

П.И. ПИЛОВ, Л.Ж. ГОРОБЕЦ, д-ра техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет"),

Н.С. ПРЯДКО, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, Институт технической механики НАН и НКА Украины),

В.П. КРАСНОПЕР
(Украина, Вольногорск, Вольногорский горно-металлургический комбинат)

АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТИ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ СТРУЙНЫМ МЕТОДОМ

Постановка проблемы. Кварцевые пески используются в строительстве, в производстве стекла, фарфора и фаянса, в качестве наполнителя при изготовлении красок, лаков, шпатлевок и клеев, фильтрующих устройств, в химической промышленности, в системах очистки воды. Кварц молотый, изготавливаемый способом измельчения чистого кварцевого (стекольного) песка до тонкодисперсного состояния, применяется в производстве точного литья по выплавляемым моделям и при изготовлении противопригарных красок для стального литья. Молотый пылевидный кварц находит применение при изготовлении гончарных изделий, работе с керамикой, производстве огнеупорных материалов, служит абразивом при шлифовке и полировке поверхностей деталей, применяется в системах водоочистки: при подготовке питьевой воды и очистке промышленных и бытовых стоков. В ближайшие годы производство стекольных кварцевых песков в странах СНГ продолжит расти и в 2010 году может превысить 7 млн т.

Для разных технологий существует допустимое содержание примесей, в основном окислов железа, титана, алюминия. Основной проблемой производства высококачественных стекольных песков является высокое содержание в них окислов железа. В настоящее время актуальной задачей является исключение привноса примесей в кварцевый песок в процессе его измельчения и удаления или снижения содержания в кварцевом песке вредных примесей. В производстве солнечных батарей используются также кварцевые пески с высоким содержанием кремния и отсутствием "вредных" примесей. В настоящее время разрабатываются новые технологии покрытий для солнечных батарей на основе тонкоизмельченных особо чистых кварцевых песков. Для создания таких технологий исследуются свойства кварцевых песков и способы измельчения без привноса примесей. При тонком струйном измельчении практически полностью исключается привнос примесей в порошки. За счет высокой динамичности процесса измельчения частиц в сверхзвуковых нагретых струях энергоносителя достигается высокая удельная поверхность измельченных продуктов, что придает им новые технологические свойства, в частности, высокую химическую активность [1-3].

Анализ последних достижений. Основу выбора оптимальных условий получения тонкодисперсных порошков составляют закономерности разрушения

Підготовчі процеси збагачення

деформируемого твердого тела, согласно которым максимальная величина КПД измельчения достижима в условиях нагружения частиц с критической скоростью авторезонанса.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что для получения порошков микронных размеров выгодно применять "жесткие" (высокоскоростные) режимы нагружения со скоростью деформации порядка 10^5 с^{-1} , особенно в области размеров частиц менее 100 мкм [4]. Требуемые режимы самоизмельчения частиц при соударениях и динамичном истирании обеспечивает механизм струйного измельчения. В этом способе измельчения внутримельничные процессы разрушения частиц, пневмотранспорта, разделения по крупности, возврата циркулирующей загрузки обеспечивают высокоскоростные газовые струи нагретого энергоносителя.

Для установления технологических характеристик процесса измельчения применяют системы акустического мониторинга измельчительных установок с контролем дисперсности порошков и их гранулометрического состава. Поддержание оптимальных параметров в процессе работы мельницы возможно путем непрерывного контроля акустических параметров зоны помола и управления загрузкой измельчаемого материала на основе поиска оптимальной насыщенности струй твердой фазой [5-7]. Изменение плотности потока частиц в струях, от которой зависит вероятность столкновений частиц в зоне помола, сопровождается изменением активности \dot{N} акустического излучения этой зоны (\dot{N} – число акустических сигналов в единицу времени). Акустическое излучение зоны помола контролируется счетом акустических сигналов (АС), значениями амплитуд и активностью $\dot{N}(\tau)$ акустической эмиссии.

Цель данной работы – исследование акустических параметров струйного измельчения кварцевых песков в их связи с гранулометрическим составом и дисперсностью порошков.

Изложение основного материала. Проведены исследования струйного измельчения кварцевых песков: бразильского, Вольногорского горно-металлургического комбината, песка месторождения Турбово.

Акустическое исследование рабочей зоны противоточной струйной установки лабораторного типа (производительность до 10 кг/ч) проводили с помощью широкополосного пьезокерамического датчика. Датчик соединен с латунным волноводом, установленным внутри помольной камеры и на выходе из классификатора. Запись и дальнейшая обработка сигналов осуществлялась посредством аналого-цифрового преобразователя, соединенного с персональным компьютером.

