

# Очистка и переработка отходов

УДК 628.336.4:691.535

*Клименко М.А., Черная Н.А., канд. техн. наук*

*Институт проблем машиностроения НАН Украины*

*ул. Дм. Пожарского, 2/10, 61046 Харьков, Украина, e-mail: admi@ipmach.kharkov.ua*

## Перспективы обработки естественным холодом осадка сточных вод для утилизации в цементном производстве

На основе анализа существующих технологий обработки и утилизации осадка сточных вод была предложена технология утилизации осадка в качестве инертной добавки при производстве цементного клинкера. Представлен технико-экономический расчет эффективности использования осадка сточных вод, который подтвердил целесообразность использования данной технологии в цементном производстве. Проведено расчетно-теоретическое исследование процесса тепломассопереноса в слое осадка сточных вод с целью определения толщины слоя полного промораживания осадка. Для уменьшения влагоемкости осадка сточных вод предложено его естественное замораживание в зимний период для приведения физических особенностей осадка к условиям сырья при производстве цемента. Определен потенциал энерго- и ресурсосбережения при использовании данной технологии утилизации для вращающихся печей цементного производства за счет добавления осадка сточных вод.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод, утилизация, цементное производство, инертная добавка, энергоемкость, ресурсосбережение.

### Вступление

Одной из наиболее острых экологических проблем в Украине и во всем мире является утилизация промышленных и бытовых отходов. Особую категорию загрязнителей составляют иловые осадки комплексов биологической очистки сточных вод, содержащие большое количество тяжелых металлов, радионуклидов и искусственно созданных соединений. Кроме того, в осадке присутствуют организмы, несущие бактериологическую опасность. Накопление больших объемов осадков усложняет работу очистных сооружений, затраты на обработку осадка составляют до 50 % общих расходов очистных сооружений [1].

В Харькове работают два комплекса канализационных очистных сооружений КП «Харьковводоканал»: комплексы биологической очистки «Диканевский» (КБОД) и «Безлюдовский» (КБОБ). Их общая пропускная способность более 1,0 млн м<sup>3</sup>/сут. На них проводится очистка жидких стоков около 0,7 млн м<sup>3</sup>/сут. Полезная площадь иловых полей на КБОБ — 126,18 га, из которых на сегодняшний день свободными остаются около 10 га. На иловых полях накоплено примерно 2,2 млн м<sup>3</sup> осадка сточных вод, влажность которого колеблется в пределах 70–98 %. Общий объем смеси осадка, образующегося на канализационных очистных сооружениях, около 3000 м<sup>3</sup>/сут [2].

Цель настоящей работы — определение эффективности использования естественного промораживания для улучшения процесса сушки осадка сточных вод с целью его дальнейшей утилизации в цементном производстве в качестве инертной добавки.

### **Выделение нерешенной части общей проблемы**

Ситуация с обработкой осадков на КБОБ является показательной для больших канализационных очистных сооружений в Украине — технологическая схема обработки осадков является незавершенной. Остро стоит вопрос дальнейшей утилизации кека после механического обезвоживания, а также большого количества осадков, накопленных на иловых площадках.

Существующие способы обработки осадков сточных вод сводятся к уменьшению объема осадков и изменению их структуры для последующего использования. Еще не разработаны универсальные технологии, обеспечивающие экономически выгодную и экологически чистую полную утилизацию иловых осадков. Причиной этого является непостоянство состава осадков сточных вод, которые зависят от специфики производств, сбрасывающих стоки, и особенностей их очистки. Поэтому в каждом случае требуется исследование возможности использования осадка и разработки соответствующих технологий его утилизации. Как показал анализ существующих способов утилизации осадка, основными методами в мировой практике являются захоронение осадка, использование его в качестве удобрения в сельском хозяйстве и сжигание [1–7].

Захоронение осадков сточных вод применяется в случае невозможности их утилизации по техническим или экономическим причинам с учетом необходимости предотвращения отрицательных воздействий на окружающую среду. Осадки, содержащие патогенные микроорганизмы, высокотоксичные соединения, выделяющие опасные газы, не подлежат захоронению. С экономической точки зрения нецелесообразно направлять на захоронение осадки, если содержание сухого вещества в них менее 15 %. Сжигание осадков осуществляется, если их утилизация не возможна другим способом или является экономически нецелесообразной.

Эффективность утилизации осадков в качестве удобрений определяется комплексным содержанием в них биогенных элементов. Однако, во многих населенных пунктах, имеющих централизованную систему водоотведения, сточ-

ные воды содержат значительную долю разнообразных производственных стоков. Осадки, выделяемые в процессах очистки таких городских сточных вод, могут содержать вредные для растений вещества (яды, химические соединения, радиоактивные элементы). В таких осадках может отмечаться повышенное содержание токсичных солей тяжелых металлов (ртути, свинца, кадмия, никеля, хрома, мышьяка и др.), для которых установлено допустимое содержание валовых форм. Некоторые микроэлементы (бор, марганец, медь, молибден, кобальт, цинк и др.) при повышенных концентрациях также могут оказывать неблагоприятное воздействие на рост растений и качество сельскохозяйственной продукции. В таком случае использование загрязненного осадка в качестве удобрения в сельском хозяйстве не может быть рекомендовано без предварительного выделения из осадков тяжелых металлов и его обеззараживания.

