

УДК 691.545:539.2

Г.Д. ФЕДОРОВА, канд. техн. наук (fedorovagd@mail.ru),  
Г.Н. АЛЕКСАНДРОВ, магистрант, С.А. СМАГУЛОВА, канд. физ.-мат. наук  
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58)

## **Исследование устойчивости водной суспензии оксида графена**

Одним из новых приемов регулирования свойств бетонных смесей и бетонов является управление структурообразованием цементного бетона на наноуровне. Для того чтобы раскрыть природу управления структурой цементной матрицы на наноуровне с целью получения композитов нового поколения, необходимо объединить усилия специалистов разных профессий. Именно поэтому, учитывая, что в лаборатории «Графеновые нанотехнологии» СВФУ получен оксид графена, в настоящей работе была поставлена задача установить перспективность проведения исследований по модификации цементной матрицы оксидом графена. В статье показана перспективность применения оксида графена в качестве модификатора цементной матрицы. Приведены результаты измерения размеров наноллистов оксида графена, а также результаты оценки устойчивости водной суспензии оксида графена.

**Ключевые слова:** наномодификатор, высокопрочный бетон, цемент, композиционное вяжущее, матрица, оксид графена.

G.D. FEDOROVA, Candidate of Sciences (Engineering) (fedorovagd@mail.ru),  
G.N. ALEXANDROV, Undergraduate, S.A. SMAGULOVA, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics)  
North-Eastern Federal University in Yakutsk (58, Belinskogo Street, Yakutsk, 677000, Russian Federation)

### **Research of Stability of Water Suspension of Graphene Oxide**

One of new regulation techniques of concrete mixes and concretes behaviors management of structurization of cement concrete on a nanolevel. To open the nature of structure management of cement matrix on a nanolevel for the purpose of receiving composites of new generation, it is necessary to combine efforts of different professions experts. For this reason, considering that in «Graphene Nanotechnologies» laboratory of North-Eastern Federal University graphene oxide is received, in this work the task was to establish prospects of carrying out researches on modification of cement matrix by graphene oxide. Prospects of graphene oxide use as modifier of a cement matrix are shown in the article. Results of sizes measurement of graphene oxide nanosheets and also results of assessment of stability of water suspension of graphene oxide are given.

**Keywords:** cement, matrix, nanomodifier, graphene oxide, size, water suspension, optical density, colloidal stability.

Современный уровень науки и техники внес значительные изменения в области технологии бетонов за последние десять–пятнадцать лет. Практические достижения последних лет в данной области показывают, что бетон по праву остается наиболее широко применяемым строительным материалом в XXI в. А потребность цемента на душу населения, по прогнозным данным, в России повысится на 55% к 2025 г. по отношению к 2010 г. [1].

Одним из главных направлений развития бетонных технологий является разработка и внедрение самоуплотняющихся, высокопрочных и сверхпрочных бетонов. В России реализованы бетоны класса В40–В90 из высокоподвижных и литых бетонных смесей [2–4]. Это стало возможно за счет использования высокопрочных цементов и заполнителей, вяжущих низкой водопотребности, химически активного тонкодисперсного микрокремнезема с удельной поверхностью до 20 м<sup>2</sup>/г, микроволокон, эффективных суперпластификаторов и гиперсуперпластификаторов, способствующих приготовлению высокоподвижных, литых бетонных смесей с минимально возможной величиной В/Ц в сочетании с тщательным перемешиванием и уплотнением бетонной смеси. Подбор состава высокопрочных бетонов значительно отличается от подбора состава традиционного бетона. В первую очередь это связано с многофакторностью технологических основ получения бетона, которые достаточно подробно рассмотрены в работе [5].

До недавнего времени в России бетон считали высокопрочным, если прочность на сжатие тяжелого бетона превышала активность применяемого цемента. С 1 июля 2013 г. в новой редакции ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» введена новая классификация бетонов по прочности, согласно которой (п. 2.8 данного стандарта) к вы-

Modern level of science and equipment made considerable changes in technology area of concrete for the last ten–fifteen years. Practical achievements of the last years in the field show that concrete by right remains the most widely applied construction material in the XXI century. And the requirement of cement per capita according to expected data in Russia will increase by 55% by 2025 in relation to 2010 [1].

One of the main directions of concrete technologies development is development and deployment of self-condensed, high-strength and heavy-duty concrete. In Russia class В40–В90 concrete from high-mobile and cast concrete mixes [2–4] are realized. It became possible due to use of high-strength cements and fillers, binding low water requirement, chemically active fine microsilicon dioxide with a specific surface to 20 м<sup>2</sup>/g, microfibrils, effective supersofteners and hyper supersofteners promoting preparation of high-mobile, cast concrete mixes with minimum possible size W/C in combination with careful hashing and consolidation of concrete mix. Selection of composition of high-strength concrete considerably differs from selection of composition of traditional concrete. First of all it is connected with a lot of factors of technological bases of receiving concrete which are rather in detail considered in work [5].

Until recently in Russia concrete was considered high-strength if durability on compression of heavy concrete exceeded activity of applied cement. Since July 1, 2013 in the new edition GOST 25192–2012 «Concretes. Classification and general technical requirements» new classification of concrete by durability is introduced according to which (item 2.8 of this standard) concrete with a class on durability on compression of В55 (more than 70,4 МПа) and more belong to high-strength concrete. In update standard GOST 26633–2012 «Heavy-weight and sand concretes. Specifications» (it is introduced since 01.01.2014) concrete class on durability on compression at design age is raised from В80 to В100.

сокопрочным бетонам относятся бетоны с классом по прочности на сжатие B55 (>70,4 МПа) и более. В актуализированном стандарте ГОСТ 26633–2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» (введен с 01.01.2014 г.) класс бетона по прочности на сжатие в проектном возрасте повышен от B80 до B100.

Важным направлением развития бетонной технологии также является переход от применения в качестве вяжущего цементов на основе портландцементного клинкера к применению композиционных вяжущих.