На всех стадиях загрузки струй материалом регистрировали уровень акустической активности \dot{N} и значения амплитуд (средних A_{cp} и максимальных A_{max}) акустических сигналов. В режиме работы мельницы с рациональной загрузкой измельчаемого материала (коэффициент загрузки $K = 0,5 \dots 1$) активность акустического излучения зоны помола составляет $\dot{N} = (1,2 \dots 1,9) \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, производительность $Q = 1,9 \dots 5,8 \text{ кг/ч}$ ($P = 0,3 \text{ МПа}$, $n = 1800 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$), удельная поверхность порошков $S_{уд} = 0,46 \dots 0,75 \text{ м}^2/\text{г}$.

Підготовчі процеси збагачення

Исследование показало, что распределение амплитуд АС на стадии загрузки может служить характеристикой крупности исходного материала, тогда как акустические сигналы на стадии разгрузки струй от наиболее тонких частиц твердой фазы предположительно характеризуют размеры частиц циркулирующей нагрузки (возврата некондиционных частиц из классификатора в инжекторы). Из этого следует, что управление дисперсностью продуктов струйного измельчения должно исходить из информации, предоставляемой акустическим мониторингом о размерах частиц и состоянии загрузки струй. На основе анализа полученной информации возможно обеспечить своевременную подачу порций материала для достижения максимальной эффективности процесса измельчения.

Путем акустического мониторинга струйного измельчения песка были установлены изменения максимальных амплитуд АС в режимах загрузки материала и разгрузки измельченного продукта. На рис. 1 показаны распределения соответственно амплитуд (а) и частиц измельченного продукта (б): бразильского (1) и турбовского (2) песка, характерные для начальной стадии измельчения.

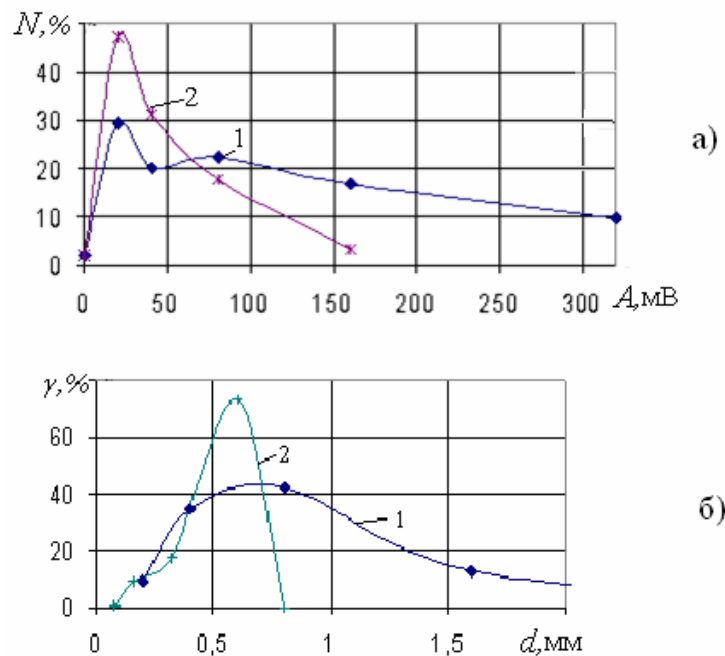


Рис. 1. Акустические характеристики (а) гранулометрических распределений (б) в режиме загрузки струйной мельницы частицами кварцевого песка: 1 – турбовский; 2 – бразильский

Можно сделать вывод о том, что обработка более крупнозернистых фракций песков сопровождается акустическими сигналами с амплитудами более высоких значений.

На рис. 2 показаны аналогичные графики для стадии разгрузки струй из-за ухода массы тонких фракций в пылеуловитель – циклоны и фильтр.

