

Коваленко В.В., Гаркуша В.С.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕЗИИ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА К ЗАПОЛНИТЕЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Представлены результаты лабораторных исследований изменения когезии цементного раствора по отношению к частицам крупного заполнителя в зависимости от водоцементного отношения. Процесс когезии цементного раствора к частице рассматривается с позиций физико-механического взаимодействия двух сред. Свойства заполнителя смоделированы за счет использования пластмассового пуансона диаметром 30 мм с плоской поверхностью контакта. Получена зависимость изменения удельных когезионных сил, действующих в цементном растворе по отношению к заполнителю, при различных значениях водоцементного отношения.*

**Ключевые слова:** когезия, тампонаж, водоцементное отношение, цементный раствор, набрызгбетон.

**Актуальность исследований.** Исследование сцепления поверхностей разнородных твёрдых и жидких тел имеет большое значение. Существенное влияние на силу когезии двух различных тел оказывает не только активность применяемого цемента, но и природа заполнителя, характер и чистота его поверхности, форма зерен и шероховатость.

При производстве различных видов бетона, строительных растворов, в том числе тампонажных, применяются различные виды заполнителей. Заполнители могут быть природными, искусственными (керамзит, аглопорит, перлит) и техногенного происхождения (шлаки металлургических комбинатов, золы ТЭС, пустые породы угольных шахт). Все они имеют различный характер поверхности, различную прочность, пористость, насыпную плотность, пустотность, площадь удельной поверхности. Характеристики заполнителя бетона в конечном счете оказывают большое влияние на реологические свойства бетонной смеси и физико-механические показатели готового бетона.

В бетонных конструкциях заполнитель воспринимает большую часть нагрузки, благодаря чему уменьшается воздействие на растворную часть, отдалается развитие трещин. Подобный эффект наблюдается при максимальном насыщении бетона заполнителем. Количество контактов растворной смеси с заполнителем определяет прочностные характеристики строительных конструкций. Прочность растворной части в тяжелых бетонных конструкциях, как правило, меньше прочности заполнителя, поэтому разрушение бетона происходит именно по поверхности контакта растворной части и заполнителя [1]. Поверхность контакта цементного раствора с заполнителем является наиболее подверженной к образованию трещин и разрушению.

**Постановка проблемы.** Результаты, полученные при исследовании когезионного взаимодействия, могут быть использованы для снижения величины отскока строительного раствора при набрызге смеси. При изучении силы адгезии строительных растворов, применяемых для набрызгбетонных и тампонажных работ, также следует учитывать особенности применяемого наполнителя. В шахтном строительстве в качестве наполнителя для тампонажных и набрызгбетонных растворов, как и при производстве бетонов и бетонных растворов, наряду с использованием традиционного кварцевого песка, широко применяются различные отходы промышленности: отвалы и гранулированные шлаки металлургических комбинатов, зола-унос и золошлаковые смеси ТЭС, вмещающие породы угольных шахт. Среди этих материалов наиболее перспективным является применение вмещающих пород угольных шахт, поскольку металлургические шлаки, зола-унос и золошлаковые смеси ТЭС необходимо транспортировать на большие глубины угольных шахт. Использование вмещающих пород позволит разгрузить транспортную систему шахт, а также снизить затраты на проведение тампонажных и набрызгбетонных работ.

**Теоретический анализ исследований.** Реологические свойства и закономерности структурообразования тампонажных смесей в достаточно полной мере были изучены такими учеными как Максимов А.П., Саламатов М.А., Дуда Е.Г., Хмяляйнен В.А., Кипко Э.Я., Кипко А.Э., Должиков П.Н., Цаплин Е.Г., Попов И.В., Рябичев В.Д.

Кипко Э.Я. [3], Должиковым П.Н. [4], Рябичевым В.Д. [5] была исследована возможность получения тампонажно-закладочных смесей на основе отвалных и горелых пород. Саламатов М.А. смоделировал процесс тампонажа в условиях трещиноватых пород [6]. Хмяляйнен В.А. исследовал возможность замены части цемента в тампонажных растворах на отходы углебогачения. Его исследования показали, что это не только эффективно, но и имеет значительное влияние на реологические свойства тампонажных растворов, в частности на эффективную вязкость.