Таким образом, актуальность разработки бетонов нового поколения требует нового подхода к решению данной проблемы. Оптимизация составов должна осуществляться не только на макро- и микроуровнях, но и на наноуровне, другими словами, необходимо управлять структурообразованием цементной матрицы в заданном направлении. Несомненный интерес при этом представляет применение углеродных наночастиц, нанотрубок и нановолокон, которые, как считают исследователи, могут дать совершенно новые возможности в повышении прочностных характеристик, долговечности и снижении деформационных свойств и т. д. Мнение исследователей о микроармирующем эффекте углеродных нанотрубок едино, а повышение прочности зависит от многих факторов [6–14]. Анализ опубликованных исследований пока не дает убедительных данных о значительном повышении прочностных свойств, за исключением роста прочности в раннем возрасте. Причиной этого, по-видимому, является отсутствие эффективного способа введения и равномерного распределения углеродных нанотрубок в цементном камне. Открытым является также вопрос о влиянии размеров углеродных нанотрубок на повышение прочности и дозировку. Микроскопическими исследованиями установлено, что при введении углеродных нанотрубок в малых и сверхмалых концентрациях в цементные композиты наблюдаются некоторые изменения в формировании структуры цементного камня: более плотная упаковка новообразований, более высокая степень кристалличности гидросиликатов кальция. Все это указывает на перспективность целенаправленного воздействия с помощью углеродных наночастиц на процессы, протекающие в период формирования структуры цементной матрицы, свойства которой имеют огромное значение в формировании структуры цементных растворов и бетонов.

Наряду с исследованиями однослойных и многослойных углеродных нанотрубок в литературе имеются сведения об исследованиях влияния оксида графена на повышение прочностных свойств цементных композитов [15–18].

Авторы [15] исследовали роль оксида графена в повышении механических свойств цементной композиции. Эксперименты проводили на мелкозернистом бетоне при соотношении Ц:П=1:3; В/Ц=0,5. В качестве суперпластификатора использовали поликарбоксилат (0,5% от массы цемента). Расход оксида графена варьировали от 0,1 до 2% от массы цемента. При использовании оксида графена в количестве 1,5% от массы цемента достигнуто повышение предела прочности на растяжение (временное сопротивление разрыву) на 48% по сравнению с прочностью образца без оксида графена. Полученные при этом результаты также свидетельствуют о повышении объема гидросиликатов кальция в образцах с содержанием оксида графена. По мнению авторов, оксид графена благодаря высокой энергии поверхности в цементных фазах действует как ядро, способствующее дальнейшей гидратации цемента, уплотняет микроструктуру камня, работает как арматура в микротрещинах.

The important direction of concrete technology development is also transition from application as binding cements on the basis of Portland cement clinker to application composite binding.

Thus, relevance of concrete development of new generation demands new approach to solution of this problem. Optimization of structures has to be carried out not only on macro – and microlevel, but also on a nanolevel, in other words it is necessary to operate structuring of a cement matrix in the set direction. Undoubted interest thus represents application of carbon nanoparticles, nanotubes and nanofibres which as researchers consider, can give absolutely new opportunities in increase of strength characteristics, durability and decrease in deformation properties, etc. The opinion of researchers on the microreinforcing effect of carbon nanotubes is uniform, and increase of durability depends on many factors [6–14]. The analysis of published data doesn't give convincing data on substantial increase of strength properties, except for growth of durability at early age. Apparently, lack of a good way of introduction and uniform distribution of carbon nanotubes in a cement stone is the reason of it. Also the question of influence of carbon nanotubes sizes on increase of durability and on a dosage is open. By microscopic researches it is established that at introduction of carbon nanotubes in small and midget concentration in cement composites some changes in formation of structure of a cement stone are observed: more dense packing of new growths, higher degree of crystallinity of hydrosilicates of calcium. All this indicates prospects of purposeful impact by means of carbon nanoparticles on the processes proceeding during formation of cement matrix structure which properties have huge value in formation of structure of cement mortars and concrete.

Along with researches of single-layer and multilayered carbon nanotubes in literature there are data on graphene oxide influence researches on increase of strength properties of cement composites [15–18].

Authors [15] investigated a graphene oxide role in increase of mechanical properties of cement composition. Experiments were made on fine-grained concrete at C:S=1:3, W/C=0,5. Polycarboxylate was used as supersoftener (0,5% of cement mass). Consumption of graphene oxide was varied from 0,1 up to 2% of cement mass. During graphene oxide use in number of 1,5% of cement mass they reached increase of strength on stretching (tensile strength) for 48% in comparison with sample durability without graphene oxide. The results received thus also testify hydrosilicates volume increase of calcium in samples with the content of oxide. According to authors, graphene oxide, due to high energy of a surface in cement phases, works as the kernel promoting further hydration of cement, condenses a stone microstructure, works as fittings in microcracks.

It is also noted in work [16] about increase of crack resistance of a cement composite in the course of curing at introduction of graphene oxide. Researchers consider that introduction of graphene oxide improves thermal properties of a cement stone therefore it is possible to eliminate a high gradient of temperature on the section of massive design. The last develops as a result of heat and can cause full stretching strain in concrete, i. e. lead to thermal cracking. The graphene oxide consumption in experiments made 0, 1, 5 and 10% of cement mass. Sizes of nanosheet 110×110×0,12 of nanometer.

Also researches conducted at Monash's University in Australia (Monash University) [17] point to positive influence of graphene oxide on properties of cement composites. According to their data graphene oxide introduction in number of 0,05% of cement mass increases durability on a bend of cement matrix for 41–59%, on compression – for 15–33%.

