

В.П. НАДУТЫЙ, Е.С. ЛАПШИН, д-ра техн. наук,

А.И. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ГРОХОЧЕНИИ

При обогащении полезных ископаемых наибольшее распространение получили методы, основанные на использовании воды, так называемые, мокрые методы обогащения. Однако готовая продукция должна иметь минимальную влажность. Отсюда – необходимость применения обезвоживания. Для обезвоживания широко применяются вибрационные грохоты, центрифуги и фильтры. Эффективность обезвоживания зависит от гранулометрического состава, характера расположения частиц и их физико-химических свойств. Грохоты проще и дешевле центрифуг и фильтров. Кроме того, даже в тех случаях, когда применяются центрифуги и фильтры, то перед ними устанавливают вибрационные грохоты. Отсюда пристальное внимание к усовершенствованию вибрационных грохотов, которое обеспечит повышение качества сырья, энерго- и ресурсосбережение, уменьшение вредного влияния на экологию.

Как известно, традиционные методы позволяют удалять только внешнюю влагу, т. е. влажность конечного продукта составляет не менее 18-20%. Наличие между частицами капиллярно-стыковых мостиков, которые при используемых режимах не удается удалить, приводит к слипанию материала в конгломераты, что ухудшает эффективность обезвоживания. Особенно это проявляется при тонком и сверхтонком грохочении. Актуальность работы обусловлена необходимостью увеличения эффективности обезвоживания минерального сырья при мелком и тонком грохочении, которое обеспечит повышение его качества, энерго- и ресурсосбережение, уменьшение вредного влияния на экологию.

Необходим поиск решений, которые позволят разрушить капиллярно-стыковые мостики между частицами и тем самым обеспечат эффективное обезвоживание материала. Этого можно достичь, если, например, возбуждать просеивающую поверхность "двойными" ударами [1]. Вначале наносится первый удар, в результате которого происходит отрыв сырья от просеивающей поверхности и его разрыхление. Затем на этапе полета наносится второй удар, который сообщает дополнительное ускорение просеивающей поверхности, что обеспечивает ее очистку от застрявших в отверстиях частиц и разрыв менисков жидкости. Важно отметить, что при нанесении второго удара грохотимое сырье не препятствует удалению частиц и жидкости.

Несмотря на конструктивную простоту такого грохота, реализация виброударного режима возможна только при определенных сочетаниях конструктивных и динамических параметров. Экспериментальное определение параметров чрезвычайно трудоемко. Учитывая современное состояние вычислительной

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

техники, цілесообразно применение численних експериментів. Поэтому был разработан метод расчета [1], описывающий движение просеивающей поверхности грохота при ударном возбуждении. Это позволило установить режимы, при которых осуществляются "двойные удары", создать модель грохота с ударным возбуждением просеивающей поверхности и рассчитать его конструктивные и динамические параметры. Далее необходимо экспериментально проверить эффективность обезвоживания с помощью "двойных ударов".

В этой связи цель работы – исследование кинетики обезвоживания при вибрационном грохочении.

На модели вибрационного грохота [2, 4] монтировали просеивающую поверхность, состоящую из сетки и стальных стержней. Под сеткой устанавливались стальные стержни, а под ними на упругих прокладках с различной жесткостью монтировались ударник 1 и ударник 2. Эта конструкция позволяет гармоническое возбуждение корпуса преобразовывать в ударное воздействие на просеивающую поверхность. Предварительными исследованиями [2-5] установлено, что повышение эффективности прохождения жидкости обеспечивают стальная сетка и ударное воздействие. Поэтому следующим этапом следует выяснить влияние амплитуды, частоты вибровозбуждения и времени обезвоживания при импульсном воздействии на прохождение жидкости через слой минерального сырья.

Эксперименты проводились на калибровочной стальной сетке с размерами ячеек 0,12 мм и диаметром проволоки 0,1 мм.

В качестве материала для обезвоживания использовался гранитный отсев – отходы добычи и переработки гранита с размерами частиц -10,0+0 мм. Был выбран материал, содержащий мелкие классы крупности, который при влажности 18-20% при традиционных методах вообще не классифицируется в принципе. Грансостав приведен на рис. 1. Влажность исходного продукта – 30%.