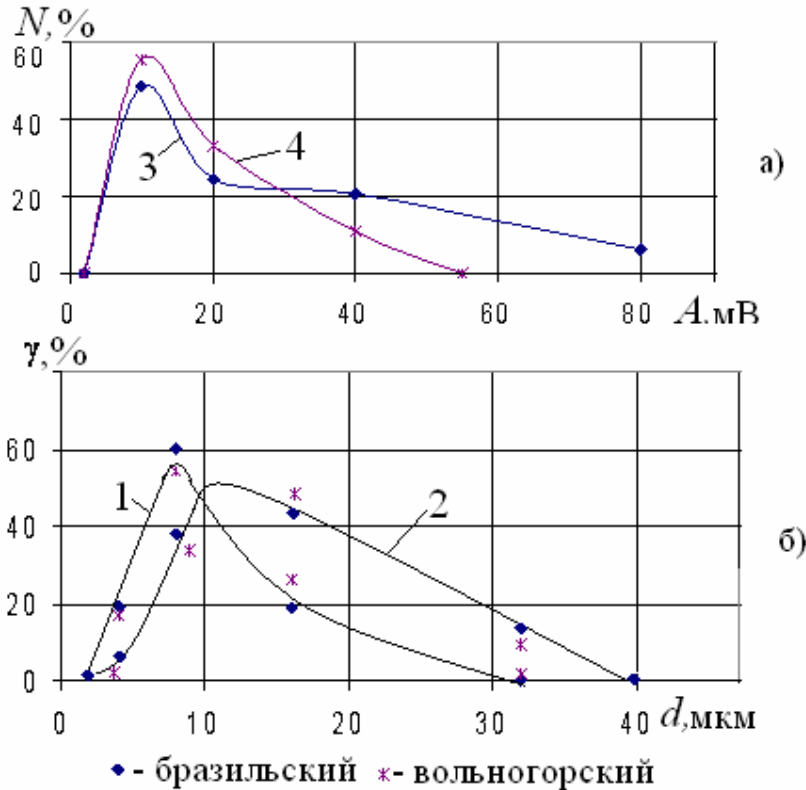


Рис. 2. Акустические характеристики (а) гранулометрических распределений (б) в режиме разгрузки струйной мельницы измельченных песков:

- 1 – вольногорского: $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, $S_{y\partial} = 0,46 \text{ м}^2/\text{г}$;
бразильского: $n = 2300 \text{ мин}^{-1}$, $S_{y\partial} = 0,55 \text{ м}^2/\text{г}$;
- 2 – вольногорского: $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $S_{y\partial} = 0,67 \text{ м}^2/\text{г}$;
бразильского: $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $S_{y\partial} = 0,75 \text{ м}^2/\text{г}$;
- 3 – $S_{y\partial} = 0,46 \text{ м}^2/\text{г}$; 4 – $S_{y\partial} = 0,75 \text{ м}^2/\text{г}$

На рис. 3 а) показаны связи удельной поверхности $S_{y\partial}$ измельченных продуктов с величиной максимальной амплитуды A_{max} АС в режиме разгрузки при струйном измельчении кварцевых песков. Рис. 3 б) показывает, что увеличение частоты n вращения ротора классификатора сопровождается уменьшением значений амплитуд АС в зоне помола в результате заполнения струй частицами малых размеров. При этом повышение параметра $S_{y\partial}$ дисперсности измельчаемого порошка сопровождается уменьшением величины амплитуды A_{max} АС

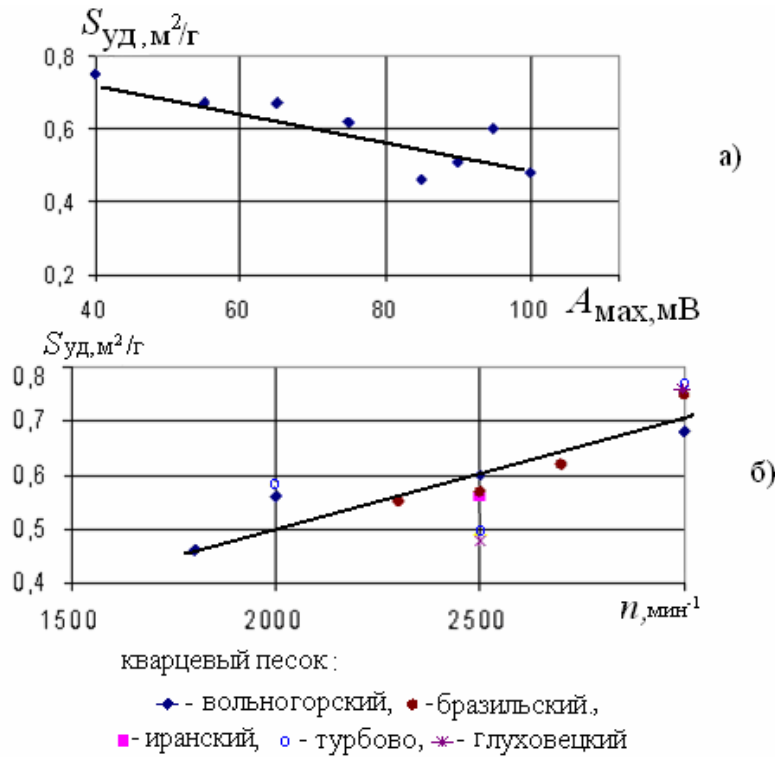


Рис. 3. Влияние частоты n вращения ротора классификатора (б) на параметр дисперсности $S_{y\partial}$ и величину максимальной амплитуды АС (а) в режиме разгрузки при струйном измельчении кварцевых песков

На рис. 4 показаны записи АС в различных режимах классификации измельченного вольногорского песка (В), регулируемых частотой n вращения ротора классификатора. Изменение частоты в диапазоне $n = 2000 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$ позволило увеличить удельную поверхность продукта от $S_{y\partial} = 5670$ до $6700 \text{ см}^2/\text{г}$.