Researches [18] showed that nanosheets can reduce fragility, increase the hardness, durability of cement stone on

О повышении трещиностойкости цементного композита в процессе твердения при введении оксида графена также отмечено в работе [16]. Исследователи считают, что введение оксида графена улучшает тепловые свойства цементного камня, в результате чего можно устранить высокий градиент температуры по сечению массивной конструкции. Последнее развивается в результате экзотермии и может вызвать большие растягивающие напряжения в бетоне, т. е. привести к термическому растрескиванию. Расход оксида графена в экспериментах составил 0; 1; 5 и 10% от массы цемента. Размеры нанолита  $110 \times 110 \times 0,12$  нм.

О положительном влиянии оксида графена на свойства цементных композитов свидетельствуют также исследования, проведенные в Университете Монаша в Австралии (Monash University) [17]. По их данным, введение оксида графена в количестве 0,05% от массы цемента повышает прочность при изгибе цементной матрицы на 41–59%, на сжатие – на 15–33%.

Исследования [18] показали, что нанолиты могут уменьшить хрупкость, повысить твердость, прочность цементного камня на растяжение и при изгибе, дают возможность регулировать формирование структуры цементного камня.

Как видно из вышеуказанного, путем введения в цементную матрицу оксида графена, вероятно, можно придать бетону новые свойства. Для того чтобы раскрыть природу управления структурой цементной матрицы на нануровне с целью получения композитов нового поколения, необходимо объединить усилия специалистов разных профессий, например химиков, физиков, технологов-бетонщиков и т. п. Именно поэтому, учитывая, что в лаборатории «Графеновые нанотехнологии» СВФУ получен оксид графена, в настоящей работе была поставлена задача установить перспективность проведения исследований по модификации цементной матрицы оксидом графена.

Химическая структура оксида графена (ОГ) точно не установлена, предложено несколько моделей [19], одной из которых является модель, представленная на рис. 1 (<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/777676?lang=en&region=RU>). В оксиде графена некоторые атомы углерода соединены с кислородсодержащими группами. При этом в отличие от графена у атомов углерода возникает четвертая ковалентная связь в результате перехода атома углерода из состояния  $sp^2$ - в состояние  $sp^3$ -гибридизации.

Как видно из рис. 1, по наружным краям плоскости и по внутренним краям дефектов плоскости графена в виде разрывов располагаются карбоксильные ( $-COOH$ ) и кетонные ( $=CO$ ) группы, а над и под плоскостью графена – гидроксильные ( $-OH$ ) и эпоксидные ( $=O$ ) группы.

Графеновая плоскость деформирована за счет перехода атомов углерода из  $sp^2$ - в  $sp^3$ -гибридизованное состояние. Толщина слоя оксида графена в среднем составляет 1 нм, что больше, чем у обычного графена (0,335 нм), и объясняется наличием функциональных групп. Суспензия оксида графена представляет собой взвесь нанолитов оксида графена в воде с концентрацией от 1 до 4 мг/мл. Благодаря гидрофильным свойствам оксид графена легко образует в воде устойчивые коллоидные дисперсии за счет образования водородных связей между молекулами воды и кислородсодержащи-

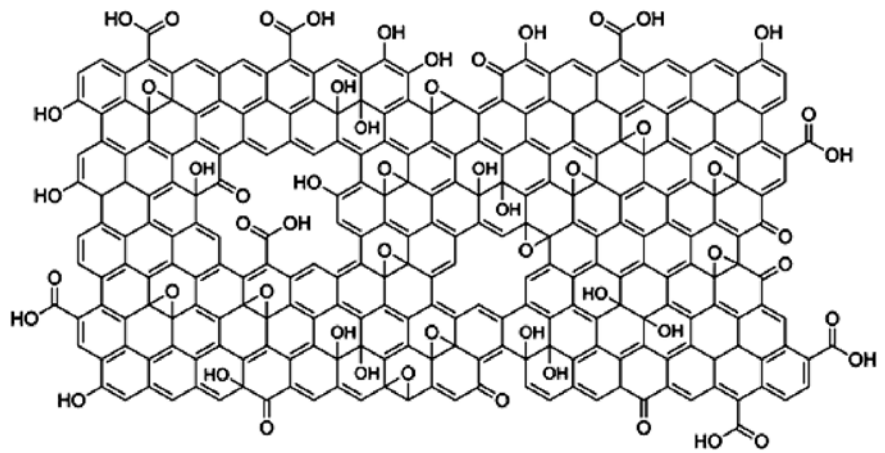


Рис. 1. Модель оксида графена  
Fig. 1. Graphene oxide model

stretching and a bend, give the chance to regulate formation of structure of cement stone.

As is seen from above, probably it is possible to give to concrete new properties by introduction to cement matrix of graphene oxide. To open the nature of structure management of cement matrix on a nanolevel for the purpose of receiving composites of new generation, it is necessary to combine efforts of different professions experts. For example, chemists, physicists, technologists-concreters, etc. For this reason, considering that in «Graphene Nanotechnologies» laboratory of North-Eastern Federal University graphene oxide is received, in this work the task was to establish prospects of carrying out researches on modification of cement matrix by graphene oxide.

The chemical structure of graphene oxide (GO) is not established definitely, some models [19], one of which is model presented in fig. 1 (<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/777676?lang=en&region=RU>) are offered. In graphene oxide some atoms of carbon are connected with oxygen-containing groups. Thus unlike graphene, atoms of carbon have the fourth covalent bond as a result of transition of carbon atom from condition of  $sp^2$ - in condition of  $sp^3$ -hybridization.

As is seen from fig. 1, on outer edges of plane and on inner edges of plane defects of graphene in the form of strains, settle down carboxyl ( $-COOH$ ) and ketone ( $=CO$ ) groups, and over and under graphene plane hydroxyl ( $-OH$ ) and epoxy ( $=O$ ) groups.

Graphene plane is deformed due to transition of carbon atoms from  $sp^2$  in  $sp^3$ -hybridized state. Graphene oxide layer thickness, on average, makes 1 nanometer that is more, than at usual graphene (0,335 nanometers) and is explained by existence of functional groups.

Suspension of graphene oxide represents a suspension of graphene oxide nanosheets in water with concentration from 1 to 4 mg/ml. Due to hydrophilic properties, graphene oxide easily forms in water steady colloidal dispersions due to formation of hydrogen bonds between molecules of water and oxygen-containing groups. The possible model of hydrogen bonds formation (dotted lines) is given in fig. 2 ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид\\_графита](https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_графита)).

For carrying out measurements of lateral sizes nanosheets of graphene oxide have to be located on a substrate separately from each other. At usual transfer of OG-suspension on a substrate the continuous OG-film is formed. Therefore the sample preparation meeting the requirements for measurement of lateral sizes was carried out as follows:

The silicon substrate suspended on a thread by means of a clip with an oxide layer fell to a low glass for weighings and water of slightly below level (1 mm) of top edge of a substrate

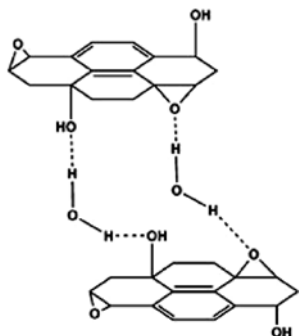


Рис. 2. Возможная модель образования водородных связей в ОГ-суспензии

Fig. 2. Possible model of hydrogen bonds formation in OG-suspension

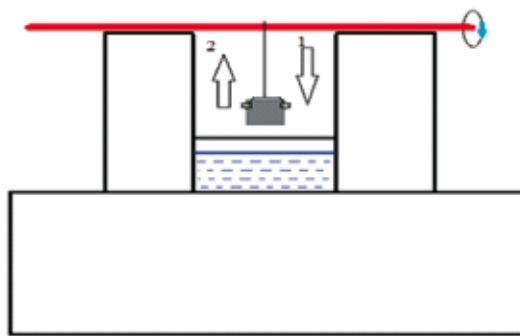


Рис. 3. Схема пробоподготовки для измерения латеральных размеров наноллистов ОГ

Fig. 3. Scheme of sample preparation for measurement of lateral sizes of OG nanosheets



Рис. 4. Снимок наноллистов оксида графена на оптическом металлографическом микроскопе Альтами MET 5С

Fig. 4. Graphene oxide nanosheets picture on optical metallographic microscope Altami MET 5C

ми группами. Возможная модель образования водородных связей (пунктиры) приведена на рис. 2 ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид\\_графита](https://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_графита)).

Для проведения измерений латеральных размеров наноллисты оксида графена должны быть расположены на подложке раздельно друг от друга. При обычном переносе ОГ-суспензии на подложку образуется сплошная ОГ-пленка. Поэтому пробоподготовка, отвечающая требованиям для измерения латеральных размеров, проводилась следующим образом: в низкий стакан для взвешиваний опускалась подвешенная на нитку с помощью зажима кремниевая подложка с окисным слоем и наливалась вода до уровня чуть ниже (1 мм) верхней кромки подложки. Исследуемая суспензия с концентрацией 1–4 мг/мл перемешивалась с этиловым спиртом в объемном отношении 1:1 по 100 мкл. Смесь суспензии со спиртом в объеме 100 мкл переносилась на поверхность воды с вертикально подвешенной подложкой. Затем подложку с адсорбирующимися на ее поверхность наноллистами оксида графена поднимали вверх со скоростью 2 мм/мин (рис. 3).

Измерения латеральных размеров (диаметров) наноллистов оксида графена проводились на оптическом металлографическом микроскопе Альтами MET 5С с объективом 100×/0,85 и окуляром 10× на отраженном свете. Пример фотоснимка наноллистов оксида графена представлен на рис. 4.

Распределение наноллистов оксида графена по латеральным размерам было посчитано с использованием программного обеспечения ImageJ (рис. 5).

Как видно из рис. 5, чаще всего встречаются наноллисты ОГ с латеральными размерами 1 мкм (мода). Среднее взвешенное арифметическое составляет  $1,3 \pm 0,1$  мкм, размер выборки частиц 584 шт. Мода распределения меньше среднего взвешенного, что объясняется ограниченным разрешением оптического микроскопа, зависящим от длины волны видимого света.

Толщина наноллистов оксида графена измерялась на сканирующем зондовом микроскопе Solver NEXT при бесконтактном режиме сканирования зондом NSG10 (рис. 6).

Минимальная толщина наноллистов оксида графена по результатам АСМ-измерений составила 1,5 нм, что согласуется с литературными данными [20]. В среднем толщина отдельно лежащих наноллистов оксида графена варьировала в диапазоне от 1,5 до 2 нм.

was poured. Test suspension with concentration of 1–4 mg/ml mixed up with ethyl hydroxide in volume relation 1:1 on 100 mkl. Suspension mix with alcohol in volume of 100 mkl was transferred to a water surface with vertically suspended substrate. Then the substrate with nanosheets of graphene oxide which are adsorbed on its surface was lifted with a speed of 2 mm/min. (fig. 3) up.

Measurements of lateral sizes (diameters) of graphene oxide nanosheets were taken on optical metallographic microscope Altami MET 5C with a lens 100×/0,85 and eyepiece 10× on reflected light. The picture example of graphene oxide nanosheets is presented in fig. 4.

Distribution of graphene oxide nanosheets by lateral sizes was counted with use of software ImageJ (fig. 5).

As is seen from figure 5, OG nanosheets most often meet with lateral sizes of 1 micron (mode). Weighted arithmetic mean is  $1,3 \pm 0,1$  microns, amount of particles selection is 584 pieces. Mode of distribution is less than weighted arithmetic mean that is explained by limited permission of optical microscope depending on the wavelength of visible light.

Thickness of graphene oxide nanosheets was measured on scanning probe microscope Solver NEXT at contactless mode of scanning by probe NSG10 (fig. 6).

Minimum thickness of graphene oxide nanosheets by results of ASM-measurements made 1,5 nanometers that will be coordinated with literary data [20]. On average thickness of separately lying graphene oxide nanosheets varied in the range from 1,5 to 2 nanometers.

Stability of graphene oxide suspension (colloidal stability) as property to resist to a tendency to aggregation of particles, was estimated by means of measurements of its optical density. Thus it was offered to investigate colloidal stability of suspensions with various concentration of graphene oxide to

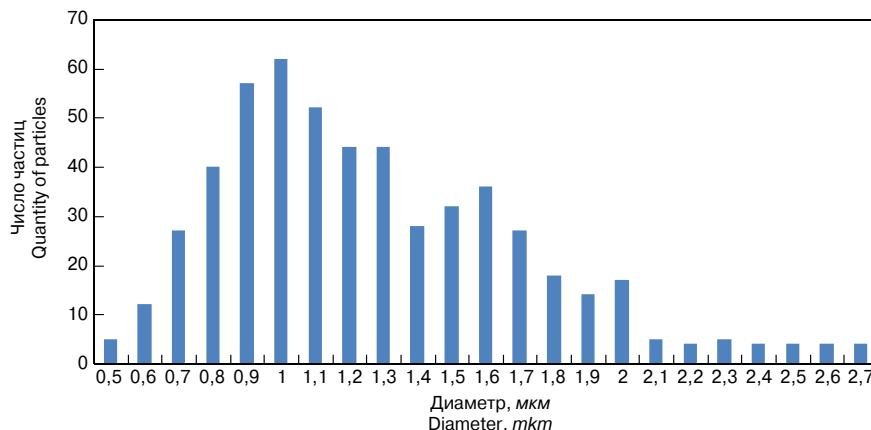


Рис. 5. Распределение по латеральным размерам наноллистов ОГ

Fig. 5. Distribution by lateral sizes of OG nanosheets

Устойчивость суспензии оксида графена (коллоидная стабильность) как свойство противостоять тенденции к агрегации частиц оценивалась посредством измерений ее оптической плотности. При этом было предложено исследовать коллоидную стабильность суспензий с различной концентрацией оксида графена, для того чтобы установить степень влияния концентрации суспензии на ее коллоидную стабильность.

Измерения оптической плотности суспензий оксида графена проводились нанофотометром IMPLN P330 в диапазоне длин волн от 200 до 900 нм на ряде концентраций (мг/мл): 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 (рис. 7). Длина оптического пути в кювете 1 мм. Объем пробы 4 мкл. Концентрация исходной суспензии оксида графена была измерена весовым методом: измерением массы сухого остатка после испарения воды при температуре 170°C и продолжительности 5 мин.

Данные рис. 7 свидетельствуют, что в диапазоне длин волн 200–400 нм и при концентрациях 0,5 мг/мл и выше оптические плотности зашкаливают, т. е. превышают величину 2. Таким образом, предложено измерять оптические плотности на двух длинах волн: 230 нм при концентрациях до 0,5 мг/мл и 450 нм при концентрациях 0,5 мг/мл и выше.

Оптическая плотность для оценки устойчивости ОГ-суспензии измерялась на пробе с объемом 4 мкл из верхней части суспензии в неподвижно стоящей пробирке. Измерения проводились на длинах волн 230 и 450 нм в течение двух месяцев с интервалом в одну неделю (табл. 1).

По результатам эксперимента для суспензий с различной концентрацией оксида графена были вычислены средние значения оптических плотностей в течение всего времени измерений, а также стандартные отклонения от среднего значения (табл. 2).

Данные табл. 1 и 2 показывают, что оптическая плотность суспензий оксида графена различных концентраций с течением времени практически не меняются, стандартные отклонения измеренных оптических плотностей от средних значений очень малы (кроме образцов с концентрацией 0,01; 0,25 мг/мл), что свидетельствует только о наличии приборной погрешности при проведении измерений. Для образцов с концентрациями 0,01 и 0,25 мг/мл стандартные отклонения являются достаточно большими, так как их оптическая плотность лежит у границы чувствительности прибора и опреде-

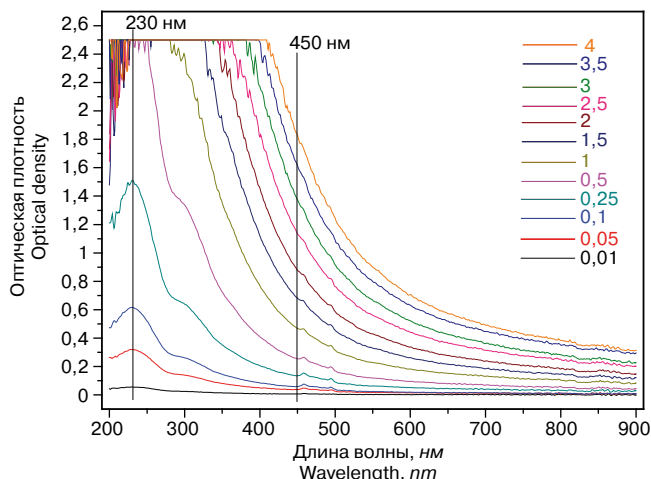


Рис. 7. Оптическая плотность ряда разбавлений суспензии (мг/мл) оксида графена

Fig. 7. Optical density of suspension dilution number (mg/ml) of graphene oxide

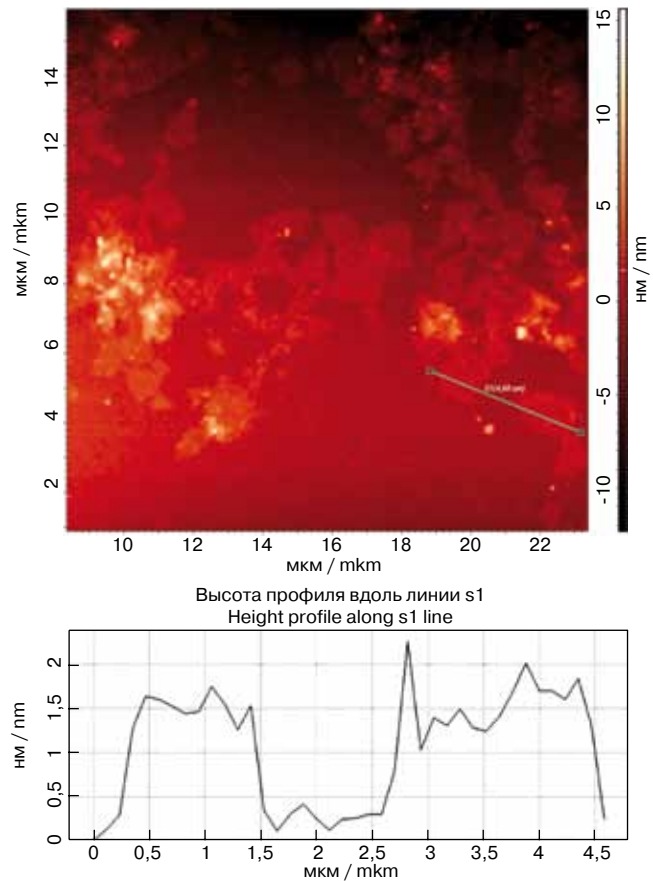


Рис. 6. АСМ-снимок наноллистов оксида графена и профиль по высоте вдоль линии s1

Fig. 6. ASM-picture of graphene oxide nanosheets and profile on height along s1 line

establish extent of influence of suspension concentration on its colloidal stability.

Measurements of optical density of graphene oxide suspensions were taken by IMPLN P330 nanophotometer in the range of waves lengths from 200 nanometers to 900 nanometers on a number of concentration (mg/ml): 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 (fig. 7). Length of an optical way in a ditch is 1 mm. Volume of test is 4 mkl. Concentration of initial graphene oxide suspension was measured by a weight method: measurement of dry mass solid after evaporation of water at temperature of 170°C and duration of 5 min.

As is seen from fig. 7, in the range of waves lengths of 200–400 nanometers and at concentration of 0,5 mg/ml and above, optical density go off scale, i. e. exceed size 2. Thus, it is offered to measure optical density on two lengths of waves: 230 nanometers, at concentration to 0,5 mg/ml, and 450 nanometers at concentration of 0,5 mg/ml and above.

Optical density for stability assessment of OG-suspension was measured on test with capacity of 4 mkl from the top part of suspension in immovable standing test tube. Measurements were taken on waves lengths of 230 nanometers and 450 nanometers within two months with an interval of one week (tab. 1).

By results of experiment for suspensions with various concentration of graphene oxide average values of optical density during the whole time of measurements, and also standard deviations from average value (tab. 2) were calculated.

From tables 1 and 2 it is visible that optical density of graphene oxide suspensions of various concentration practically don't change eventually, standard deviations of

Таблица 1  
Table 1

Длина волны, нм Waves lengths, nm	230					450					
	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Концентрация оксида графена, мг/мл Graphene oxide concentration, mg/ml	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Оптическая плотность, измеренная с интервалом в одну неделю Optical density, measured with interval of one week	0,112	0,491	0,984	0,128	0,239	0,426	0,605	0,811	1,044	1,284	1,442
	0,096	0,48	0,982	0,132	0,22	0,423	0,612	0,802	1,029	1,278	1,43
	0,09	0,485	0,976	0,12	0,232	0,429	0,601	0,819	1,056	1,291	1,421
	0,124	0,498	0,99	0,124	0,223	0,415	0,608	0,789	1,05	1,274	1,435
	0,098	0,475	0,954	0,111	0,24	0,43	0,605	0,804	1,037	1,265	1,43
	0,128	0,483	0,97	0,13	0,236	0,412	0,597	0,798	1,033	1,268	1,426

Таблица 2  
Table 2

Концентрация оксида графена, мг/мл Graphene oxide concentrations, mg/ml	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Среднее значение оптической плотности раствора Average mean of optical suspension density	0,108	0,48	0,976	0,124	0,232	0,423	0,605	0,804	1,042	1,277	1,431
Стандартное отклонение от среднего, % Standard deviation from average, %	14,6	3,7	1,3	6,2	3,6	1,8	0,9	1,3	1	0,8	0,5

ляется с большей погрешностью, чем для растворов с большими концентрациями.

Полученные данные свидетельствуют о коллоидной стабильности раствора оксида графена в течение как минимум 1,5 месяцев независимо от концентрации оксида графена. Наблюдаемую коллоидную стабильность можно объяснить достаточным зарядом потенциалобразующих ионов кислородсодержащих групп оксида графена и образованием устойчивых водородных связей.

На основе обзора литературы в области исследования влияния оксида графена на свойства цементных композитов и оценки устойчивости водной суспензии оксида графена, разработанной в лаборатории графеновых технологий, установлена перспективность проведения исследований в области модификации цементной матрицы оксидом графена. Это направление является новым, так как о проведении подобных исследований в России данных нет.

#### Список литературы

1. Паяккала П. Перспективы строительства и потребления цемента в период до 2025 года в Евросоюзе, США и России // *ALITinform*. 2014. № 01 (33). С. 6–11.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М.: Парадиз, 2010. 238 с.
3. Калашников В.И., Гуляева Е.В. Влияние вида и дозировки суперпластификатора на реотехнологические свойства цементных суспензий, бетонных смесей и порошково-активированных бетонов // *Цемент и его применение*. 2012. № 3–4. С. 66–68.
4. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н., Хетагуров Б.А. Самоуплотняющиеся бетоны: некоторые факторы, определяющие текучесть смеси // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 54–57.
5. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.

measured optical density from average values are very small (except samples with concentration 0,01, 0,25 mg/ml) that testifies only to instrument error existence when carrying out measurements. For samples with concentration of 0,01 and 0,25 mg/ml standard deviations are rather big as their optical density lies at limit of sensitivity of device and decides with a bigger error, than for solutions with big concentration.