Во время экспериментов изучалось влияние удельной нагрузки по исходному питанию, которая составляла 6,25, 12,5 и 25 кг/м².

Для интенсификации процесса обезвоживания, за счет разрушения комков слипшегося материала на просеивающей поверхности, использовались дезинтегрирующие элементы в виде эллипсоидов вращения.

В результате экспериментов определялось количество воды, остающееся после динамического воздействия в надрешетном продукте.

Эксперименты выполнялись в такой последовательности:

- монтировалась сетка с заданным размером отверстий;
- включался вибратор, и устанавливалась требуемая амплитуда и частота вибровозбуждения;
- на калибровочную сетку одновременно подавался материал для обезвоживания и дезинтегрирующие элементы;
- включался секундомер;
- через заданное время выключался вибратор;
- извлекались дезинтегрирующие элементы;
- извлекался и взвешивался надрешетный продукт;

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

– далее надрешетный продукт подвергался сушке и снова взвешивался.

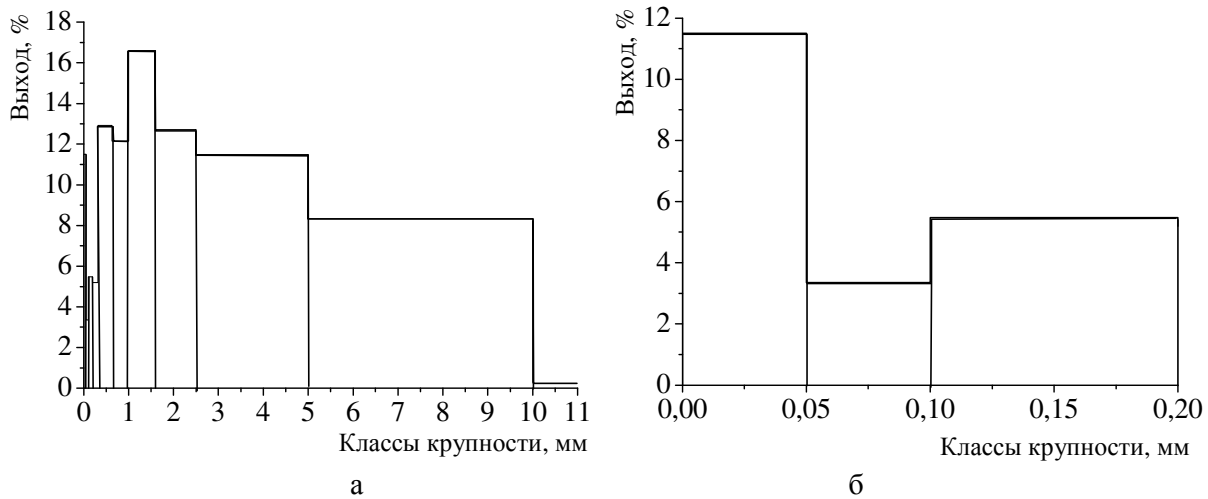


Рис. 1. Грансостав материала:
а – интервал крупности от 0 до +10 мм;
б – интервал крупности от 0 до 0,2 мм

Интенсивность процесса прохождения жидкости через горную массу характеризовалась относительным количеством воды, оставшейся в надрешетном продукте после вибрационного воздействия

$$W = \frac{m_m - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_m – масса мокрого материала; m_c – масса сухого материала.

В результате удара образуется широкополосный спектр колебаний, которые интенсивно воздействуют на обезвоживаемый материал, что приводит к разрушению капиллярно-стыковых мостиков между частицами, обеспечивая тем самым значительное снижение влажности перерабатываемого материала.

Для определения спектра колебаний просеивающей поверхности на стержнях был установлен датчик ускорений КД, характеристики которого представлены в таблице.

