

УДК 666.9.015 + 622.063.23

ПОВЫШЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ САМОРАСШИРЕНИЯ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СОСТАВОВ**И. Г. Сахно, Н. Н. Касьян, И. И. Клочко, А. А. Кириллова**

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83000, Украина. E-mail: sahno_i@mail.ru

Вопрос повышения эффективности разрушения горных пород невзрывчатыми разрушающими материалами в различных условиях является весьма актуальным. При этом особый интерес вызывает физико-химический аспект саморасширения. Поисковые исследования были направлены на создание состава развивающего повышенное давление саморасширения без изменения температурного режима гидратации. Представлены результаты исследований влияния пластифицирующих добавок на усилие расширения и кинетику роста температуры невзрывчатых разрушающих составов при их гидратации. Предложена комплексная добавка позволяющая повысить усилие распура на 24–27 % без изменения температурного режима состава, что способствует повышению производительности невзрывного разрушения горных пород.

Ключевые слова: невзрывчатые разрушающие составы, саморасширение, гидратация, компонентный состав.

ПІДВИЩЕННЯ ТИСКУ САМОРОЗАСШИРЕННЯ НЕВИБУХОВИХ РУЙНІВНИХ СКЛАДІВ**І. Г. Сахно, М. М. Касьян, І. І. Клочко, О. О. Кирилова**

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83000, Україна. E-mail: sahno_i@mail.ru.

Питання підвищення ефективності руйнування гірських порід за допомогою невибухових руйнівних матеріалів у різноманітних умовах є актуальним. При цьому особливий інтерес викликає фізико-хімічний аспект саморозширення. Пошукові дослідження були спрямовані на створення складу, що розвиває підвищений тиск саморозширення без зміни температурного режиму гідратації. Представлені результати досліджень впливу пластифікуючих добавок на зусилля розширення і кінетику зростання температури невибухових руйнівних складів при їх гідратації. Запропонована комплексна добавка, що дозволяє підвищити зусилля розпуру на 24–27 % без зміни температурного режиму складу, що сприяє підвищенню продуктивності невибухового руйнування гірських порід.

Ключові слова: невибухові руйнівні склади, саморозширення, гідратація, компонентний склад.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Современное развитие горной промышленности невозможно представить без применения невзрывчатых разрушающих составов (НРС), которые неплохо себя зарекомендовали в различных условиях. НРС посвящено достаточно много работ, в которых, в основном, исследованы технологические параметры. Как правило, исследования проводились с составами заложенными разработчиками, что предопределяет, в основном, условия их применения. Интенсивное развитие технологий изготовления добавок, позволяющих изменять физико-механические свойства и управлять скоростью гидратации и кристаллизации растворов, привело к повышению интереса производителей к современным разработкам и позволило внедрить ряд новых технологий. Здесь речь идет, прежде всего, об изменении составов НРС за счет введения в них различных ускорителей, пластификаторов, стабилизаторов и др.

В горном деле весьма привлекательной является технология отбойки блочного камня, а также разрушение негабаритов, основанная на применении невзрывчатых разрушающих составов, являющаяся альтернативой традиционному взрывному способу разрушения. Достоинства этой технологии – отсутствие динамического воздействия на разрушаемый объект, выделения вредных газов и звуковых колебаний. Для реализации способа не требуется приобретение дорогостоящего специального оборудования или устройств – способ может быть реализован вбли-

зи транспортного и электрического оборудования. При этом исключается возможность их повреждения из-за отсутствия разлета частей разрушаемого объекта. На сегодняшний день в мире разработано и применяется более 100 различных композиций НРС.

Не смотря на заманчивые перспективы, практическое применение указанного способа разрушения ограничивается разрушением несущих элементов и фундаментов при демонтаже зданий, отделением блочного камня и дроблением негабаритных блоков с помощью НРС при добыче полезных ископаемых открытым способом.

При всех положительных моментах имеется ряд существенных недостатков, как технологического, так и физического характера. На последнем остановимся более подробно.

