

УДК 666.9.015, 622.063.23

НОВАЯ НЕВЗРЫВЧАТАЯ РАЗРУШАЮЩАЯ СМЕСЬ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**И. Г. Сахно, С. В. Борщевский, Я. О. Шуляк**Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»
ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83000. E-mail: sahno_i@mail.ru.

Вопрос снижения эффекта разупрочнения прочных горных пород при их разрушении актуален при ведении горных работ как открытым, так и подземным способами. Одним из перспективных направлений статического разрушения горных пород, исключающего повышение трещиноватости массива при разрушении, является использование невзрывчатых разрушающих составов НРС. Основной проблемой применения существующих НРС в условиях положительных температур является неуправляемый рост скорости гидратации, что приводит к выбрасыванию НРС из шпуров. Представлены результаты исследований направленных на разработку невзрывчатой разрушающей смеси стабильно работающей в температурном режиме $(+20)–(+35)^\circ\text{C}$ и способной обеспечить высокие давления саморасширения в течение 5–8 часов после ее приготовления. Ее применение позволит повысить производительность невзрывного разрушения горных пород.

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

НОВАЯ НЕВЗРЫВЧАТАЯ РАЗРУШАЮЩАЯ СМЕСЬ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**И. Г. Сахно, С. В. Борщевский, Я. О. Шуляк**Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»
вул. Артема 58, г. Донецьк, Україна, 83000. E-mail: sahno_i@mail.ru.

Питання зниження ефекту розукріплення міцних гірських порід при їх руйнуванні актуальне при веденні гірничих робіт як відкритим так і підземних способами. Одним з перспективних напрямів статичного руйнування гірських порід, що виключає підвищення тріщинуватості масиву при руйнуванні, є використання невибухових руйнівних складів НРС. Основною проблемою використання існуючих НРС в умовах позитивних температур є некероване зростання швидкості гідратації, що приводить до викидання НРС із шпурів. Представлені результати досліджень направлених на розробку невибухової руйнівної суміші, що стабільно працює в температурному режимі $(+20)–(+35)^\circ\text{C}$, і здатною забезпечити високий тиск саморозширення протягом 5–8 годин після її приготування. Її використання дозволить підвищити продуктивність невибухового руйнування гірських порід.

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

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время бесспорным лидером разрушения прочных горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых как открытым, так и подземным способом является буровзрывной способ. Основным недостатком этого способа является сейсмическое воздействие взрыва на породы, нарушение их сплошности, развитие трещин и ослабление массива. Наиболее остро это сказывается при добыче камнесамоцветного и кристаллосырья, блочных материалов, оконтуривании горных выработок. Применение низкобризантных ВВ, патронов и зарядов специальных конструкций позволяют снизить динамическое воздействие на околожупуровую область, однако их применение приводит к повышению затрат на разрушение и в ряде случаев не обеспечивает требуемых конечных результатов. Так, например, при добыче блочного камня потери достигают 40 и более процентов.

Одним из возможных направлений решения этой проблемы является применение статических методов разрушения горных пород. В настоящее время разработано множество способов невзрывного разрушения, в частности, механические методы (клиновой, гидроклиновой, алмазно-канатное пиление, камнерезные буровые установки и комбайны), ме-

тоды основанные на энергии жидкости (гидродинамический, физико-химический импульсный разрыв, гидроудар, гидрорезание, флюидоразрыв), тепловые (терморезка), электрические и электромагнитные (взрывание электрических проводников, электрической пробой, тепловой пробой, токами высокой частоты, плавлением, лазерным излучением, электромагнитным излучением), комбинированные методы. Большинство этих методов находятся на стадии научно-исследовательских и проектных разработок. Их промышленное использование сдерживается отсутствием оборудования, малой надежностью, высокой энергоемкостью, опасным воздействием на человека, высокой стоимостью. Все эти недостатки вынуждают искать пути создания дешевых и перспективных способов разрушения прочных горных пород.