Технические характеристики датчика ускорений КД	
Параметр	Значение
Коэффициент передачи напряжения, мВ/мс ⁻²	1,95
Коэффициент передачи заряда, пК/мс ⁻²	2,46
Емкость в сочетании с кабелем, нФ	1,26
Емкость кабеля 1,5 м, нФ	0,15
Емкость кабеля 5 м, нФ	0,5
Коэффициент направленности, %	2,4
Сопротивление изоляции, Ом	>1000

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Датчик имеет линейную характеристику в диапазоне частот от 0 Гц до 20 кГц.

Методика проведения спектрального анализа колебаний просеивающей поверхности заключалась в следующем:

- после установки и жесткой фиксации датчика на просеивающей поверхности его выход подключался к линейному входу компьютера;
- устанавливалась требуемая частота возбуждения и задавалась необходимая амплитуда колебаний, которая контролировалась при помощи мерного клина, зафиксированного на корпусе грохота;
- проводился их спектральный анализ.

Исследования кинетики процесса обезвоживания были выполнены при режимах гармонического вибровозбуждения, за счет которых генерировались "двойные удары":

- частота 20 Гц, амплитуда 9 мм (масса ударников 1 и 2 составляла 0,331 кг, жесткость упругого элемента 1 – 4,38 кН/м, а жесткость упругого элемента 2 – 2,63 кН/м);
- частота 18 Гц, амплитуда 6 мм (масса ударника 1 – 0,477 кг, жесткость упругого элемента 1 составляла 2,07 кН/м, а масса ударника 2 – 0,469 кг, жесткость упругого элемента 2 – 3,6 кН/м).

На рис. 2 и 3 приведены спектрограммы ускорений просеивающей поверхности. Из них следует, что изучаемая схема динамического нагружения обеспечивает широкополосный спектр колебаний просеивающей поверхности. При этом область низких частот (20-80 Гц) формируется за счет колебаний, генерируемых гармоническим возбуждением, а область высоких частот до 20 кГц – за счет реализации ударного воздействия. Полученная качественная картина идентична для обоих режимов. Различие в амплитудах ускорений для рассматриваемых режимов, в зависимости от частоты, достигает 40%.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