Основными недостатками сдерживающими широкое применение НРС являются: длительное, по сравнению со взрывным способом, время разрушения, недостаточное усилие расширения, что вызывает большие затраты на бурение, ограниченный диапазоном +5 – +25 °С температурный режим работы, что сужает область применения способа. Так, при отрицательных температурах эффективность разрушения резко снижается в связи с замедлением скорости гидратации, а при высоких положительных температурах наблюдается непроизвольный выброс смеси НРС из шпуров, вызванный резким повышением скорости гидратации.

Цель работы – повышение эффективности рабо-

ты невзрывчатых неразрушающих составов путем повышения давления саморасширения.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. На протяжении последних лет в ДонНТУ ведется работа, направленная на повышение эффективности работы НРС, в частности, их использование в условиях температурных полей подземных горных выработок, и увеличение усилия расширения. Авторами проводятся комплексные исследования кинетики саморасширения НРС на основе оксида кальция.

Повышение эффективности работы НРС возможно за счет регулирования протекания процесса гидратации, что возможно осуществить путем добавления ускорителей, замедлителей и пластификаторов.

Повышение скорости гидратации и конечного усилия расширения проводят за счет введения в состав НРС карбоната калия, нитрата натрия, борной кислоты [1–4], алюмосодержащих добавок, гидролизного крахмала [5, 6] и др. Эти составы показали хороший результат в условиях низких положительных и отрицательных температур. Однако в условиях нормальных положительных температур попытки повышать скорость гидратации путем введения в состав НРС химических добавок, создающих экзотермическую реакцию с оксидом кальция, приводят к неуправляемому росту скорости гидратации основного компонента НРС – оксида кальция. Следствием этого является самопроизвольный выброс НРС из шпуров, что не только снижает производительность работ, но и повышает травматизм.

Введение в состав замедлителей позволяет стабилизировать скорость гидратации в условиях высоких положительных температур, при этом предотвращается непроизвольное выбрасывание смеси из шпуров, но время разрушения материалов увеличивается, а конечное усилие расширения снижается. Действие пластификаторов в основном сводится к повышению подвижности смеси НРС.

Известно, что реакция гидратации оксида кальция является экзотермической, а увеличение объема материала происходит за счет роста кристаллов гидроксидов кальция в процессе гидратации его оксида, являющегося основой НРС. В твердеющем составе одновременно протекают несколько физико-химических процессов: вследствие термодинамической неустойчивости коллоидно-дисперсных систем происходит самопроизвольная перекристаллизация, рост размеров и количества кристаллов, переплетение и взаимное внедрение кристаллов и твердение материала. Рост температуры НРС при гидратации приводит к повышению ее скорости и, соответственно, к росту объема НРС, что, в свою очередь, в силу экзотермичности реакции, вызывает дополнительное повышение температуры. Таким образом, цикл взаимовлияния повторяется. Поэтому увеличение усилия расширения НРС за счет введения в состав катализаторов, повышающих скорость гидратации в условиях средних и высоких положительных

температур, приводит к резкому повышению температуры НРС, переходу химически несвязанной воды в газообразное состояние и выбросу состава растущим парогазовым давлением.

Снижение тепловыделения или интенсивный отвод тепла в процессе гидратации приводит к замедлению скорости роста кристаллов гидроксида кальция. Скорость схватывания материала при этом не меняется, что приводит к твердению раствора раньше, чем происходят его объемные изменения. Таким образом, твердеющий кристаллизационный каркас сдерживает рост объема состава, что является причиной снижения усилия расширения при добавлении замедлителей гидратации и понижении температуры среды.

Таким образом, задачей поисковых исследований по повышению эффективности работы НРС было изыскание способа повышения давления саморасширения без принудительного повышения температуры состава.

В результате проведенных исследований были определены характерные стадии работы НРС и дана их характеристика [7], выявлены зависимости роста давления саморасширения при различном режиме их работы [8]. Проведенные лабораторные эксперименты позволили найти новый путь повышения усилия расширения – предварительное сжатие смеси НРС.

Эксперименты проводились в специальном стенде [9], содержащем источник внешнего давления, корпус с испытательной камерой, поршень, датчики и регистрирующие приспособления. При этом корпус испытательной камеры содержал нагревательный элемент, соединенный с датчиком температуры, установленном на внутренней стороне камеры и имеющим выход к блоку управления.