Одним из перспективных направлений статического разрушения горных пород является использование невзрывчатых разрушающих составов НРС.

Начиная с 1980 г. по настоящее время только в Японии разработано более двух десятков невзрывчатых разрушающих составов для практического применения на открытых и подземных предприятиях [1, 2]. Почти одновременно Государственным Всесоюзным научно-исследовательским институтом

строительных и стеновых конструкций им. П.П. Будникова было предложено несколько невзрывчатых разрушающих составов [3, 4]. На сегодняшний день в мире разработано более 100 различных композиций НРС. Основными их недостатками является длительное по сравнению с буровзрывным способом время разрушения (8–24 часа), ограниченный температурный режим работы. При отрицательных температурах эффективность разрушения резко снижается за счет замедления скорости гидратации, а при высоких положительных температурах наблюдается непроизвольное выбрасывание смеси НРС из шпуров, вызванное резким повышением скорости гидратации. Причиной выбрасывания смеси НРС из шпуров является рост внутришпурового паро-газового давления, резко повышающегося при переходе химически несвязанной воды в пар при превышении температурой НРС в процессе гидратации, температуры кипения воды.

Цель работы – разработка новой невзрывчатой разрушающей смеси для разрушения горных пород в условиях температурных полей подземных горных выработок

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В последнее время в ДонНТУ ведется работа, направленная на расширение области применения НРС, в частности использование их в условиях температурных полей подземных горных выработок. При этом основной задачей является сокращение времени разрушения и одновременно исключение явления самопроизвольного выброса НРС из шпура.

Для решения этой задачи авторами проводятся комплексные исследования кинетики саморасширения НРС на основе оксида кальция.

В результате проведенных исследований определены характерные стадии работы НРС и дана их характеристика [5], выявлены зависимости роста давления саморасширения при различном режиме их работы [6].

Анализ патентной литературы показывает, что управление скоростью реакции гидратации осуществляется путем добавления ускорителей, замедлителей и пластификаторов. Добавление ускорителей в основном рекомендуют при разрушении материалов в условиях низких температур, и их действие в большинстве случаев сводится к дополнительному повышению температуры смеси в жидкой фазе раствора НРС, за счет сильной экзотермической реакции ускорителя с оксидом кальция. Добавление замедлителей производят для стабилизации скорости гидратации в условиях высоких положительных температур, при этом предотвращается непроизвольное выбрасывание смеси из шпуров, но время разрушения материалов увеличивается. Действие пластификаторов в основном сводится к повышению подвижности смеси НРС.

Таким образом, существующими составами НРС достичь сокращения времени разрушения пород в условиях высоких положительных температур при одновременном исключении «вышпуривания», достаточно сложно. Поэтому целью исследований был

поиск рецептуры состава НРС позволяющей ускорить гидратацию без дополнительного выделения тепла, и обеспечить высокие давления в течение 5-8 часов после приготовления состава.

Лабораторные исследования проводились в несколько этапов. В качестве базового состава, к которому вели подбор добавок был выбран НРВ-80, выпускаемый промышленностью Украины. В качестве дополнительного реагента было предложено использование этановой кислоты.

Целью первого этапа было изучение влияния содержания этановой кислоты в составе НРС на скорость гидратации и максимально достигаемую температуру состава. Исследования представленные в работе [5], показали что в качестве индикатора скорости процесса гидратации и ее стадии может выступать изменение температуры НРС. Приготовленный раствор НРС при помощи шприца помещали в цилиндрические резиновые оболочки диаметром 40 мм, объем раствора НРС в оболочках составлял 30 см³. Содержание этановой кислоты в составе изменяли от 0,3 до 1,2%. Внутри оболочек с НРС устанавливали электронный лабораторный термометр с точностью 0,1 °С. Оболочки оставляли в воздушной среде. Температура окружающей среды при эксперименте составляла 35 °С. Таким образом, проводили провоцирование выброса НРС. После обработки результатов эксперимента получили графики характеризующие скорость гидратации НРС на разных стадиях с различным содержанием этановой кислоты (рис. 1).