**Цель работы.** Определение закономерности изменения когезионных свойств цементного раствора от величины водоцементного отношения.

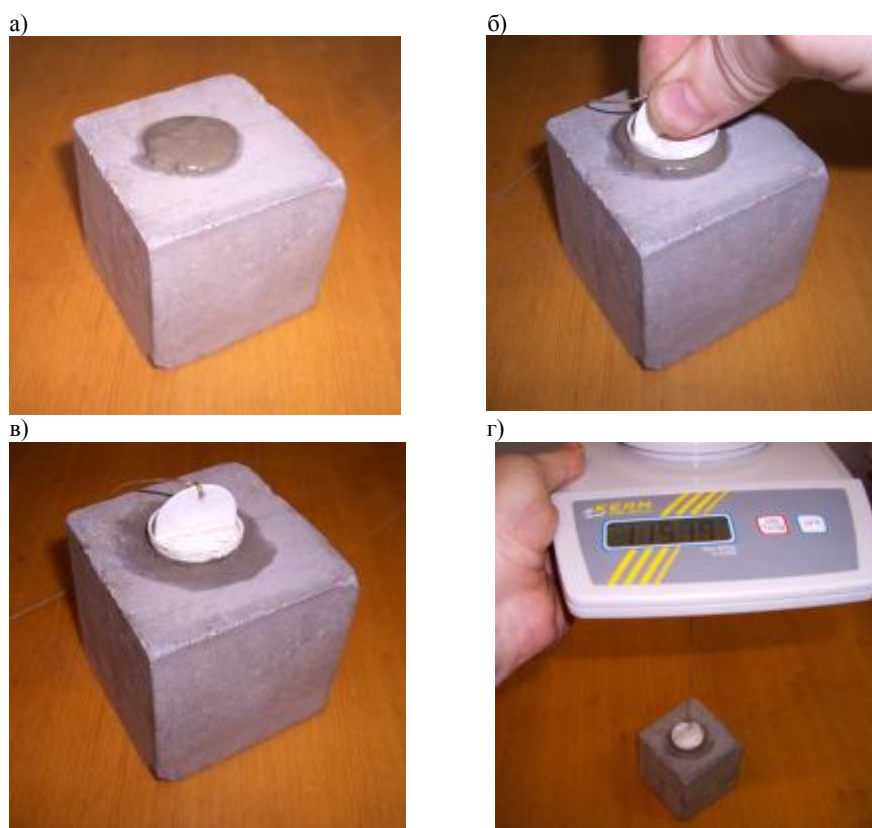
### **Задачи исследования:**

1. Экспериментально определить силу когезии цементного раствора к заполнителю при различных значениях водоцементного отношения.

2. Установить закономерность изменения когезионных сил при различном водоцементном отношении.

Рассматривая цементный раствор, выделим основные характеристики, которые могут влиять на когезию, и которые можно исследовать. Основная характеристика, которая может влиять на когезию, - это водоцементное отношение. Данный параметр влияет на несколько характеристик смеси: подвижность, вязкость и собственно когезию. Другой, не менее важный параметр, который может изменять когезию цементного раствора – это фактор времени. В процессе выдержки цементного раствора происходит его схватывание, в результате чего изменяются когезионные характеристики [7]. При снижении водоцементного отношения в цементном растворе данный эффект проявляется в большей мере. Тонкость помола цемента также будет определять сроки схватывания. Скорость гидратации, особенно на начальной стадии, будет зависеть от удельной поверхности цемента. Однако в данной работе влияние продолжительности выдержки цементного раствора на его когезию к заполнителю не рассматривается.

**Описание эксперимента.** Для проведения эксперимента применялись электронные весы, бетонный куб 100x100мм, пластмассовый пуансон диаметром 30мм, портландцемент марки М400. В процессе проведения эксперимента на поверхность куба наносилось небольшое количество жидкого цементного раствора (5...7 г), затем сверху на 5 секунд прижимался пуансон. После этого производилось измерение усилия отрыва пуансона от слоя цементного раствора, на основании чего судили о силе когезии. Этапы выполнения работ представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Этапы выполнения работ по определению силы адгезии:**  
а) – нанесение цементного раствора; б) – прижатие пуансона; в) – удаление избыточного количества раствора; г) – проведение измерений по определению усилий отрыва

Пуансон был соединен нитью с электронными весами, которые были использованы в качестве динамометра. Главным отличием использования электронных весов являлась высокая чувствительность прибора, а также мгновенное числовое отображение результатов.