После помещения образца НРС в испытательную камеру и установки поршня производили предварительное нагружение образца механическим прессом. Это позволило исследовать работу НРС в режиме предварительного сжатия. Величина предварительного сжатия НРС изменялась от 0,26 до 17,5 МПа. Температура окружающей среды при проведении экспериментов находилась в диапазоне 21–230 °С. Изменение деформаций и нагрузок во времени фиксировалось при помощи цифровой фотосъемки с интервалом 15–60 мин и занесением данных в журнал наблюдений. В качестве невзрывчатого разрушающего состава применялся материал НРВ–80, выпускаемый в Украине.

Графики, иллюстрирующие изменение давления расширения и объемные изменения НРС в течение 24 часов после затворения материала при различной величине предварительного сжатия, приведены на рис. 1.

Из графиков видно, что рост давления расширения и объемных изменений во времени имеет схожий характер.

При этом через 24 часа после приготовления смеси давление от ее саморасширения при отсутствии предварительного нагружения составило 28,72

МПа, об'єм матеріала збільшився на 7,0 %, а при попередньому стисненні суміші з тисненням 17,5 МПа тиснення саморозширення складало 48 МПа, при збільшенні об'єму – 3,34 %.

Збільшення попереднього навантаження на 17,5 МПа привело до зростання тиснення в часі 24 години на 19,28 МПа, при цьому тиснення 28,72 МПа було досягнуто через 8,4 години, т.е. майже в 3 рази швидше.

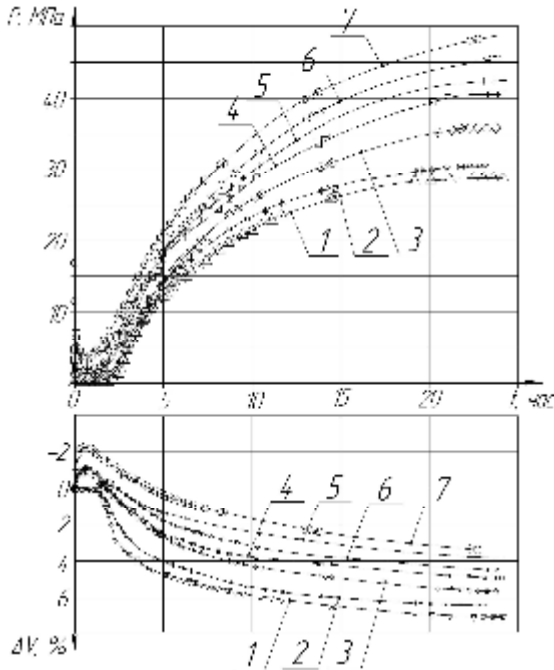


Рисунок 1 – Графики, змінення тиснення розширення (P) і відповідних об'ємних змін (ΔV) НРС в часі (t) при попередньому стисненні: 1 – 0 МПа; 2 – 0,26 МПа; 3 – 1,75 МПа; 4 – 4,37 МПа; 5 – 8,75 МПа; 6 – 11,37 МПа; 7 – 17,5 МПа

Крім того, активний ріст структурних новоутворень, зафіксований початком зростання об'єму НРС при відсутності попереднього навантаження, був відзначений через 85 хвилин, а при попередньому стисненні 17,5 МПа – через 40 хвилин, т.е. швидше майже в 2 рази.

Оскільки створення попереднього стиснення суміші механічним способом в шпурових і скважинних зарядах не завжди можливо, були проведені дослідження, направлені на пошук хімічних добавок, дозволяючих максимально ущільнити розчин НРС до моменту його твердіння, не змінивши особливо при цьому швидкість гідратації. Лабораторні дослідження проводились в декілька етапів. В якості базового складу, до якого вели підбір добавок, був вибраний НРВ-80, випускається промисловістю України. В якості добавок досліджували два пластифікатора СП-6 і Sika BV 3М.

Дослідження, представлені в роботі [7], показали, що в якості індикатора швидкості процесу

са гідратації може виступати динаміка зростання температури НРС.

Отже для дослідження впливу додавання пластифікаторів на швидкість гідратації були проведені лабораторні експерименти. Приготовлений розчин НРС при допомозі шприца поміщали в циліндричні резинові оболонки діаметром 40 мм, об'єм розчину НРС в оболонках складав 30 см³. Вміст пластифікаторів змінювали від 5 до 18 %, додавання пластифікаторів проводили з заміщенням відповідної частини води для збереження водотвердого відношення. Всередині оболонок з НРС встановлювали електронний лабораторний термометр з точністю 0,1 °С. Оболонки поміщали в циліндричну ємкість в формі посуду Дьюара з водою температурою 30 °С. Оскільки опір розширенню складу не оказувався, утворення нових поверхонь при перекристалізації оксиду кальцію відбувалося без додаткових втрат енергії, зростання об'єму відбувалося більш інтенсивно, ніж в шпуровому заряді, і скачкоподібно. Час початку третього етапу гідратації майже збігалося з інтенсивним зростанням температури і переходом хімічно незв'язаної води в газоподібну фазу. Після обробки результатів експерименту отримали графіки, що характеризують швидкість гідратації НРС на різних етапах з різним вмістом пластифікаторів (рис. 2).

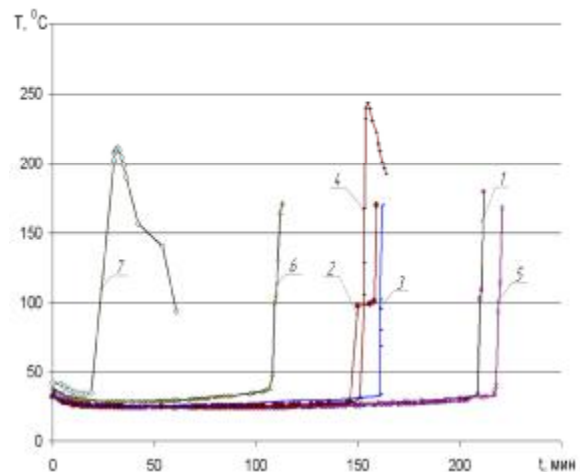


Рисунок 2 – Графики зростання температури НРС в оболонці при додаванні в склад пластифікаторів, мас. %: 1 – 0; 2 – 5,5 % СП-6; 3 – 12,5 % СП-6; 4 – 18 % СП-6; 5 – 5,5 % Sika BV 3М; 6 – 12,5 % Sika BV 3М; 7 – 18 % Sika BV 3М

Аналіз результатів дозволив зробити висновки, що додавання пластифікатора СП-6 призводить до підвищення швидкості гідратації складу НРС в вільному стані на 25–27 % практично не залежить від його вмісту в досліджуваному діапазоні. Додавання Sika BV 3М в кількості 5–7 %

приводит к незначительному снижению скорости гидратации, а повышение его содержания до 18 % приводит к резкому росту скорости гидратации. Таким образом, добавление Sika BV 3M до 7 % практически не влияет на скорость гидратации. Поэтому в результате лабораторных опытов в качестве добавки был выбран пластификатор на базе лигносульфонатов, редуцирующий количество воды Sika BV 3M.

После этого были проведены эксперименты по определению развиваемого усилия расширения НРС при добавлении выбранного пластификатора. Эксперименты проводились в специальном стенде по описанной выше методике, но без предварительного сжатия, в режиме заданной жесткости при свободном состоянии смеси в начальный момент. Результаты испытаний приведены на рис. 3.

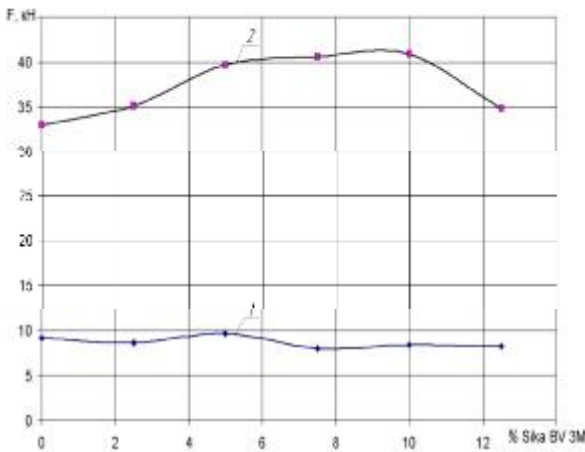


Рисунок 3 – Графики зависимости усилия расширения НРС (F, кН) в рабочей камере стенда через 6 (1) и 24 (2) часа в зависимости от содержания (мас. %) пластификатора Sika BV 3M

Анализ результатов позволяет сделать выводы, что добавление Sika BV 3M в диапазоне 2–12 мас. % приводит к повышению усилия расширения. Наибольший эффект достигается при содержании пластификатора 5–10 мас. %. Так, при содержании Sika BV 3M 10 мас. % развиваемое усилие распора НРС в течение 24 часа повышается на 24–27 %. Дальнейшее повышение содержания пластификатора приводит к снижению усилия расширения. Характерно, что в течение шести часов усилие расширения развиваемое составом НРС практически не зависит от добавления пластификатора.

ВЫВОДЫ. Добавление в состав НРС пластификатора Sika BV 3M в диапазоне 2–8 мас. % позволяет повысить усилие расширения, не изменяя при этом скорость гидратации. Эффект повышения распорного усилия можно объяснить повышением плотности раствора при добавлении Sika BV 3M.

Таким образом, в результате аналитических и лабораторных изысканий был предложен способ повышения усилия расширения НРС с помощью предварительного сжатия смеси. Для удобства реализации этого способа в условиях шпуровых и скважинных зарядов предложена пластифицирующая добавка, позволяющая повысить эффективность работы невзрывчатых разрушающих составов на основе оксида кальция за счет повышения плотности раствора в процессе его приготовления. Применение предлагаемой добавки позволяет повысить усилие распора на 24–27 % без изменения температурного режима состава, что способствует повышению производительности невзрывного разрушения горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1114645 СССР, МПК 5 С04В15/06. Невзрывчатый разрушающий состав / Шпынова Л.Г., Якимечко Я.Б., Саницкий М. А., Соболев Х.С. Львовский политехнический институт. – № 3459317. Заявл. 25.07.1982. Оpubл. 23.09.1984. Бюл. № 35.
2. А.с. 1186595 СССР, МПК 4 С04В7/00. Невзрывчатый разрушающий состав / Шпынова Л.Г., Якимечко Я.Б. Львовский политехнический институт. – № 3727524/29–33. Заявл.16.04.1984. Оpubл. 23.10.1985. Бюл. № 39.
3. А.с. 1189831 СССР, МКИЗ С 04 В 7/00. Разрушающий материал / Шпынова Л.Г., Якимечко Я.Б., Петрушка И.М. Львовский политехнический институт. – № 3698569/29–33. Заявл. 30.01.84. Оpubл.07.11.85. Бюл. № 41.
4. А.с. 1217813 СССР, МКИЗ С 04 В 7/00. Разрушающий материал. / Л.Г. Шпынова, Я.Б. Якимечко, М.А. Саницкий. Львовский политехнический институт. – № 3532361/29–33. Заявл. 04.01.83. Оpubл.15.03.86. Бюл. № 10.
5. Пат. 2035421 (РФ), МПК 6 С04В7/00, С04В38/02. Состав газовыделяющей сырьевой смеси, стержень и этой смеси и способ статического разрушения массивов или конструкций из хрупкого материала / Грамовский Ю.Л., Белов Ю.А., Седов Ю.И. Научно-технический центр строительных материалов и новых прогрессивных технологий "Монолит". – № 5047245/33. Заявл.09.04.1992. Оpubл. 20.05.1995. Бюл. № 10.
6. Заявка на изобретение № 93058105 (РФ), МПК 6 Е21С37/00, С04В7/34. Невзрывчатый разрушающий материал быстрого воздействия / Грамовский Ю.Л., Захаров В.М., Кузнецов Е.А. – № 93058105/03. Заявл.30.12.1993. Оpubл. 20.10.1996.
7. Касьян Н.Н., Сахно И.Г., Шуляк Я.О. Обоснование методов управления скоростью роста распорно-компрессионных характеристик невзрывчатых разрушающих веществ // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 2. – С. 209–219.

8. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению // Проблемы гірського тиску. – 2010. – № 18. – С. 135–149.

9. Пат. № 60794, МПК(2011.01) G01L 1/10, E21C 37/00 Стенд для випробувань невибухових руйнуючих речовин / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, (Україна). – у 2010 15412; заявл. 20.12.2010, опубл. 25.06.2011; Бюл. № 12. – 6 с.

INCREASE OF PRESSURE OF SELFEXPANSION OF INEXPLOSIVE DESTROYING COMPOSITIONS

I. Sahno, N. Kasyan, I. Klochko, O. Kirillova

State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”

vul. Artema, 58, Donetsk, 83000, Ukraine. E-mail: sahno_i@mail.ru.

The problem of rocks failure efficiency enhancement by inexplosive destroying materials in different conditions is topical. The chemical aspect of selfexpansion is of particular interest. The main purpose of exploration was the creation of composition developing enhanceable pressure of selfexpansion without temperature hydratation condition variations. The research results of influence of plasticizers on the expansion effort and kinetics of temperature growth of inexplosive destroying compositions during their hydratation are offered. The complex additive allowing for setting load increase by 24–27% without change of composition temperature, which results in efficiency enhancement, is offered.

Key words: inexplosive destroying compositions, selfexpansion, hydratation, component composition.

REFERENCES

1. A.C. USSR N 1114645, C04B15/06, *Destructive material* / Shpynova L.G., Yakimechko I. A., Sanickiy M.A., Sobol' Kh.S. – 3459317, Application 25.07.1982, Publ. 23.09.1984, Bull. № 35. – 2 p. [in Russian].

2. A.C. USSR N 1186595, C04B7, *Destructive material* / Shpynova L.G., Yakimechko I.A. – 3727524/29-33, Application 16.04.1984, Publ. 23.10.1985, Bull. № 39. – 2 p. [in Russian].

3. A.C. USSR N 1189831, C 04 B 7/00/, *Destructive material* / Shpynova L.G., Yakimechko I. A. Petrushka E.I.- 3698569/29-33, Application 30.01.1984, Publ. 07.11.1985, Bull. № 419. – 2 p. [in Russian].

4. A.C. USSR N 1217813, C04B15/06, *Destructive material* / Shpynova L.G., Yakimechko I. A., Sanickiy M.A.- 3532361/29-33, Application 04.01.1983, Publ. 15.03.1986, Bull. № 10. – 2 p. [in Russian].

5. Pat. № 2035421, МПК 6 C04B7/00, C04B38/02., *Composition of gazovydeleyayuschey raw material mixture, bar and to this mixture and method of static destruction of arrays or constructions from fragile material* / Gramovskiy Yu.L., Belov Yu. A., Sedov Yu.I., (Russian). – 5047245/33; Application 09.04.1992, Publ. 20.05.1995; Bull. №10. – 3 p. [in Russian].

6. Request Pat. № 93058105, МПК 6 E21C37/00, C04B7/34., *Composition of gazovydeleyayuschey raw material mixture, bar and to this mixture and method of static destruction of arrays or constructions from fragile material* / Gramovskiy Yu.L., Zakharov V.M., Kuznetsov E.A. (Russian). – 93058105/03; Application 30.12.1993, Publ. 20.10.1996. [in Russian].

7. Kasian N. *Rationale for management growth rate of compression characteristics of spacer-depleting substances non-explosive* / Kasian N, Sakhno I, Shulyak Ya. // *News Donetsk Mining Institute*. – 2010. – № 2. – PP. 209–219. [in Russian].

8. Sakhno I. *Laboratory studies of the characteristics of non-explosive depleting substances at a fixed resistance to volume expansion* / Sakhno I. // *The problems of rock pressure*. In 2010. –№ 18. – PP. 135–149. [in Russian].

9. Pat. № 60794, МПК(2011.01) G01L 1/10, E21C 37/00 *Testbench for testing destructive non-explosives* / M. Kas'jan, I. Sahno, (Ukraine). – у 2010 15412; Application 20.12.2010, Publ. 25.06.2011; Bull. № 12. – 6 p. [in Russian].

Стаття надійшла 25.05.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Воробйовим В.В.