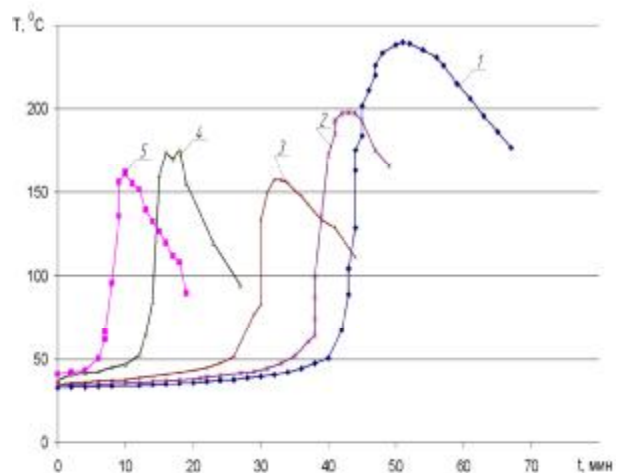


Рисунок 1 – Графики роста температуры НРС в оболочке при добавлении в состав этановой кислоты, мас. %: 1 – 0; 2 – 0,33; 3 – 0,66; 4 – 0,9; 5 – 1,17

Анализ результатов позволил сделать выводы, что с добавлением этановой кислоты повышается скорость гидратации состава на первой и второй стадиях. Так при добавлении 1,17 мас. % этановой кислоты время первой и второй стадий гидратации, по сравнению с чистым составом, сократилось в 5 раз. Дальнейшее повышение содержания этановой кислоты в данном температурном поле приводит к срабатыванию состава в течение 1-2 минут после

смешивания компонентов, что не позволяет провести соответствующие замеры. Кроме того было отмечено снижение максимальной температуры, развиваемой составом, от 240 до 161 °С при добавлении 1,17 мас. % этановой кислоты.

Поскольку проведенные на первом этапе исследования не позволяют оценить влияние предложенной добавки на развиваемое составом давление, был проведен второй этап исследований.

Эксперименты проводились в специальном стенде [7], 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 имеющий выход к блоку управления.

Исследования проводили в режиме заданной жесткости при свободном состоянии смеси в начальный момент. В корпус испытательной камеры стенда помещали исследуемый образец НРС объемом 8 см³, с содержанием этановой кислоты от 0,5 до 2,0 мас. %. Температура окружающей среды при экспериментах составляла 30 °С. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

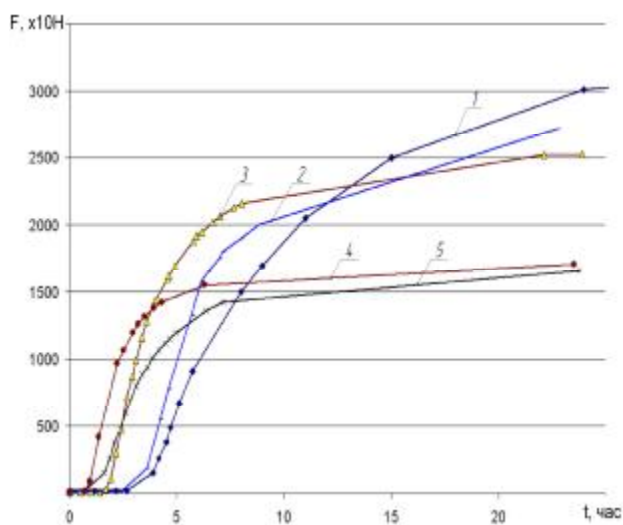


Рисунок 2 – Графики роста усилия на поршень от саморасширения НРС в рабочей камере стенда при добавлении в состав этановой кислоты. мас. %: 1 – 0; 2 – 0,53; 3 – 1,12; 4 – 1,65; 5 – 2

