

**РЕОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ  
РЕМОНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

**Гедулян С.И.**, к.т.н.,  
**Острыжнюк М.В.**, аспирант,  
**Антонюк Н.Р.**, к.т.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
sged@ukr.net

**Аннотация.** В работе показана возможность регулирования реологическими свойствами ремонтных композитов на основе сухих строительных смесей посредством управления их реологическими параметрами в диапазоне рабочих скоростей сдвига, характерных на всех этапах производства ремонтных работ, за счет целенаправленного модифицирования их состава. Полученные экспериментальные реологические характеристики смесей и их анализ методами компьютерного материаловедения дают возможность повысить эффективность проведения такого рода восстановительных работ при экономии на их технологической составляющей, и получить представление о необходимости выбора тех или иных компонентов состава ремонтных смесей и рациональном их использовании.

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси, ремонтные растворы, реология, модели реологического поведения.

**РЕОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
РЕМОНТНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

**Гедулян С.І.**, к.т.н.,  
**Острижнюк М.В.**, аспірант,  
**Антонюк Н.Р.**, к.т.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
sged@ukr.net

**Анотація.** В роботі показана можливість регулювання реологічними властивостями ремонтних композитів на основі сухих будівельних сумішей за допомогою управління їх реологічними параметрами у діапазоні робочих швидкостей зсуву, характерних на всіх етапах виконання ремонтних робіт, за рахунок цілеспрямованого модифікування їхнього складу. Отримані експериментальні реологічні характеристики сумішей та їх аналіз методами комп'ютерного матеріалознавства дають можливість підвищити ефективність такого роду відновлювальних робіт при економії на їх технологічній складовій, та отримати уявлення про необхідність вибору тих чи інших компонентів складу ремонтних сумішей та раціональне їх використання.

**Ключові слова:** сухі будівельні суміші, ремонтні розчини, реологія, моделі реологічної поведінки.

**RHEOLOGICAL ASPECT OF QUALITY MANAGEMENT OF REPAIR MORTARS  
BASED ON DRY BUILDING MIXES**

**Gedulyan S.I.**, PhD,  
**Ostryzniuk M.V.**, post-graduate student,  
**Antoniuk N.R.**, PhD, Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
sged@ukr.net

**Abstract.** Presented work shows the possibility of regulation of technological features of repair composites based on dry building mixes through analyses and management of their rheological parameters within work limits of shear rates, which are specific for repair and restoration works using the purposeful modifying of their composition. Obtained experimental rheological properties of mixtures and analysis of complex dependencies, which quantify linking properties of repair composites with the type and amount of functional additives, using methods of computer materials science make it possible to increase the effectiveness of this kind of repair with economy on its technological forming component and get an idea about the necessity in selecting one or another modifying component of repair mortars and their rational use. Modeling of mixes' composition from the standpoint of required rheological parameters of finished material allows to obtain mixes with qualitative characteristics suitable for the specific technological equipment, methods and conditions of repair production.

**Keywords:** dry building mixes, repair mortars, rheology, rheological models.

**Введение.** При производстве сухих строительных смесей (ССС) одним из самых важных и непростых процессов является составление рецептуры, результатом которого должно быть обеспечение стабильности требуемых технологических характеристик, таких как требуемая консистенция, адгезия к основанию, усадка, прочность на изгиб и сжатие, эффективность применения при перепадах температур и т.д. [1].

Постоянство всех этих характеристик напрямую зависит не только от соблюдения требований по подготовке исходного сырья, его дозированию и перемешиванию, но и от стабильности свойств компонентов, используемых при изготовлении.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Отмечено [2, 3], что придание высокого уровня качественных показателей обеспечивается за счет применения целевых функциональных групп добавок-модификаторов. По химической природе это могут быть продукты как неорганического, так и органического синтеза: редицергируемые полимерные порошки, эфиры целлюлозы и крахмала, ПАВ и др., причем для обеспечения нормируемого уровня свойств и целевого назначения требуется одновременное присутствие добавок различной природы [2].

**Цель и задачи.** Модифицирование ССС за счет минеральных наполнителей и полимерных добавок-модификаторов является одной из фундаментальных задач при проектировании состава для обеспечения нормируемых рабочих характеристик, а анализ действия комплексов таких добавок – основа для получения качественных смесей для применения в конкретных условиях проведения восстановительных работ. Наиболее значимым показателем эффективности оптимизации технологической составляющей таких работ являются реологические показатели растворов. Например, повышение их предельного напряжения сдвига и энергии тиксотропии позволяет снизить стекание ремонтного слоя после нанесения на наклонные или горизонтальные поверхности и т.п. [3].

**Основной материал.** Технология приготовления и применения ремонтных растворов на основе сухих строительных смесей предусматривает использование широкого диапазона скоростей сдвига. Например, масса раствора вблизи насадки миксера при перемешивании обычно испытывает  $\sim 15 \dots 100 \text{ с}^{-1}$ , при его заборе из емкости – около  $10 \text{ с}^{-1}$ , при прохождении через сопло торкрет-установки –  $1600 \dots 2800 \text{ с}^{-1}$ , поэтому способность готового раствора к переработке не может быть изучена при единичной оценке вязкости или любого другого реологического параметра при одной скорости сдвига [4].

Подавляющее большинство псевдопластических материалов обладают широким диапазоном зависимости напряжения сдвига и вязкости от интенсивности деформационных напряжений, темпа их наложения и длительности воздействия, в особенности, если речь идет о тиксотропных составах. Соответственно, для классификации качества ремонтных материалов с точки зрения реологии необходимо учитывать всю область скоростей сдвига, которые воздействуют на материал на каждом технологическом этапе производства восстановительных работ (рис. 1).

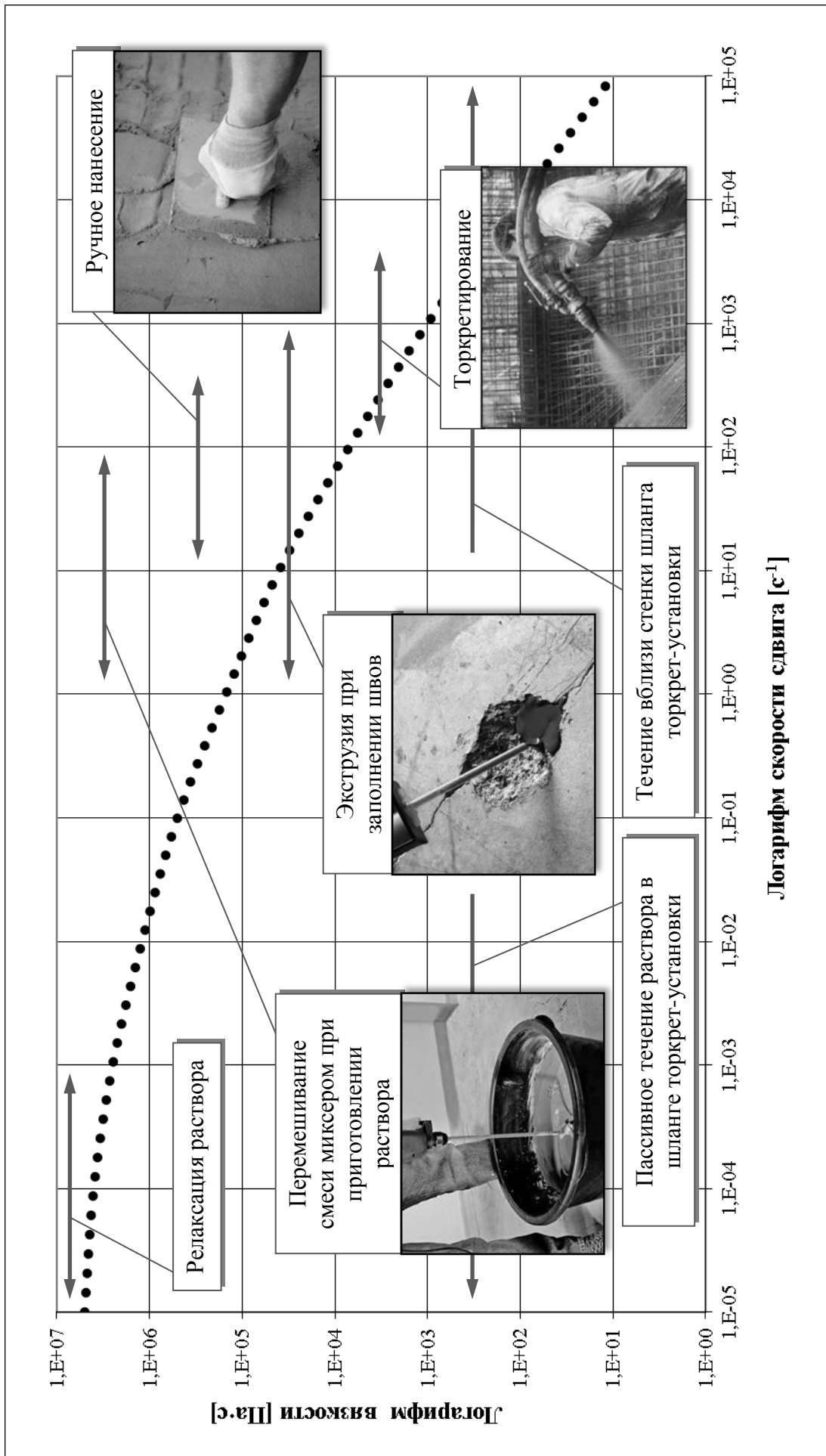


Рис. 1. Соответствие скоростей сдвига при типовых технологических процессах (модифицированная схема Г. Шрамма [6] применительно к ремонтным работам)

Так, наличие экспериментальных реологических данных смеси дает возможность подобрать двигатель для привода смесителя, давление сжатого воздуха в случае торкретирования. И наоборот, моделирование состава растворов с точки зрения необходимых реологических параметров готового материала при его проектировании позволяет получать составы с заложенными под конкретное технологическое оборудование, методы и условия производства работ качественными показателями [5].

В общем виде величины скоростей сдвига, воздействующие на растворы, могут быть определены с коэффициентом точности в пределах порядка по уравнению [6]:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{y}, \quad (1)$$

где  $v$  – максимальная скорость прохождения через «зазор», мм/с;

$y$  – предельная величина «зазора», мм.

Заглаживание при ручном способе нанесения композиций (рис. 2) происходит в среднем со скоростью движения правила  $v \sim 0,5$  м/с.

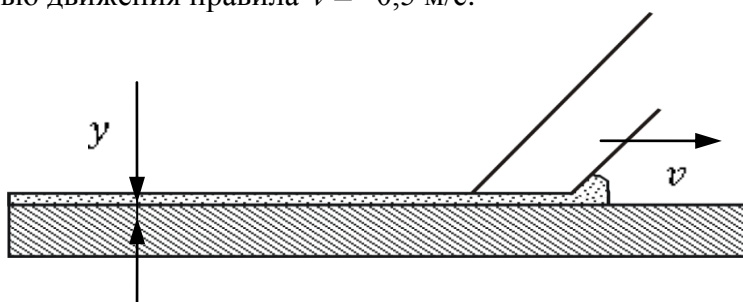


Рис. 2. Выравнивание слоя материала при нанесении на поверхность

Соответственно, можно вычислить, что толщина слоя раствора в 2 см при этом будет испытывать деформационную нагрузку, равную:

$$\dot{\gamma} = \frac{500}{20} = 25 \text{ с}^{-1}. \quad (2)$$

Ремонтные растворы, наносимые на вертикальные поверхности, находятся в стремлении стечь под влиянием силы тяжести (рис. 3).

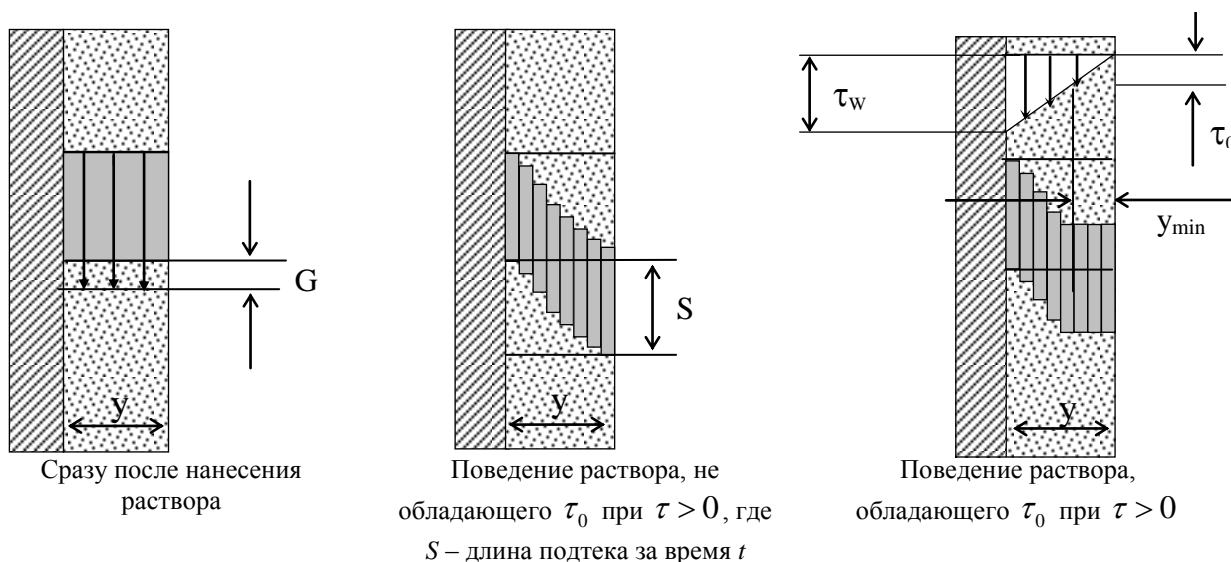


Рис. 3. Стечение материала по вертикальной поверхности [6]

Напряжение сдвига, которое возникает на границе между слоем раствора и бетонным основанием  $\tau_w$ , определяется как [6]:

$$\tau_w = \frac{G}{A} = \frac{A \cdot (h - y) \cdot \rho \cdot g}{A} = (h - y) \cdot \rho \cdot g, \quad (3)$$

где  $G$  – вес раствора на поверхности  $A$ ,  $H$ ;  
 $A$  – площадь поверхности стенки,  $m^2$ ;  
 $h$  – толщина слоя раствора,  $m$ ;  
 $y$  – перемещение в горизонтальном направлении ( $h$ ),  $m$ ;  
 $\rho$  – плотность раствора,  $kg/cm^3$ ;  
 $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ .

При этом скорость сдвига будет равна:

$$\dot{\gamma}_w = \frac{\tau_w}{\eta} = \frac{(h-y) \cdot \rho \cdot g}{\eta}. \quad (4)$$

После интегрирования выражения:

$$dv = \dot{\gamma} = \frac{dv}{dy}, \quad (5)$$

получим скорость стекания материала  $v$ :

$$v = \frac{\rho y h}{\eta} - \frac{\rho y^2 g}{2\eta}. \quad (6)$$

Для математического описания деформационных зависимостей различной природы в растворных композициях применяют ряд моделей реологического поведения: Кэссона, Уильямса, Ри-Эйринга, Де Хэйвена и др. [7].

Например, для тела Балкли-Гершеля напряжение сдвига, возникающее на границе слоев материала, равно [8]:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (7)$$

где  $\tau_0$  – предельное напряжение сдвига,  $Pa$ ;  
 $k$  – коэффициент консистенции при  $\dot{\gamma} = 1 \text{ c}^{-1}$ ,  $Pa \cdot \text{c}^{-1}$ ;  
 $n$  – индекс течения, параметр модели функции течения.

При этом вязкость выражается следующим образом [9]:

$$\eta(\dot{\gamma}) = (k \cdot \dot{\gamma}^n + \tau_0) / \dot{\gamma} \quad (8)$$

или 
$$\eta = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k \cdot \dot{\gamma}^{n-1}. \quad (9)$$

При  $\tau_0 \geq \tau$  величина  $\dot{\gamma} = 0$ , т. е. слой раствора не подвержен течению. При  $\tau \geq \tau_0$  слой толщиной  $y_{min}$  начнет опускаться вниз как твердая пластина по слою  $(h - y_{min})$  со скоростью  $v$ , определяемой сдвиговой зависимостью вязкости конкретного раствора.

Раствор, нанесенный на вертикально расположенную поверхность, будет стекать только при  $\tau_w$  выше, чем  $\tau_0$ :

$$\tau_w = y \rho g \geq \tau_0, \quad (10)$$

т. е. если толщина его слоя  $y_{min}$  отвечает соотношению:

$$y_{min} \geq \frac{\tau_0}{\rho g}. \quad (11)$$

Определение  $\tau_0$  проводится при скорости сдвига, близкой к  $\dot{\gamma} = 0$ .

При математическом описании реологического поведения растворных композиций обретают практический смысл параметры моделей функций течения.

Так, индекс  $n$  показывает степень отклонения реологического поведения материала от ньютоновской жидкости, для которой  $n = 1$ . Подавляющее большинство строительных растворов являются псевдопластическими материалами (за увеличением  $\dot{\gamma}$  следует уменьшение  $\eta$ ) с индексом  $n < 1$ , причем псевдопластические свойства материала усиливаются при  $n \rightarrow 0$ .

Индекс течения  $n$  при постоянной деформации является константой материала, зависящей только от природы материала и концентрации в нем добавок, влияющих на эффективную вязкость. С повышением же скорости сдвига снижение параметра  $n$  усиливает характер понижения вязкости системы [10], что, например, упрощает процесс приготовления и использования растворов в торкрет-установках.

Коэффициент консистенции  $K$  характеризует эффективную вязкость системы при относительно низкой скорости прикладываемой деформации ( $\dot{\gamma} = 1 \text{ с}^{-1}$ ) и зависит от содержания твердой фазы в растворе. Рост величины  $K$ , характерный для тиксотропных композиций, обуславливает увеличение вязкости системы, что позволяет повышать эффективность нанесения ремонтных растворов на наклонные и вертикальные поверхности. Это может быть достигнуто отдалением индекса  $n$  от единицы в меньшую сторону либо увеличением твердой фазы [10]. Однако если с ростом  $K$  индекс течения  $n$  не снижается, раствор приобретает анти tiksotropные или реопексные свойства, что делает его применение затруднительным. Наиболее эффективным методом регулирования параметров функции течения является введение редиспергируемых порошков [11].

**Выводы.** Таким образом, анализ реологических параметров растворов в рабочем диапазоне скоростей сдвига, характерном на всех технологических этапах процесса производства ремонтных работ, позволяет как повышать их эффективность при экономии на технологической составляющей, так и давать представление о необходимости выбора тех или иных компонентов состава самих смесей и рациональном их использовании.

### Литература

1. Гедулян С.И. Нормативная база проектирования полимерцементных смесей для ремонта и восстановления строительных объектов / С.И. Гедулян // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2013. – Вип. №52. – С. 53-58.
2. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – М.: Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2003. – 96 с.
3. Koval S. Search of multicomponent compositions of repair compo-sites during computational experiment / S. Koval, S. Gedulyan // EUREKA: Physical Sciences and Engineering. – Tallinn: OÜ «Scientific Route», 2015. – №1. – Pp. 16-21.
4. Гедулян С.И. Использование реологических методов при проектировании технологии нанесения и свойств ремонтного раствора / С.И. Гедулян, С.В. Коваль // Мат-лы межд. конф. «Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении». – Новосибирск: НГАУ, 2016. – С. 118-124.
5. Кузнецов О.А. Реология пищевых масс: уч. пос. / О.А. Кузнецов, Е.В. Волошин, Р.Ф. Сагитов. – Оренбург: ОГУ, 2005. – 106 с.
6. Schramm G.A. Practical Approach to Rheology and Rheometry / Schramm G. – 2nd Edition – Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 2000. – 291 p.
7. Райнер М. Реология / М. Райнер. – М.: Наука, 1965. – 223 с.
8. Dapcevic T. An approach in numerical evaluation of thixotropy / T. Dapcevic, P. Dokic, M. Hadnadev, V. Krstonosic // Food & Feed Research Journal, 2011. – Vol. 35, iss. 1. – Pp. 33-40.
9. Гаврилов А.А. Вычислительные алгоритмы и комплекс программ для численного моделирования течений неньютоновских жидкостей в кольцевом канале: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук / Гаврилов А.А. – Новосибирск, 2014. – 20 с.
10. <http://ftk-nnov.ru/problemsy-promyvki-skvazhin-s-gorizontalnymi/kontrol-reologicheskix-svoystv-burovix-rastvorov.html>.
11. Гедулян С.И. Эффективные полимерцементные растворы для ремонта железобетонных конструкций. Автореф. дисс. канд. техн. наук / Гедулян Сергей Иванович. – Одесса: ОГАСА, 2016. – 21 с.

Стаття надійшла 20.09.2016