В ходе выполнения экспериментов определялось усилие отрыва пуансона от горизонтальной грани бетонного куба, покрытой слоем цементного раствора толщиной 2...3 мм. Усилие отрыва формировалось постепенно, со скоростью 10 грамм-сил/сек (0,01 кгс/сек). При достижении некоторого максимального значения происходил отрыв пуансона от цементного раствора. Зафиксированное максимальное значение заносилось в таблицу 1.

Таблица 1

Значения силы когезии цементного раствора к пуансону при различных значениях водоцементного отношения

Номер образца	В/Ц	Сила когезии, кгс×10 <sup>-3</sup>	Среднее значение силы когезии, кгс×10 <sup>-3</sup>
1.	0,4	266	270
2.		270	
3.		276	
4.	0,5	346	358
5.		357	
6.		371	
7.	0,6	372	382
8.		380	
9.		394	

На основании полученных результатов построен график зависимости когезионных сил от параметра В/Ц (рис. 2).

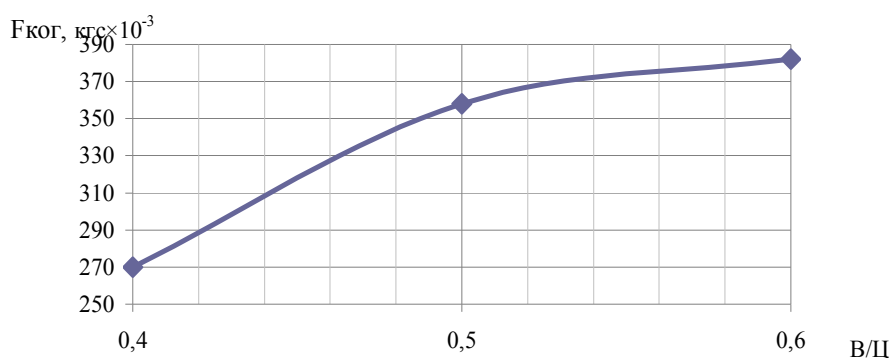


Рис. 2. График зависимости изменения когезии цементного раствора к пуансону от величины водоцементного отношения

Следует отметить, что количественно когезия характеризуется удельной работой, затрачиваемой на разделение двух (твёрдого и жидкого) тел. Эта работа рассчитывается на единицу площади соприкасающихся поверхностей.

Величины когезионных сил, которые представлены на рис. 2 характерны для условий погружения в цементный раствор пуансона диаметром 30мм и площадью поверхности контакта равной  $7,068 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Для того, чтобы представленные на рис. 2 данные были актуальны для описания когезионных сил цементного раствора, действующих на частицы различного размера, выполняем пересчет значений сил с учетом площади пуансона.

Вследствие проведенных расчетов, получены значения, которые характеризуют действие удельных когезионных сил на частицы заполнителя при различном значении водоцементного отношения (рис. 3).