Анализ результатов позволяет сделать выводы, что добавление этановой кислоты приводит к ускорению роста давления саморасширения, однако вызывает снижение величины конечного давления. Поскольку интересующий временной диапазон 5–8 часов после приготовления состава, можно сделать вывод, что максимального давления в этом временном отрезке можно достичь при добавлении этановой кислоты 0,5–1,1 мас. %. При этом конечное давление саморасширения в возрасте 24 часа снижается на 8–17 %, однако в первые 10 часов после приго-

товления состава достигаются большие, чем при составе–аналоге давления.

Дальнейшее повышение содержания этановой кислоты приводит к росту давления саморасширения в ранние сроки (до 4–5 часов), но также к значительному снижению конечного давления саморасширения, так при добавлении 1,6–2 мас. % конечное давление снижается в 1,7–1,9 раза по сравнению с составом–аналогом. Это не позволит гарантировать разрушение объекта в случае предельных расстояний между шпурами или наличия локальных зон повышенной прочности из-за отсутствия резерва усилия саморасширения. Проведенные на втором этапе исследования в целом подтверждают результаты, полученные на первом этапе эксперименты в части роста скорости гидратации на первой и второй стадии при добавлении в НРС этановой кислоты.

После этого были проведены эксперименты по изучению рабочих характеристик разрабатываемого НРС при различном соотношении входящих компонентов.

В качестве основы невзрывчатой смеси, к которой добавляли этановую кислоту, был принят состав согласно [8], являющийся основой большинства отечественных невзрывчатых композиций, включающий следующие компоненты, мас. %: кальцинированная сода – 3,5–7,0, сульфитно-дрожжевая барда – 1,0–2,0, негашеную известь – остаток. Для получения невзрывчатой разрушающей смеси использовали оксид кальция (СаО), полученный путем обжига известняка и гипса в соотношении 3:1 при 1200–1350 °С в течение 5–6 час и охлажденному на воздухе.

Невзрывчатую разрушающую смесь готовили путем совместного помола окатышей обожженного известняка и гипса и кальцинированной соды (Na₂CO₃) в шаровой мельнице до остатка на сите № 008 до 10 %. При этом готовили пять смесей с содержанием кальцинированной соды в пересчете на готовый материал 1, 3, 6, 9, 11 мас. %.

Полученные порошки затворяли водным раствором, содержащим лигносульфонат технический модифицированный (ЛСТМ) (взамен сульфитно-дрожжевой барды) и этановую кислоту (СН₃СООН). При этом водопорошковое соотношение изменялось в диапазоне 0,33–0,4 мас. %, в зависимости от соотношения введенных компонентов, и соответствовало подвижности смеси определяемой по расплаву конуса 18 см.

Таким образом, в результате аналитических и лабораторных изысканий была разработана невзрывчатая разрушающая смесь, содержащая следующие компоненты, мас. %: кальцинированная сода – 2,0–9,0, лигносульфонат технический модифицированный – 0,40–2,5, этановая кислота – 0,25–1,1, оксид кальция из обожженных известняка и гипса – остальное.

Результаты экспериментов предложенного состава НРС для применения в температурных режимах (+25)–(+35) °С, представлены в табл. 1.

Введение в комплексную невзрывчатую разрушающую смесь этановой кислоты за счет регулирования скорости реакции гидратации обеспечивает повышение скорости роста давления саморасширения, приводит к ограничению произвольных выбросов смеси из шпуров при температуре до +35 °С, что позволит повысить производительность невзрывного разрушения горных пород. При этом в условиях высоких температур, даже при развитии

Таблица 1 – Результаты испытаний разработанного НРС в температурном поле (+25)–(+35) °С

Состав НРС, мас. %				Давление саморасширения, МПа, в возрасте		Наличие произвольного выброса НРС из шпура
CaO	Na ₂ CO ₃	ЛСТМ	CH ₃ COOH	12	24	
98,40	1	0,35	0,25	48	58	Выброс
96,35	3	0,4	0,25	40	52	нет
92,00	6	1,5	0,5	46	57	нет
88,00	9	2,5	0,5	38	45	нет
85,70	11	2,8	0,5	30	35	нет
98,15	1	0,35	0,5	55	69	Выброс
96,10	3	0,4	0,5	44	50	нет
91,75	6	1,5	0,75	48	56	нет
87,75	9	2,5	0,75	40	47	нет
85,45	11	2,8	0,75	32	38	нет
97,90	1	0,35	0,75	65	73	Выброс
95,40	3	0,4	1,2	75	82	Выброс
91,30	6	1,5	1,2	70	80	Выброс
87,30	9	2,5	1,2	56	65	Выброс
85,10	11	2,8	0,75	17	25	нет
Прототип				60	63	Выброс

Анализ проведенных испытаний позволяет утверждать, что при повышении температуры объекта вмещающего шпур с НРС для предотвращения произвольного выброса из шпура необходимо повышать содержание кальцинированной соды в смеси, что способствует замедлению процесса гидратации и образованию кристаллизационного каркаса, препятствующего выбрасыванию смеси. При этом повышение содержания кальцинированной соды более 9 мас. % в смеси приводит к резкому снижению развиваемого давления саморасширения, что снижает производительность невзрывного разрушения горных пород. А уменьшение содержания кальцинированной соды менее 2 мас. % в смеси приводит к развитию выброса смеси из шпура в результате самонагревания смеси при гидратации.

Повышение содержания этановой кислоты приводит к росту скорости реакции гидратации, что обеспечивает рост давления саморасширения. При этом повышение содержания этановой кислоты более 1,1 мас. % в смеси приводит к выбрасыванию смеси из шпура в результате фазового перехода химически несвязанной воды в пар при самонагревании смеси. А уменьшение содержания этановой кислоты менее 0,25 мас. % в смеси не оказывает существенного ускоряющего эффекта.

Повышение содержания ЛСТМ приводит к повышению подвижности смеси и снижению водопотребности порошка. При этом снижение содержания ЛСТМ менее 0,40 мас. % в смеси не позволяет

непроизвольного выброса, температура смеси не будет превышать 180 °С, что позволяет применять смесь в условиях подземных горных выработок.

Лигносальфонат обеспечивает высокую подвижность смеси. Кальцинированная сода способствует образованию кристаллизационного каркаса противодействующего выбросу смеси из шпура.

обеспечить необходимой консистенции смеси, такую малоподвижную смесь технологически трудно размещать в шпур. Повышение содержания ЛСТМ более 2,5 мас. % в смеси приводит к снижению развиваемого давления саморасширения.

ВЫВОДЫ. Добавление этановой кислоты в НРС на основе оксида кальция приводит к повышению скорости гидратации состава на первой и второй стадиях и снижению максимальной температуры, развиваемой составом при провоцировании произвольного выброса. Кроме того, добавление этановой кислоты приводит к ускорению роста давления саморасширения, однако приводит к снижению величины конечного давления. Поскольку интересный временной диапазон 5–8 часов после приготовления состава, можно сделать вывод, что максимального давления в этом временном отрезке можно достичь при добавлении этановой кислоты 0,5–1,1 мас. %.