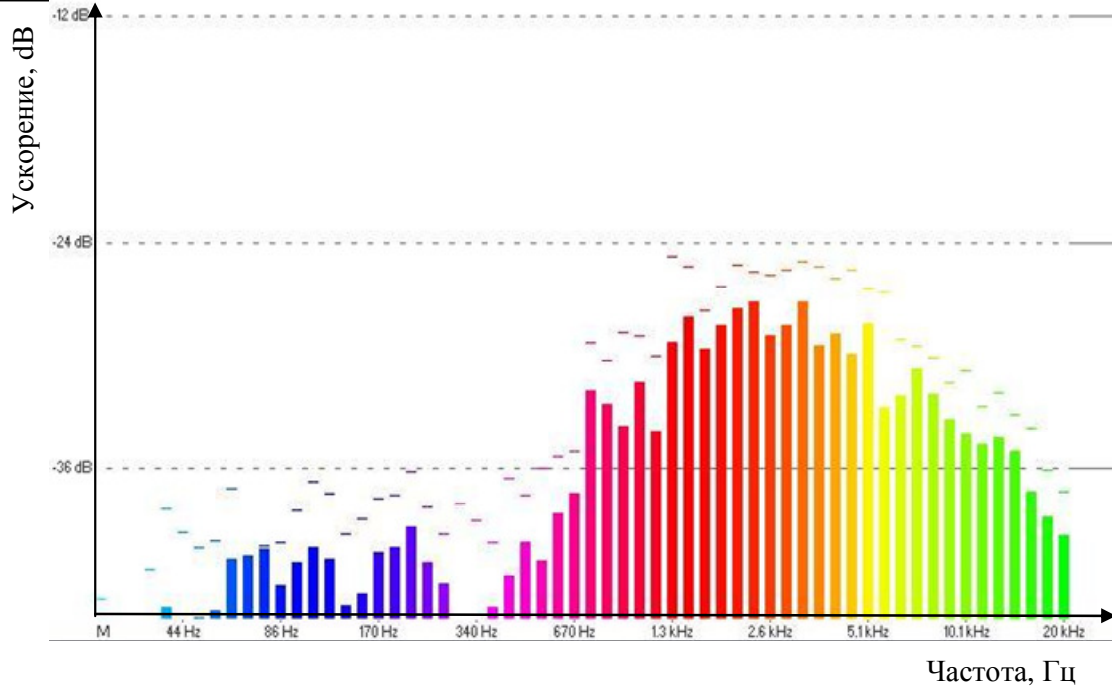


Рис. 2. Спектрограма ускорений просеивающей поверхности при частоте вибровозбуждения 18 Гц и амплитуде 6 мм

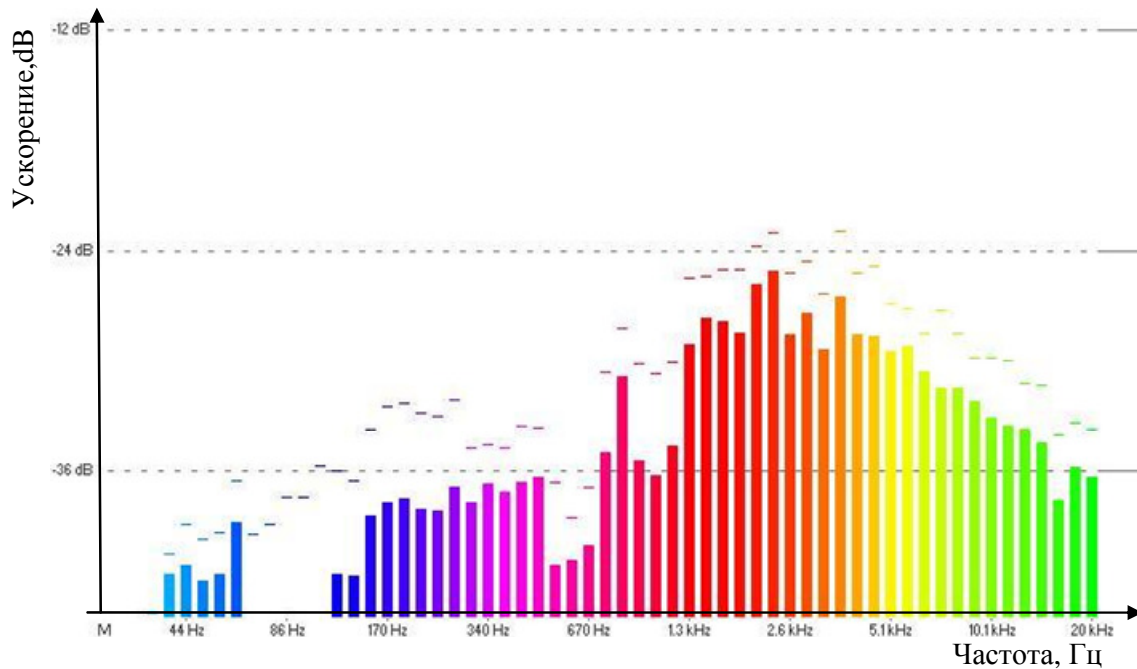


Рис. 3. Спектрограма ускорений просеивающей поверхности при частоте вибровозбуждения 20 Гц и амплитуде 9 мм

По результатам экспериментальных исследований по обезвоживанию построены графики при удельных нагрузках 6,25, 12,5 и 25 (рис. 4). Сплошными линиями показаны линии регрессии.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Прохождение жидкости сквозь слой горной массы наиболее интенсивно происходит в течение 30 с (угол наклона касательной изменяется в пределах от 95 до 150°). Затем, по мере уменьшения влаги, когда все большее влияние оказывает поверхностное натяжение жидкости, прохождение замедляется, и в интервале времени 100-180 с угол наклона касательной меняется только от 170 до 178°.

В результате опытов удалось снизить влажность материала до 8-10%.