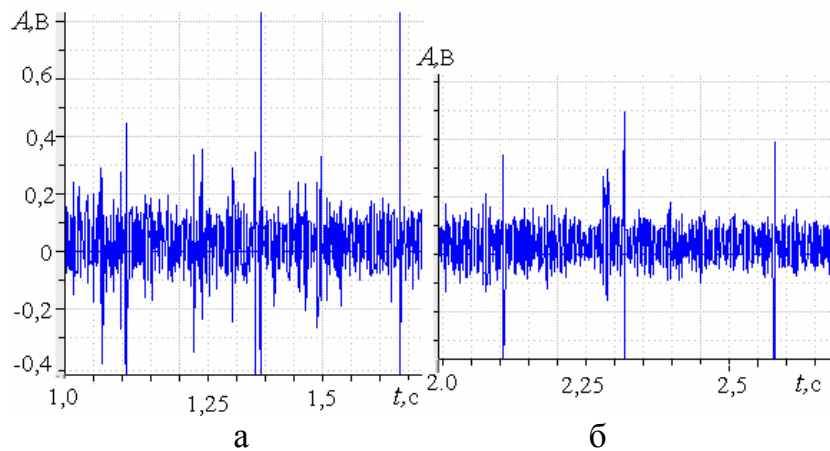


Рис. 4. Кинетика амплитуд акустических сигналов при различных режимах классификации на стадии рабочего режима измельчения Вольногорского песка
 а – $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $A_{cp} \approx 0,3 \text{ В}$, $S_{y\partial} = 0,57 \text{ м}^2/\text{г}$;
 б – $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $A_{cp} \approx 0,18 \text{ В}$, $S_{y\partial} = 0,67 \text{ м}^2/\text{г}$

Підготовчі процеси збагачення

На рис. 5 приведені приклади записів аналізу гранулометричного складу измельчених кварцевих пісків на приладі MALVERN