В результате аналитических и лабораторных изысканий была разработана невзрывчатая разрушающая смесь, использование которой позволит создать высокое давление саморасширения в минимальные сроки, исключая при этом произвольный выброс смеси из шпуров при температуре до +35 °С, что позволит повысить производительность невзрывного разрушения горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заявка 57–187044, Японія, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов и бетона / Сайто Акира, Накатани Сэйити, Мива Акира, Аги Исао, Исакаи Дзюк; Дэнки кагаку коге к.к., № 56-71233 заявл. 12.05.81, опубл. 17.11.82.
2. Заявка 57–136954, Японія, МКИ В 02 С 19/18. Средство для разрушения каменных материалов, в том числе бетона / Нисихара Акио, Мива Мотому, Тада Сюти; Асахи дэнка коге к. к., №56–23509 заявл. 19.02.81, опубл. 24.08.82.
3. Новый материал для эффективного разрушения прочных хрупких объектов / Николаев М.М., Захаров Г.В., Глазунов А.В. // Горный журнал. – 1989. – № 5. – С. 35–36.
4. Средство невзрывчатое разрушающее (НРС-1). Технические условия. – МПСМ СССР, 1987. – 37 с.
5. Обоснование методов управления скоростью роста распорно-компрессионных характеристик не-

взрывчатых разрушающих веществ / Касьян Н.Н., Сахно И.Г., Шуляк Я.О. // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 2. – С. 209–219.

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

7. 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. – бс.ил.

8. А.С. СССР N 1648911, МПК 5 С 04 В 7/00, Разрушающий материал / Лугинина И.Г., Шереметьев Ю.Г. – 4496506/33, заявл.19.10.1989, опубл. 15.05.1991; Бюл. №18. – 2с.

NEW NON-EXPLOSIVE DESTRUCTIVE MIXTURE FOR ROCK FAILURE IN THE CONDITIONS OF TEMPERATURE FIELDS OF UNDERGROUND MINING WORKINGS

I. Sahno, S. Borschevskiy, Ya. Shulyak

Donetsk National Technical University

Artema Str., 58, Donetsk, 83000, Ukraine. E-mail: saho_i@mail.ru.

The problem of reducing of the effect of solid rock weakening when their failure is a topical issue for both open and underground mining. One of prospective trends of static rock destruction without increasing of rock cracking is use of non-explosive destructive compositions. The main problem of the current non-explosive destructive compositions using at above-zero temperature is uncontrolled increase of hydration intensity, which leads to ejection of non-explosive destructive compositions from holes. The research results of development of non-explosive destructive mixture, which are able working reliably at temperature of (+20) ... (+35) °C, providing high self-expansion pressures for 5...8 hours after it is made, are presented. This mixture applying allows promote the productivity of non-explosive rock failure.

Key words: non-explosive destructive compositions, self-expansion, hydration, composition analysis.

REFERENCES

1. Japanese Application Publication JP 57-187044, B 02 C 19/18. *Crushing agent* / Aitou Akira, Nakatani Seiichi, Miwa Akira, Yagi Isao, Isogai Jiyun; Denki Kagaku Kogyo Kk., Priority JP (1981) – 71233 A. 12.05.81, Published on 17.11.82.
2. Japanese Application Publication P 57-136954, B 02 C 19/18. *Crushing agent* / Nishihara Akio, Miwa Motomu, Tada Shiyuuichi; Asahi Denka Kogyo Kk., Priority Jp (1981)-23509 A. 19.02.81, Published on 24.08.82.
3. The new material for the effective destruction of the brittle solid objects / M. Nikolaev, G. Zakharov, A. Glazunov // *Mining Journal*. – 1989. – N° 5. – PP. 35–36. [in Russian]
4. *Non-explosive means of destroying*. Specifications. – MPSM USSR, 1987. – 37 p. [in Russian]
5. Rationale for management growth rate of compression characteristics of spacer-depleting substances non-explosive / Kasian N., Sakhno I., Shulyak Ya. //

News of Donetsk Mining Institute. – 2010. – № 2. – PP. 209–219. [in Russian]

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

7. 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. – бр.ил. [in Russian]

8. А.С. USSR N 1648911, С 04 В 5 7/00, *Destructive material* / Luginin I., Sheremet'ev Y. – 4496506/33, Application 19.10.1989, Publ. 15.05.1991, Bull. № 18. – 2 p. [in Russian]

Стаття надійшла 15.01.2012.

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