Для обобщения экспериментальных результатов на основе метода наименьших квадратов получены регрессионные уравнения, описывающие изменения во времени t [с] влажности надрешетного продукта в зависимости от удельной нагрузки q [кг/м²]

$$W = 25,47869 + 0,31293q + 0,11258t - 3,13364\sqrt{t} \quad \text{при } A = 6 \text{ мм и } \nu = 18 \text{ Гц}, \quad (2)$$

$$W = 26,06477 + 0,31323q + 0,12218t - 3,34429\sqrt{t} \quad \text{при } A = 9 \text{ мм и } \nu = 20 \text{ Гц}. \quad (3)$$

Уравнения регрессии (2) и (3) в графическом виде представлены на рис. 4.

Статистические характеристики модели (2):

- коэффициент детерминации 0,96350211;
- стандартная ошибка оценки 1,8258 – мера рассеяния наблюдаемых значений относительно линии регрессии;
- критерий Фишера 466,38 (число степеней свободы 53) и уровень значимости менее 10^{-4} для проверки гипотезы о зависимости отклика от предикторов;
- критерии Стьюдента (число степеней свободы 53) для проверки гипотезы о значимости коэффициентов уравнения соответственно равны 38,8577, 10,0110, 8,3012 и – 18,2087 при уровне значимости менее 10^{-4} .

Итак, уравнение регрессии (2) адекватно описывает связь между откликом и предикторами, коэффициенты модели значимы.

Статистические характеристики модели (3):

- коэффициент детерминации 0,96214264;
- стандартная ошибка оценки 1,9563 – мера рассеяния наблюдаемых значений относительно линии регрессии;
- критерий Фишера 449 (число степеней свободы 53) и уровень значимости менее 10^{-4} для проверки гипотезы о зависимости отклика от предикторов;
- критерии Стьюдента (число степеней свободы 53) для проверки гипотезы о значимости коэффициентов уравнения соответственно равны 37,0999, 9,3523, 8,4083 и – 18,1365 при уровне значимости менее 10^{-4} .

Уравнение регрессии (3) адекватно описывает связь между откликом и предикторами, коэффициенты модели значимы.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

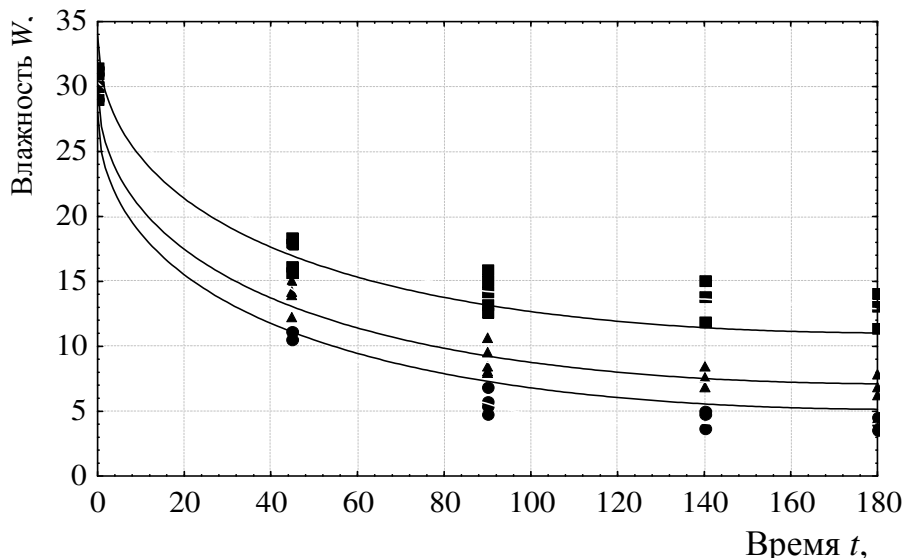
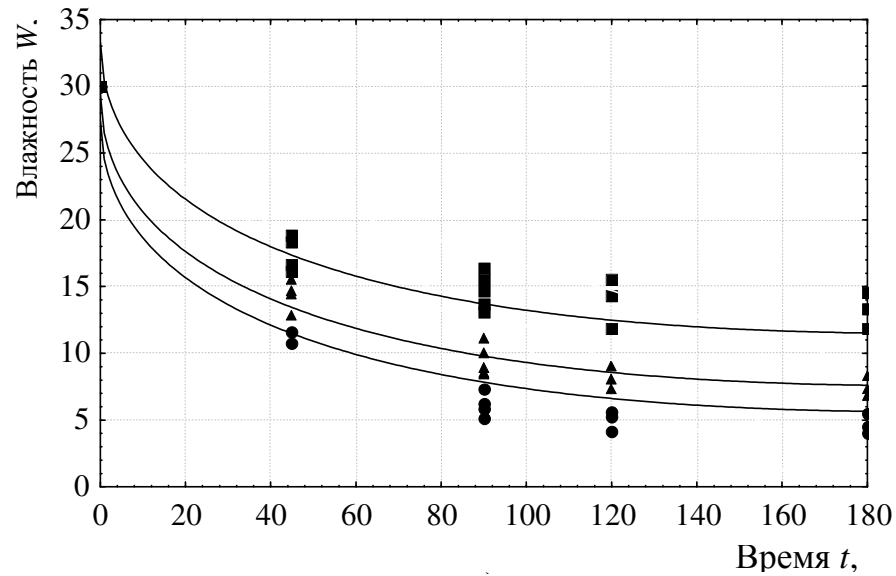


Рис. 4. Зависимость влажности надрешетного продукта от времени и нагрузки при различных режимах возбуждения:
а – амплитуда 6 мм, частота 18 Гц; б – амплитуда 9 мм, частота 20 Гц;
●, ▲ и ■ – удельная нагрузка 6,25 кг/м², 12,5 кг/м² и 25 кг/м²;
— – уравнение регрессии

Статистические характеристики модели (3):
– коэффициент детерминации 0,96214264;
– стандартная ошибка оценки 1,9563 – мера рассеяния наблюдаемых значений относительно линии регрессии;
– критерий Фишера 449 (число степеней свободы 53) и уровень значимости менее 10^{-4} для проверки гипотезы о зависимости отклика от предикторов;

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

– критерии Стьюдента (число степеней свободы 53) для проверки гипотезы о значимости коэффициентов уравнения соответственно равны 37,0999, 9,3523, 8,4083 и – 18,1365 при уровне значимости менее 10^{-4} .

Уравнение регрессии (3) адекватно описывает связь между откликом и предикторами, коэффициенты модели значимы.

Таким образом, на модели вибрационного грохота исследованы режимы, при которых осуществляются "двойные удары" и за счет этого реализуется обезвоживание минерального сырья широкого интервала крупности. Установлено, что использование "двойных ударов" и дезинтегрирующих элементов в виде эллипсоидов вращения позволяет обезвоживать материал, содержащий мелкие классы крупности, который при влажности 18-20% при традиционных методах не классифицируется. Использование указанных условий позволило снизить влажность такого материала с 30 до 8-10%. Полученные результаты сопоставимы с показателями влажности, которые получают при обезвоживании материалов на центрифугах.

Исследована кинетика процесса обезвоживания при различных нагрузках 6,25, 12,5 и 25 кг/м².

Результаты, приведенные в работе, получены впервые. Они будут использованы для разработки рекомендаций по повышению эффективности обезвоживания перерабатываемых материалов.

Список литературы

1. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Математическое моделирование грохота с ударным возбуждением просеивающей поверхности // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Укр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45. – С. 320-324.

2. Повышение эффективности удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко и др. // Научный вестник: Наук.-техн. журнал. – 2011. – Вип. 2(122). – С. 95-99.

3. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Определение условий прохождения жидкости через просеивающую поверхность вибрационного грохота // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 44(85). – С. 54-61.

4. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на отделение жидкости при грохочении материала / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко, Л.Н. Прокопшин и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 71-74.

5. Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Математическое моделирование прохождения жидкости через просеивающую поверхность при вибрационном грохочении // Вибрації в техніці і технологіяx: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2011. – Вип. 3. – С. 48-54.

© Надутый В.П., Лапшин Е.С., Шевченко А.И., 2012

Надійшла до редколегії 03.03.2012 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Б.О. Блюссом