Obtained data testifies to colloidal stability of graphene oxide solution within, at least, 1,5 months irrespective of concentration of graphene oxide. Observed colloidal stability can be explained with a sufficient charge of potential generating ions of oxygen-containing groups of graphene oxide and formation of stable hydrogen relations.

On the basis of literature review in the field of graphene oxide influence research on properties of cement composites and assessment of stability of graphene oxide water suspension developed in laboratory «Graphene technologies» prospects of carrying out researches in the field of modification of cement matrix are established by graphene oxide. This direction is new as carrying out similar researches in Russia isn't established yet by us.

#### References

1. Pajakkala P. Outlook for construction and cement use until 2025 in the EU, the USA and Russia. *ALITinform*. 2014. No. 01 (33), pp. 6–11. (In English).
2. Kapriyelov S.S., Sheinfel'd A.V., Kardumyan G.S. Novye modifitsirovannye betony [New modified concretes]. Moscow: «Paradiz». 2010. 238 p.
3. Kalashnikov V.I., Gulayeva E.V. The effect of type and dosage of superplasticizer on rheotechnological properties cement slurries, concrete mixes and powder-activated concretes. *Cement i ego primeneniye*. 2012. No. 3–4, pp. 66–68. (In Russian).
4. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N., Hetagurov B.A. Self-compacting concrete: some of the factors determining the fluidity of the mixture. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 54–57. (In Russian).
5. Bazhenov Y.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony

6. Makar J.M., Margeson J.C., Luh J. Carbon nanotube/ cement composites – early results and potential applications // *3<sup>rd</sup> International Conference on Construction Materials: Performance, Innovation and Structural Implications*. Vancouver B.C. 2005. August 22–24, pp. 1–10.
7. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes // *Carbon*. 2005. Vol. 43, pp. 1239–1245.
8. Metaxa Z.S., Konsta-Gdoutos M.S., Shah S.P. Carbon nano reinforced concrete // *ACI Special Publications Nanotechnology of Concrete: The Next Big Thing is Small SP*. 2009. Vol. 267. No. 2, pp. 11–20.
9. Shah S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials. *Nanotechnology in Construction*. 2009. No. 3, pp. 125–130.
10. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А. и др. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 47–51.
11. Толчков Ю.Н., Михалева З.А. Ткачев А.Г., Попов А.И. Модифицирование строительных материалов углеродными нанотрубками: актуальные направления разработки промышленных технологий // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2012. № 6. С. 57–66. ([www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru))
12. Федорова Г.Д., Саввина А.Е., Яковлев Г.И. и др. Оценка полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 48–51.
13. Fedorova G.D., Mestnikov V.V., Matveeva O.I., Nikolaev E.P. Features of high-strength concrete creation for concreting of monolithic constructions in the far north conditions // *Procedia Engineering*. 2013. No. 57, pp. 264–269.
14. Александров Г.Н., Федорова Г.Д. Микроскопическое исследование дисперсии многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 25–32.
15. Fakhim Babak, Hassani Abolfazl, Rashidi Alimorad, Ghodousi Parviz. Preparation and mechanical properties of graphene oxide: cement nanocomposites // *The Scientific World Journal*. Vol. 2014 (2014). Article ID 276323 (<http://dx.doi.org/10.1155/2014/276323>)
16. Ahmadreza Sedaghat, Manoj K. Ram, A. Zayed, Rajeev Kamal, Natadia Shanahan. Investigation of Physical Properties of Graphene-Cement Composite for Structural Applications // *Open Journal of Composite Materials*. 2014. No. 4, pp. 12–21 (<http://dx.doi.org/10.4236/ojcm.2014.41002>).
17. Graphene oxide reinforced cement. (<http://www.monash.edu.au/assets/pdf/industry/graphene-oxide.pdf>)
18. Shenghua Lv, Yujuan Ma, Chaochao Qiu, Ting Sun, Jingjing Liu, Qingfang Zhou. Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 49, pp. 121–127 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.022>)
19. Dreyer D.R., Park S., Bielawski W., Ruoff R.S. The chemistry of graphene oxide // *Chemical society reviews*. 2010. Vol. 39, pp. 228–240.
20. Chun-Hua Lu, Huang-Hao Yang, Chun-Ling Zhu, Xi Chen, and Guo-Nan Chen. A graphene platform for sensing biomolecules // *Angewandte Chemie*. 2009. Vol. 48, pp. 4785–4787. (<http://www.physics.purdue.edu/quantum/files/CarbonNano/graphene-platform.pdf>) [Modified high-quality concrete]. Moscow: ASV. 2006. 368 p.
6. Makar J.M., Margeson J.C., Luh J. Carbon nanotube/ cement composites – early results and potential applications. *3<sup>rd</sup> International Conference on Construction Materials: Performance, Innovation and Structural Implications*. Vancouver B.C. 2005. August 22–24, pp. 1–10.
7. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*. 2005. Vol. 43, pp. 1239–1245.
8. Metaxa Z.S., Konsta-Gdoutos M.S., Shah S.P. Carbon nano reinforced concrete. *ACI Special Publications Nanotechnology of Concrete: The Next Big Thing is Small SP*. 2009. Vol. 267. No. 2, pp. 11–20.
9. Shah S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials. *Nanotechnology in Construction*. 2009. No. 3, pp. 125–130.
10. Yakovlev G. I., Pervushin G. N., Korzhenko A., etc. Modification of cement concretes with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 47–51. (In Russian).
11. Tolchkov Y.N., Mikhalev Z.A., Tkachev A.G., Popov A.I. Modification of construction materials by carbon nanotubes: actual directions of working out of industrial technologies. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific Internet magazine*. 2012. No. 6, pp. 57–66. ([www.nanobuild.ru](http://www.nanobuild.ru))
12. Fedorova G.D., Savvina A.E., Yakovlev G.I. Estimation of the multifunctional modifier of PFM-NLK concrete as surfactant at carbon nanotubes dispersion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 48–51. (In English).
13. Fedorova G.D., Mestnikov V.V., Matveeva O.I., Nikolaev E.P. Features of high-strength concrete creation for concreting of monolithic constructions in the far north conditions. *Procedia Engineering*. 2013. No. 57, pp. 264–269.
14. Aleksandrov G.N., Fedorova G.D. Microscopic research of multiwalled carbon nanotubes dispersion. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 25–32. (In English).
15. Fakhim Babak, Hassani Abolfazl, Rashidi Alimorad, Ghodousi Parviz. Preparation and mechanical properties of graphene oxide: cement nanocomposites. *The Scientific World Journal*. 2014. Article ID 276323 (<http://dx.doi.org/10.1155/2014/276323>)
16. Ahmadreza Sedaghat, Manoj K. Ram, A. Zayed, Rajeev Kamal, Natadia Shanahan. Investigation of Physical Properties of Graphene-Cement Composite for Structural Applications. *Open Journal of Composite Materials*. 2014. No. 4, pp. 12–21 (<http://dx.doi.org/10.4236/ojcm.2014.41002>)
17. Graphene oxide reinforced cement. (<http://www.monash.edu.au/assets/pdf/industry/graphene-oxide.pdf>)
18. Shenghua Lv, Yujuan Ma, Chaochao Qiu, Ting Sun, Jingjing Liu, Qingfang Zhou. Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 49, pp. 121–127 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.022>)
19. Dreyer D.R., Park S., Bielawski W., Ruoff R.S. The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*. 2010. Vol. 39, pp. 228–240.
20. Chun-Hua Lu, Huang-Hao Yang, Chun-Ling Zhu, Xi Chen, and Guo-Nan Chen. A graphene platform for sensing biomolecules. *Angewandte Chemie*. 2009. Vol 48, pp. 4785–4787. (<http://www.physics.purdue.edu/quantum/files/CarbonNano/graphene-platform.pdf>)



Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ  
Республики Татарстан

Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)

Объединенная редакция научно-технических журналов  
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



## V Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России»

# InterConPan-2015

International Conference of Large-panel Construction

30 июня – 3 июля 2015 г.

Казань

### Тематика конференции:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КЖД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Проблемы тепловлажностной обработки изделий и конструкций
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Применение архитектурного бетона
- Проблемы армирования ЖБК и КЖД
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

### Программа конференции включает:

Пленарное заседание

Секции:

«Архитектура и особенности проектных решений  
крупнопанельных зданий»

«Гибкая технология предприятий ДСК и КЖД»

**Круглый стол «Девелоперы о проблемах  
крупнопанельного домостроения»**

Посещение

Казанский ДСК

Жилой Комплекс «Светлая Долина»

ООО «Домкор Индустрия»

и объекты строительства в г. Набережные Челны (3 июля)

Для гостей Казани:

30 июня – экскурсия в Казанский Кремль

1 июля – экскурсия на остров-град Свияжск

Спонсоры конференции:



Партнеры конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» №5-2015 г. и «Строительные материалы»® №5-2015 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.04.2015 г.

### Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

E-mail: kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3  
редакция журнала «Жилищное строительство»



Организатор:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

научно-технический журнал

При поддержке:

**EQUIP**ceramic

**Verdés**

Генеральный спонсор:

**LSR** ЛСР  
Стеновые

27–28 МАЯ 2015

КАЗАНЬ,  
РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН,  
РОССИЯ  
ГК «КАЗАНСКАЯ РИВЬЕРА»

ON MAY 27–28, 2015

KAZAN,  
REPUBLIC OF TATARSTAN,  
RUSSIA  
HOTEL «KAZANSKAYA RIVYERA»



THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE  
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

**KERAMTEX**



Партнеры МИАП КЕРАМТЭКС:



**27.05.2015**

Посещение нового современного предприятия – ООО «Мамадышский кирпичный завод»  
VISIT TO THE NEW MODERN ENTERPRISE – MAMADYSHSKY BRICK-PLANT



**28.05.2015**

Пленарное заседание / Plenary session  
Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Панорама»  
CERAMIC AWARDS DINNER AT RESTAURANT «PANORAMA»

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна  
Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3  
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)

[www.keramtex.ru](http://www.keramtex.ru)

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**  
**СКБ СТРОЙПРИБОР**  
**ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**



тел/факс в Челябинске: (351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14  
 в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58  
 e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru  
 www.stroypribor.ru

Реклама

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

**ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03**  
ударно-импульсный

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



частота 60...70 кГц  
диапазон 10...2000 мкс

**ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /**  
**ПОС-50МГ4 "Скол"**

отрыв со скалыванием и скалывание ребра

предельное усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа



**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ**

**ПДУ-МГ4 "Удар"**  
и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("Импульс")



**Прессы испытательные малогабаритные**

**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4**

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН

■ масса 70 / 120 / 180 кг



**ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4**

с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН

■ масса 20 / 25 кг

**ПСО-10МГ4 КЛ**

испытание прочности сцепления в каменной кладке

предельное усилие отрыва 15 кН



**АДГЕЗИМЕТРЫ**

**ПСО-МГ4**

испытание прочности сцепления покрытия с основанием

предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

**ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01**  
анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с  
-30...+100 °С



**ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01**  
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**

3...5, 10 и 100-канальные регистраторы

диапазон 10...999 Вт/м<sup>2</sup>  
-40...+70 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**

для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины  
диапазон 1...45 %



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**

диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм  
диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм



**ТЕРМОМЕТРЫ**

**ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**

модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер (до 20 модулей в комплекте)  
зондовые / контактные  
1...2-канальные  
диапазон -40...+100 / 250 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН

диаметр арматуры 3...12 мм



**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.