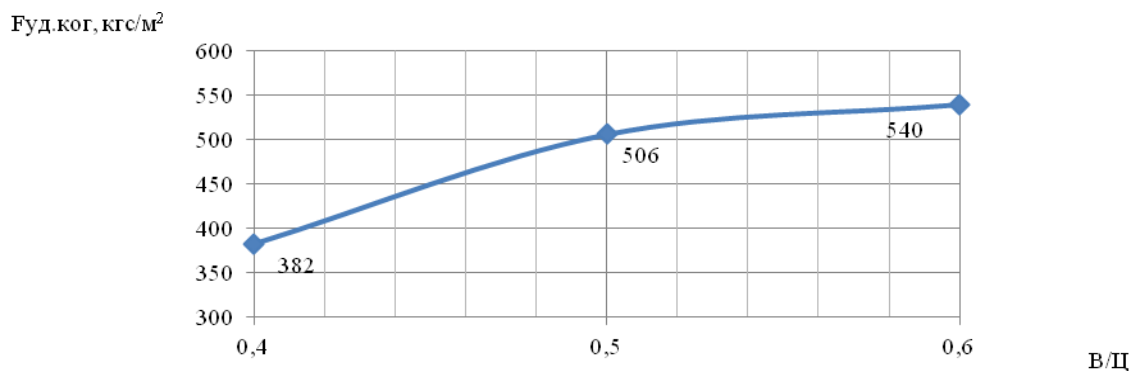


Рис. 3. График зависимости изменения удельных когезионных сил, действующих в цементном растворе по отношению к заполнителю, при различных значениях водоцементного отношения

Когезия обусловлена межмолекулярным взаимодействием (вандерваальсовым, полярным, иногда — образованием химических связей или взаимной диффузией) в поверхностном слое и характеризуется удельной работой, необходимой для разделения поверхностей [8].

**Выводы.** Полученные результаты хорошо объясняются влиянием осмотического давления, которое возникает в жидком цементном растворе при попытке отрыва пуансона. После нанесения определенного количества цементного раствора на бетонный куб, сверху на раствор помещается пуансон и осуществляется его прижатие к кубу, в результате чего из-под пуансона выжимается избыточное количество раствора. Толщина же обжатого слоя раствора, находящегося под пуансоном, составляет 2мм. После того, как избыточное количество раствора, выдавленное из-под пуансона, удалено, выполняется измерение усилия отрыва пуансона от раствора. Как видно из диаграммы, чем больше в исходном растворе было воды, тем больше будет усилие отрыва и тем больше проявится действие осмотического давления, которое возникает в слое раствора под пуансоном, после того как усилия сжатия сменились на усилия отрыва. С увеличением В/Ц от 0,4 до 0,5 в растворе находится большее количество жидкости, в результате чего величина осмотического давления увеличивается и достигает наибольшего значения при В/Ц=0,6. Полученная зависимость может быть использована для разработки математической модели процесса набрызга бетонной смеси.

### Литература

1. Ицкович С.М. Технология заполнителей бетона / Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов - Москва: Высшая школа, 1991. – 271 с.
2. Кипко Э.Я. Проектирование тампонажных растворов в горном деле: монография/[Кипко Э.Я., Дудля Н.А., Тельних Н.Н. и др.]- Днепродзержинск: Издательский дом «Андрей», 2008. -176 с.
3. Должиков П.Н. Физика движения вязкопластичных тампонажных растворов: монография/П.Н. Должиков, Э.Я. Кипко. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 238 с.
4. Рябичев В.Д. Разработка комплексной технологии ликвидации наклонных горных выработок закрывающихся шахт высокодисперсными смесями: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство» / В.Д. Рябичев. – Днепропетровск, 2002, 16 с.
5. Саламатов М.А. Гидродинамические основы математического моделирования процесса тампонажа трещиноватых горных пород / М.А. Саламатов, С.М. Саламатов // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Горно-геологическая. - 2001. – Вып. 36. - с. 133-136.
6. Хмяляйнен В.А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов на основе цемента и отходов углеобогащения / В.А. Хмяляйнен., М.А. Баев // Вестник КузГТУ. – 2013. - №6 – с.12-19.
7. Максимов А.П. Тампонаж горных пород. / А.П. Максимов, В.В. Евтушенко. – Москва: Недра, 1978. – с.180.
8. Адгезия и когезия [Электронный ресурс] // Яндекс. Словари. Большая Советская Энциклопедия. – Режим доступа: [http://slovari.yandex.ru/~книги/БСЭ/Адгезия и когезия/](http://slovari.yandex.ru/~книги/БСЭ/Адгезия_и_когезия/). – Дата обращения: 29.09.2011.