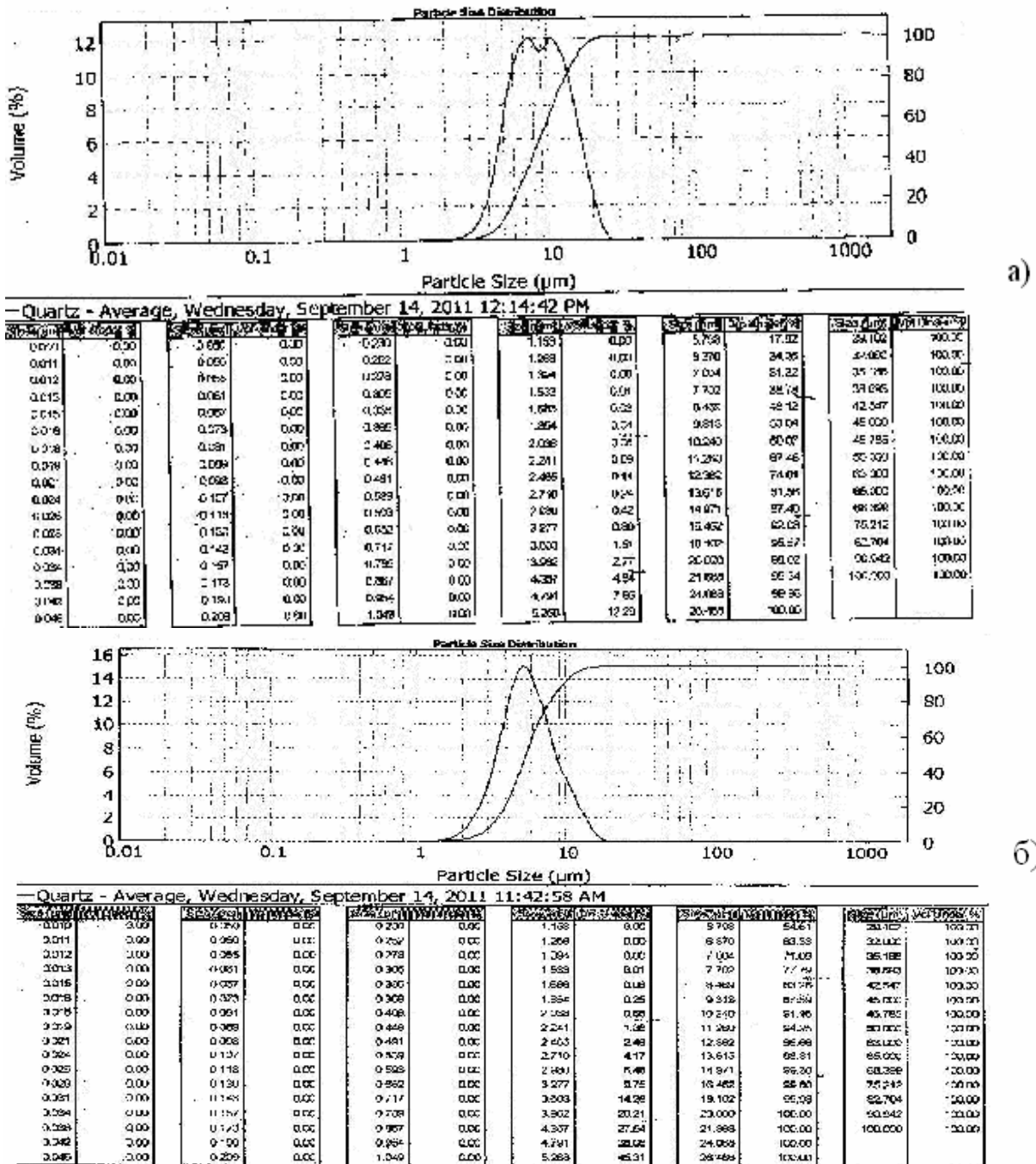


Рис. 5. Гранулометрический состав измельченных песков по данным прибора MALVERN: а – вольгогорского, $S_{90} = 0,46 \text{ м}^2/\text{г}$, б – бразильского $S_{90} = 0,75 \text{ м}^2/\text{г}$

Полученные акустические характеристики зоны помола в их связи с их гранулометрическими распределениями и дисперсностью измельченных порошков позволили разработать алгоритм мониторинга качества струйного измельчения. Алгоритм включает задание требуемых технологических и режим-

ных параметров, а также прогнозируемых акустических параметров. Акустический мониторинг качества измельчения включает текущий контроль величины максимальной амплитуды АС. При соответствии величины текущей амплитуды заданной процесс измельчения продолжается без изменения. При значительных отклонениях сравниваемых параметров производится регулирование режима классификации по специальному алгоритму.

Выводы

Исследования показали, что предлагаемый алгоритм контроля качества работы струйной измельчительной установки, основанный на акустическом мониторинге зоны помола, может быть использован для регулирования качества измельченных кварцевых песков, т.е. его дисперсности и гранулометрического состава. Регулированию подлежит загрузка струй материалом и частота вращения ротора классификатора с целью поддержания требуемого качества готового продукта. Результаты проведенного акустического исследования показали возможность моделирования процесса струйного измельчения и в дальнейшем управления этим процессом на основе созданной базы данных акустического мониторинга.

Выявленные зависимости акустических параметров от гранулометрических характеристик исходного кварцевых песков и удельной поверхности полученных продуктов будут использоваться при контроле качества тонкодисперсного кварца, получаемого струйным методом в промышленных условиях.

Список литературы

1. **Пилов П.И., Горобец Л.Ж.** Анализ функционирования геотехнических систем с позиций закономерностей микроразрушения // Горный журнал. – 2009. – №5. – С. 29-34.
2. Производство тонкодисперсных материалов в установках струйного измельчения / **П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, И.В. Верхоробина и др.** // Тонкоизмельченные и ультрадисперсные материалы в промышленности (производство и применение): Материалы 1-й междунар. научн.-практ. конф. – С-П.: "ИВА", 2003. – С. 18-22.
3. **Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Верхоробина И.В.** Технологические возможности струйных измельчителей // ГИАБ. – №3. – 2007. – С. 359-367.
4. **Горобец Л.Ж.** Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Д.: НГУ, 2004. – 35 с.
5. Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки / **П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко и др.** // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – Харьков, 2007. – № 27. – С. 33-41.
6. **P.I. Pilov, L.J.Gorobets, V.N. Bovenko, N.S. Pryadko** An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 23-26.
7. Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения / **Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко, В.П. Краснопер и др.** // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. сб. – 2010. – Вип. 41(82)-42(83). – С. 111-121.

© Пилов П.И., Горобец Л.Ж. Прядко Н.С., Краснопер В.П., 2011

Надійшла до редколегії 25.09.2011 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким