  или наноразмерного порошка  $\text{SiO}_2$ . Это вызвано необходимостью использования таких композиций для защиты поверхностного слоя бетонных покрытий от коррозионных разрушений.

Как известно, при механическом измельчении на поверхностях кристаллических кварцевых частиц образуется аморфизированная зона, обладающая нескомпенсированными энергетическими связями. Частицы такой зоны имеют запас энергии, достаточный для того, чтобы при взаимодействии с водой переходить в гидратные формы, образуя  $\text{Si}(\text{OH})_4$ . Однако из-за малости энергии гидратации гидратные новообразования не могут перейти в раствор и остаются на поверхности исходных зерен кварца. Установлено [1], что для продолжения структурообразования системы  $\text{SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  необходимы:

- 1) добавочный подвод энергии в виде нагревания;
- 2) предварительное уплотнение с ограниченным количеством воды.

Это объясняется тем, что при повышенной температуре, уменьшенной влажности, наличии термоэлектрокинетического потенциала и квантово-механического эффекта более слабое физическое электростатическое взаимодействие между коллоидными частицами замещается более сильным энергетическим взаимодействием с образованием прочных контактов срастания на границе раздела фаз.

Таким образом, упрочнению микроструктуры коллоидных частиц должны предшествовать следующие процессы:

1) переход ионизированных частиц, содержащих кремнекислородные комплексы, в газовую фазу;

2) возникновение термоэлектрокинетического потенциала ДДД;

3) накопление газообразного  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ;

4) конденсация монослоев кремнекислородных соединений на поверхности кислородных частиц, сопровождающаяся появлением квантово-механических эффектов и завершающаяся сцеплением частиц химическими связями.

В итоге энергия взаимодействия между коллоидными частицами становится равной или близкой энергии связи внутрикристаллического взаимодействия в  $\text{SiO}_2$ . По такому же принципу твердеют гидравлические вяжущие типа портландцемента.

Основной вывод, сделанный в [1], состоит в том, что явление межколлоидного взаимодействия в высокодисперсных системах имеет комплексный характер и их свойства находятся в непосредственной зависимости от энергетического уровня взаимодействия между коллоидными частицами.

Приведенный анализ твердения минеральных коллоидных систем [1] стимулировал поиск информации о возможности новых подходов для защиты существующих бетонных конструкций от коррозионных разрушений.

Оказалось, что исследования в этом направлении имеют свою историю. Перед исследователями встал вопрос о создании прочного соединения «старого» и «нового» бетона, используемого, например, в качестве защитного слоя на существующих бетонных конструкциях. Такой проблемой занимались еще в первый период развития бетона и железобетона (Н. А. Житкевич, СПб., 1905, 1912 гг.). Позже у специалистов возникла идея создать праймер-слой, обеспечивающий хороший адгезионный контакт нового бетонного слоя со старым (существующим), на основе использования коллоидного цементного клея (КЦК). Проблеме применения КЦК в строительстве посвящена известная статья Н. Б. Урьева и Н. В. Михайлова [8], где рассмотрены вопросы повышения прочного сцепления нового (свежеуложенного) бетона со старым (затвердевшим) и «склеивания» этих бетонов между собой. При этом коллоидный цементный клей используют как про-

слойку (1–2 мм) перед укладкой слоя песчаного водонепроницаемого бетона по существующему старому.

Эффективность применения КЦК, по сравнению с полимерными защитными материалами, очевидны [8]: он дешевле более чем в 200–400 раз эпоксидных смол, в 20 раз – фенол-формальдегидных и почти в 50 раз – полиэфирных смол. Установлено, что стоимость КЦК близка к стоимости бетонов.

Дальнейшим развитием в этом направлении исследований явилась инженерная разработка [9], где предложен активированный торкрет-раствор. Здесь коллоидный цементный раствор представлял собой высокодисперсную смесь вибромолотого портландцемента и песка с удельной поверхностью  $5000 \pm 500 \text{ см}^2/\text{г}$ , мелкого песка и ПАВ в виде сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ по СН 406–70). При этом активированный цементный коллоидный раствор смешивали и наносили цемент-пушкой по правилам обычного торкрета.

Значительный вклад в последующее развитие исследований по коллоидным цементным растворам внесла также статья Н. Б. Урьева и И. С. Дубинина [10].

Некоторые исследователи утверждают, что наивысшая прочность сцепления обеспечивается, когда составы в новом и старом бетоне одинаковы или близки [11]. Например, в [12] показано, что при применении глиноземистого цемента в новом бетоне в контакте между новым и старым бетоном на портландцементе образуется двухкальциевый гидроалюминат с очень рыхлой структурой и низкой прочностью, что снижает прочность сцепления от 20 до 50 %.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ показал, что результаты, приведенные в [1], могут служить теоретической основой для разработки составов и технологий для защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений.

Известен метод применения коллоидного цементного клея и активированного торкрет-раствора для усиления сцепления нового и старого бетона в инженерных конструкциях. Однако исследования по данному направлению

применительно к защите поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений отсутствуют. Это сдерживает широкое применение указанных приемов в инженерной практике эффективного содержания бетонных покрытий.

2. Для применения коллоидного цементного клея и активированных торкрет-растворов в дорожной практике необходимо, чтобы вещества, используемые в качестве водонепроницаемого поверхностного слоя на существующих бетонных покрытиях, были в виде коллоидов (например, золь  $\text{SiO}_2$ ) или тонкодисперсного порошка из кварцевых наноразмерных частиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Явление, механизм и энергетические уровни образования структурированных дисперсных систем / А. В. Нехорошев [и др.] // Доклады Академии наук СССР. 1981. Т. 528, № 1. С. 149–153.
2. Козман, У. Введение в квантовую химию / У. Козман. М.: Иностранная лит., 1960. 560 с.
3. Карапетьянц, М. Х. Строение вещества / М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. М.: Высш. шк., 1978. 304 с.
4. Эбелинг, В. Образование структур при необратимых процессах / В. Эбелинг. М.: Мир, 1979. 279 с.
5. Малинин, Ю. С. Исследование гидратации и твердения цемента / Ю. С. Малинин // Труды IX Всесоюз. совещания-семинара работников цементных заводов. М.: Стройиздат, 1965. С. 50–73.
6. Нехорошев, А. В. О процессах цементации (твердения) в системах кремнезем–вода и глина–вода / А. В. Нехорошев // Доклады Академии наук СССР. 1965. Т. 160, № 2. С. 416–419.
7. Будников, П. П. Твердофазные реакции с участием переноса «носильщиками» летучих соединений / П. П. Будников, А. В. Нехорошев // Журнал прикладной химии. 1965. Т. 38, № 10. С. 2155–2165.
8. Урьев, Н. Б. Коллоидный цементный клей и его применение в строительстве / Н. Б. Урьев, Н. В. Михайлов. М.: Изд-во лит. по строительству, 1961. 175 с.
9. Руководство по применению коллоидного цементного раствора и активированного торкрета для гидроизоляции конструкций энергетических сооружений: П02-73/ВНИИГ. [Срок введ. III кв. 1973 г.] / М-во энергетики и электрификации СССР. Главниипроект. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидротехники им. Б. Е. Веденеева. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1973. 20 с.
10. Урьев, Н. Б. Коллоидный цементный клей / Н. Б. Урьев, И. С. Дубинин. Л.: Стройиздат, 1980. 192 с.
11. Лавринович, Е. В. Зависимость прочности и стойкости стыковых соединений от вида цемента и добавок / Е. В. Лавринович // Гидротехническое строительство. 1957. № 7. С. 29–32.
12. Хуторянский, М. С. Условия монолитности бетонных и железобетонных конструкций / М. С. Хуторянский. Харьков: Гонти НКТП, 1938. Ч. 1. 100 с.

Поступила 11.09.2018

Подписана в печать 12.11.2018

Опубликована онлайн 30.11.2018

## REFERENCES

1. Nekhoroshev A. V., Gusev B. V., Baranov A. T., Kholpanov L. P. (1981) Phenomenon, Mechanism and Energetic Levels for Formation of Structurized Disperse Systems. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Reports of USSR Academy of Sciences], 528 (1), 149–153 (in Russian).
2. Kauzmann W. (1957) *Quantum Chemistry. An Introduction*. NY, Academic Press Inc. 744. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-2745-0.50001-9>.
3. Karapetyants M. Kh., Drakin S. I. (1978) *Constitution of Matter*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 304 (in Russian).
4. Ebeling W. (1976) *Strukturbildung bei Irreversiblen Prozessen* [Formation of Structures in Irreversible Processes]. Leipzig, Teubner-Verlag. (in German).
5. Malinin Yu. S. (1965) Investigations on Hydration and Cement Hardening. *Proceedings of IX All-Union Workshop-Meeting of Cement Plant Workers*. Moscow, Publishing House Stroyizdat, 50–73 (in Russian).
6. Nekhoroshev A. V. (1965) On Processes Pertaining to Cementation (Hardening) in Silicon-Water and Clay-Water Systems. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Reports of USSR Academy of Sciences], 160 (2), 416–419 (in Russian).
7. Budnikov P. P., Nekhoroshev A. V. (1965) Solid-Phase Reactions with Participation of Shifting by Volatile Compound Carriers. *Zhurnal Prikladnoi Khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*, 38 (10), 2155–2165 (in Russian).
8. Uriev N. B., Mikhailov N. V. (1961) *Colloidal Cement Glue and its Application in Construction*. Moscow, Publishing House for Literature on Construction. 175 (in Russian).
9. *Guidance on Application of Colloidal Cement Mortar and Activated Guniting for Hydro-Isolation of Power Engineering Structures: П02-73/ВНИИГ* [All Russia Institute of Hydraulic Engineering]. 1973. Leningrad, Energiya Publ. 20 (in Russian).
10. Uriev N. B., Dubinin I. S. (1980) *Colloidal Cement Glue*. Leningrad, Publishing House Stroyizdat. 192 (in Russian).
11. Lavrinovich E. V. (1957) Dependence of Strength and Resistance of Butt Joints on Type of Cement and Additives. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo = Power Technology and Engineering*, (7), 29–32 (in Russian).
12. Khutoryansky M. S. (1938) *Conditions for Monolithic Character of Concrete and Reinforced Concrete Structures*. Kharkov, State Joint Scientific and Technical Publishing House of the People's Commissariat of Heavy Industry of the USSR. 100 (in Russian).

Received: 11.09.2018

Accepted: 12.11.2018

Published online: 30.11.2018