### **Коваленко В.В., Гаркуша В.С. ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕЗІЇ ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ ДО ЗАПОВНЮВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

*Представлені результати лабораторних досліджень зміни когезії цементного розчину по відношенню до частинок крупного заповнювача в залежності від водоцементного відношення. Процес когезії цементного розчину до частинки розглядається з позицій фізико-механічної взаємодії двох середовищ. Властивості заповнювача змодельовані за рахунок використання пластмасового пуансона діаметром 30 мм з плоскою поверхнею контакту. Отримана залежність зміни питомих когезійних сил, діючих у цементному розчині по відношенню до заповнювача, при різних значеннях водоцементного відношення.*

**Ключові слова:** когезія, тампонаж, водоцементне відношення, цементний розчин, набрызкбетон.

**Коваленко В.В.** – к.т.н., доцент кафедри строительства, геомеханики и геотехники, ГВУЗ «Национальный горный университет».

**Гаркуша В.С.** – аспирант кафедры строительства, геомеханики и геотехники, ГВУЗ «Национальный горный университет».

*Рецензент: Роснко А.М. – д.т.н., профессор кафедры строительства, геомеханики и геотехники, ГВУЗ «Национальный горный университет».*

## LABORATORY STUDY OF CEMENT MORTAR COHESION TO CONCRETE AGGREGATE

*The laboratory studies' results of the measuring mortar cohesion to coarse aggregate particles are given, depending on the water-cement ratio. The cohesion process of cement mortar to a particle is considered from the standpoint of physical and mechanical interaction between two media. The aggregate properties are modeled through the using a plastic punch with diameter of 30 mm with a flat contact surface. Dependence between the changing specific cohesive forces, acting in the mortar in relation to the aggregate for different water-cement ratio values is obtained.*

**Key words:** cohesion, tamping, water cement ratio, cement mortar, sprayed concrete.

**The research relevance.** Study of surfaces cohesion for heterogeneous solid and liquid bodies has great importance. Significant influence on the cohesion strength of two different bodies has not only the activity of used cement, but also the nature of the aggregate, the nature and purity of its surface, roughness and grain shape.

When manufacturing various kinds of concrete, mortars, including tamping mortars, different kinds of fillers are used. Aggregates may be natural, artificial (keramzit, agloporit, perlite) and anthropogenic origin (slag smelters, fly ash, waste rock of coal mines). They all have different surface character, varying strength, porosity, bulk density, void or specific surface area. Characteristics of concrete aggregate ultimately have a great impact on the rheological properties of the concrete mix and physical and mechanical properties of the finished concrete.

In concrete structures aggregate takes most of the load, thereby reducing the impact on the mortar part moves away the development of cracks. A similar effect is observed at the maximum saturation of the concrete by aggregate. Contacts number of mortar and aggregate determines the strength characteristics of building structures. Strength of the mortar fraction in heavy concrete structures, usually less than that of the aggregates, so concrete failure occurs precisely at the contact surface of the mortar and aggregate [1]. Contact surface is most prone to cracking and failure.

**Statement of the problem.** The results obtained in the study of cohesive interaction between mortar and aggregate may be used to reduce the rebound magnitude, when sprayed mortar mixture is applied. In studying the adhesion strength of mortars used for sprayed concrete and tamping works, should also be considered filler features. In mine construction as a filler for tamping and shotcrete mortars, as well as in the concrete and concrete mortars production, along with the using of traditional quartz sand, widely applied various industrial wastes: dumping and granulated slag of metallurgical plants, fly ash and slag mixtures, waste rock from coal mines. Among these materials, the most perspective is the using of the waste rocks of coal mines because metallurgical slag, fly ash and slag mixtures must be transported to great depths of coal mines. Using enclosing rocks will unload the transport system of mines, as well as reduce the costs of tamping and shotcrete works.

**Theoretical analysis of the research.** Rheological properties and regularities of structure formation in tamping mixtures quite well have been investigated by such scientists as Maximov A.P., Salamatov M.A., Duda E.G., Khyamyalyajnen V.A., Kipco E.H.Ya., Kipco A.EH., Dolzhikov P.N., Tsaplin E.G., Popov I.V., Ryabichev V.D.

Kipco E.H.Ya. [3], Dolzhikov P.N. [4], Ryabichev V.D. [5] studied the possibility of manufacturing tamping mixtures based on dump and burned rocks. Salamatov M.A. modeled the process of plugging in fractured rock conditions [6]. KHyamyalyajnen V.A. explored the possibility of replacing part of the cement in tamping mortars on coal enrichment waste. This research showed that it is not only effective, but it also has a significant effect on the rheological properties of mortars, in particular the effective viscosity.

**The aim of the work** is to determine the regularities of changes cohesive properties of cement mortar on the water-cement ratio.

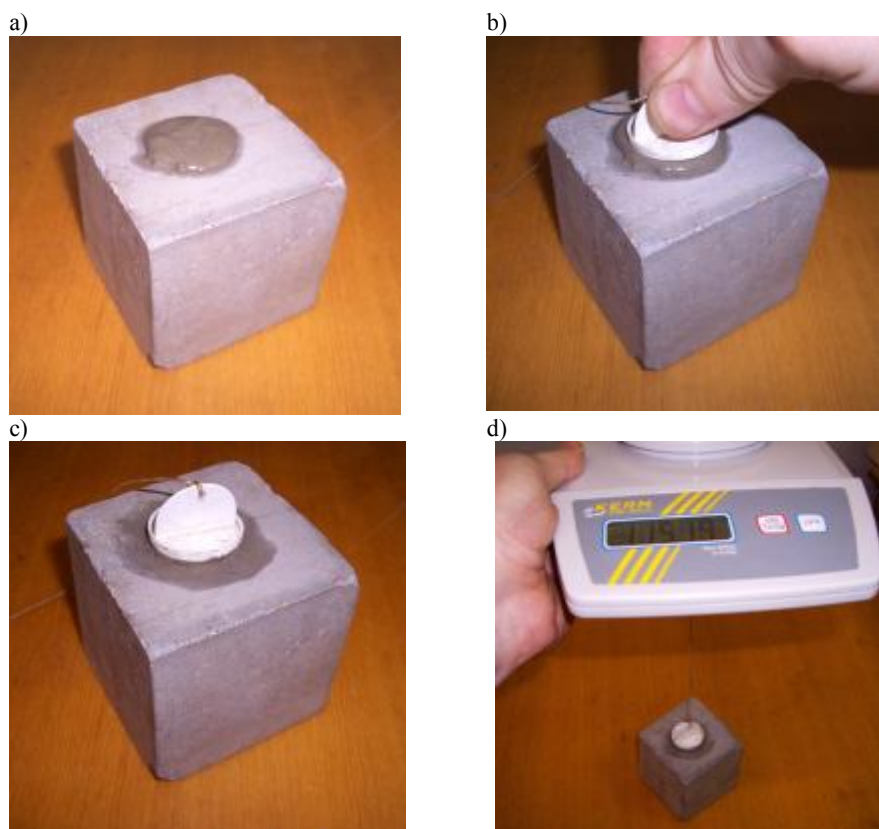
### **Objectives of the work:**

1. To determine experimentally the cohesion strength of cement mortar to the aggregate for different values of water-cement ratio.
2. To determine the regularity of change for cohesive forces at different water-cement ratio.

Considering the cement mortar, should define the main characteristics that have influence on cohesion and which we can explore. The main characteristic, which can affect the cohesion, is a water-cement ratio. This parameter affects several characteristics of the mixture: fluidity, viscosity and, actually, cohesion. Another, no less important parameter, that can change the cement mortar cohesion – it is the time factor. During the curing cement mortar, it is setting, resulting change cohesive characteristics [7]. Reducing water-cement ratio in cement mortar, this effect is shown in a greater measure. Cement fineness will also determine the curing terms. The hydration rate, especially at the initial stage will depend on the specific surface of cement. However, in this work the duration influence of curing to the cement its cohesion to the aggregate is not considered.

**Experiment description.** For the experiment, electronic scales, concrete cube 100×100 mm, plastic punch diameter 30mm, Portland M400 was used. In the course of the experiment on the cube surface was applied a small amount of mortar (5 ... 7 g), followed by 5 seconds from the top punch was pressed. Then was measured the breakout force of the punch from the cement mortar layer, based on which considered the strength of cohesion. Stages of the works presented in Fig.1.

The punch was connected thread with electronic scales, which were used as a dynamometer. The main difference between the using electronic scales was the high device sensitivity, as well as instant numeric display the results.



**Fig. 1. Stages of work performance on defining the cohesion strength:**  
**a) –cement mortar applying; b) - punch pressing; c) – removing excess amount of mortar; d) – measurements to determine the breakaway force.**

In the course of performing experiments was determined the breakout force of a punch from the horizontal verge of concrete cube covered with a layer of a cement mortar in the thickness of 2...3 mm. Breakout force was formed gradually, with a speed of 10 gram-forces/sec (0,01 kg/sec). Reaching a maximum value was the detachment of a punch from cement mortar. The recorded maximum value was entered in the table 1. Based on results obtained, graph of the dependence between cohesive forces and a parameter Water/Cement was built (Fig. 2).

Table 1

Cohesion strength values of cement mortar to the punch for different values of water-cement ratio

Number of specimen	Water/Cement	Cohesive strength, $\text{kgf} \times 10^{-3}$	Average cohesive strength, $\text{kgf} \times 10^{-3}$
10.	0,4	266	270
11.		270	
12.		276	
13.	0,5	346	358
14.		357	
15.		371	
16.	0,6	372	382
17.		380	
18.		394	

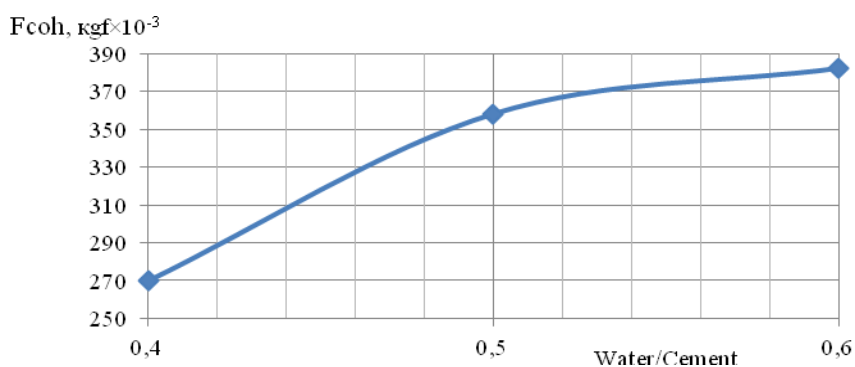


Fig.2. Graph of dependence of mortar cohesion to the punch on the value of water-cement ratio

It should be noted that the cohesion quantitatively is characterized by a specific work expended on the division into the two (solid and liquid) bodies. This work is calculated per unit area contacting surfaces.

Amounts of cohesive forces are presented on Fig.2. It is characteristic conditions for immersion into the mortar layer punch diameter 30 mm and a contact surface area equal to  $7,068 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . To shown on Fig. 2 data were relevant to describe the cohesive strength of cement mortar, acting on the particles of different size, recalculate the forces values by the surface area of the punch.

Due to the calculations the values that characterize the action of specific cohesive forces on the aggregate particles at different values of water-cement ratio are obtained (Fig. 3).

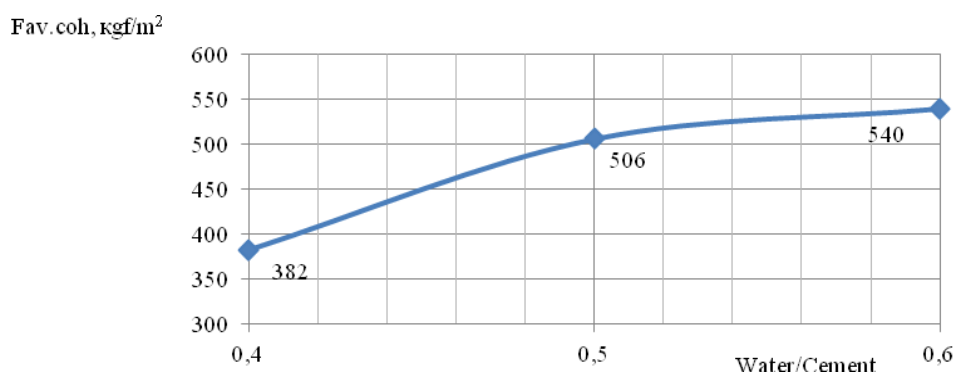


Fig. 3. Graph of changes in the specific cohesive forces acting in the cement in relation to an aggregate for different values of water-cement ratio

Cohesion due to intermolecular interactions (Van der Waals, polar, sometimes - the formation of chemical bonds or mutual diffusion) in the surface layer and is characterized by the specific work required to division the surfaces [8].

**Conclusions.** The results obtained are attributed to the effect of osmotic pressure that occurs in the liquid cement mortar when it trying to tear the punch. After applying a certain amount of cement mortar, concrete cube is placed on top of the mortar provided by the punch and its pressing to a cube, whereby the punch is squeezed out the excess amount of the mortar. The thickness of the layer of compressed mortar is under the punch is 2mm. After the excess amount of the mortar squeezed out of the punch is removed, the measurement is performed breakout force of the punch from the mortar. As it seen from the graph, the more the initial mortar was water, the greater will be the division force and the more the effect of osmotic pressure that occurs in the mortar layer by the punch, after the compression force on the breakout force changed. Increasing the Water/Cement from 0.4 to 0.5 in the mortar, it is more liquid, whereby the amount the osmotic pressure increases, and reaches its maximum value at Water/Cement = 0.6. The relationship obtained may be used to develop a mathematical model of the spraying concrete.

#### References

1. Itskovich S.M., Tekhnologia zapolnitelej betona / L.D. Chumakov, YU.M. Bazhenov – Moskva: Vysshaya shkola, 1991. – 271 s.
2. Kipco EH.YA. Proektirivanie tamponazhnykh rastvorov v gornom dele: monografiya/[Kipco EH.YA., Dudlya N.A., Tel'nykh N.N. i dr.].- Dneprodzerzhinsk: Izdatel'skij dom «Andrej», 2008. -176 s.
3. Dolzhykov P.N. Fizika dvizheniya vyzkoplastichnykh tamponazhnykh rastvorov: monografiya/P.N. Dolzhikov, EH.YA. Kipko. – Donetsk: Nord-Press, 2007. – 238 s.

4. Ryabichev V.D. Razrabotka kompleksnoj tekhnologii likvidatsii naklonnykh gornykh vyrabotok zakryvayushhikhsya shakht vysokodispersnymi smesyami: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.15.04 «Shakhtnoe i podzemnoe stroitel'stvo» / V.D. Ryabichev. – Dnepropetrovsk, 2002, 16 s.
5. Salamatov M.A. Gidrodinamicheskie osnovy matematicheskogo modelirovaniya protsessa tamponazha treshhinovatykh gornykh porod / M.A. Salamatov, S.M. Salamatov // Nauchnye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Gorno-geologicheskaya. - 2001. – Vyp. 36. - s. 133-136.
6. Khyamyalyajnen V.A. Eksperimentalnye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svojstv tamponazhnykh rastvorov na osnove tsementa i otkhodov ugleobogashheniya / V.A. Khyamyalyajnen., M.A. Baev // Vestnik KuzGTU. – 2013. - №6 – s.12-19.
7. Maksimov A.P. Tamponazh gornykh porod. / A.P. Maksimov, V.V. Evtushenko. – Moskva: Nedra, 1978. – s.180.
8. Adgeziya i kogeziya [Elektronnyj resurs] // Yandeks. Slovare. Bolshaya Sovetskaya Ehntsiklopediya. – Rezhim dostupa: [http://slovari.yandex.ru/~knigi/BSEH/Adgeziya i kogeziya/](http://slovari.yandex.ru/~knigi/BSEH/Adgeziya_i_kogeziya/). – Data obrashheniya: 29.09.2011.

**Kovalenko V.V.** – Associate Professor, Department of Construction, Geomechanics and Geotechnics, SHEI "National Mining University".

**Garkusha V.S.** – Post-graduate student, Department of Construction, Geomechanics and Geotechnics SHEI "National Mining University".

Reviewer: **Royenko A.N.** – Professor, Department of Construction, Geomechanics and Geotechnics, SHEI "National Mining University".