Одним из перспективных направлений утилизации осадков сточных вод является их переработка с целью получения продуктов, которые возможно использовать в теплоэнергетике и промышленном производстве, например, в строительной индустрии. Осадок добавляют в сырьё при производстве керамики, кирпича, асфальтобетона, керамзита, искусственного мрамора, фосфогипса и т.д.

Разработанная технология позволит утилизировать осадок сточных вод с использованием его в качестве инертной добавки при производстве цемента. Это даст возможность существенно снизить площади, отводимые под депонирование осадка, и уменьшить потребление природных ресурсов в производстве клинкера.

С целью определения возможности комплексного использования осадка было проведено исследование физико-химических свойств и состава осадка сточных вод крупных промышленных центров. Анализ состава илового осадка показал, что его минералогический состав соответствует содержанию компонентов цементного клинкера, согласно ДСТУ Б В.2.7–112:2002, в объеме до 10 % в качестве инертных добавок [8–12]. Использование илового осадка в качестве добавки-наполнителя ограничивается количеством кремния в иле до 6,14 %.

Подготовка осадка в соответствии с техническими требованиями для цементного клинкера не требует установки специализированного оборудования, использования энергоемких процессов и не изменяет технологический цикл производства клинкера. Осадок в качестве минеральной добавки поступает в клинкер на стадии дробления. Для использования осадка в ка-

честве добавки его влажность, согласно ДСТУ Б В.2.7-112:2002, не должна превышать 15 %.

Для расчета экономии природного газа была выбрана вращающаяся печь, используемая в производстве цемента мокрым способом, производительностью 75 т/ч с габаритами 5 × 185 м.

Основные характеристики печи приведены ниже:

Производительность $G_{п}$ , т/ч	– 75
Влажность шлама $w_{шл}$ , %	– 36
Температура отходящих газов $T_{отх.г}$ , °С	– 250
Расход условного топлива на обжиг клинкера, кг/т	– 211
Расход теплоты на обжиг клинкера, кДж/кг	– 6100
Влажность добавки $w_{ос}$ , %	– 15

Для расчета принимался осадок сточных вод со следующими характеристиками: теплота сгорания  $Q_{н^p} = 9280$  кДж/м<sup>3</sup>; горючая часть – 53,2 %; зола – 59,8 %.

Определяем расход илового осадка в клинкере:

$$G_{ос} = G_{п} \delta_{ос},$$

где  $\delta_{ос}$  – доля осадка, вносимого в печь.

Необходимое количества осадка сточных вод составит

$$G_{ос}' = G_{ос} / \delta_{орг},$$

где  $\delta_{орг}$  – доля горючей части.

Теплота сгорания осадка сточных вод при заданной влажности шлама  $w_{шл} = 36$  % и осадка  $w_{ос} = 15$  % составит

$$Q_{н^p}' = Q_{н^p} (100 - w_{шл}) / (100 - w_{ос}),$$

Далее определяется количество теплоты, выделяемой при сжигании осадка, в час:

$$Q_{ос} = Q_{н^p}' G_{ос}'.$$

Количество теплоты, полезно используемой в печи, составит

$$Q_{п}^{пол} = Q_{п} \eta_{п}.$$

Экономия топлива за счет использования теплоты сгорания осадка сточных вод:

$$\mathcal{E} = 0,01 (Q_{ос} / Q_{п}^{пол}).$$

Экономия природного газа за счет использования этой теплоты:

$$\mathcal{E}_{пр.г} = \mathcal{E} q_{кл} G_{п} / Q_{н^c},$$

где  $q_{кл}$  – расход теплоты на обжиг клинкера, кДж/кг;  $Q_{н^c}$  – низшая теплота сгорания природного газа, кДж/м<sup>3</sup>.

Годовая экономия природного газа в печи за счет использования теплоты сгорания осадка сточных вод определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{год} = \mathcal{E}_{пр.г} T,$$

где  $T$  – количество часов работы печи в год, принимаем  $T = 7920$  ч.

Экономия условного топлива, т у.т./год:

$$\mathcal{E}_{усл.т} = \mathcal{E}_{год} Q_{усл.т} / (1000 Q_{н^c}),$$

где  $Q_{усл.т}$  – теплота сгорания условного топлива, кДж/м<sup>3</sup>.

Проведенный расчет показал, что экономия природного газа, используемого во вращающейся печи, составит 3,33 % (до 0,7 м<sup>3</sup>/т цемента).

### Методика проведения исследования

Поскольку влажность осадка (50–70 %) даже после многолетней естественной сушки на иловых площадках превышает допустимый максимум (15–20 %), для использования его в качестве инертной добавки необходима дополнительная сушка.

Удаление воды, которая находится в осадке в жидком состоянии, осуществляется тремя основными способами: уплотнением (механической концентрацией твердых веществ); обезвоживанием (механическим удалением свободной и капиллярной воды); сушкой (термическим удалением остаточной влаги).

В зависимости от вида влаги в осадке существуют три стадии обезвоживания: гравитационное, термогравитационное и термофлотационное обезвоживание (удаляется до 67 % влаги); механическое обезвоживание (удаляется до 21 % влаги); термическая сушка.

Оставшийся объем приходится на сухое вещество осадка и содержащуюся в нем химически связанную влагу. Для улучшения процесса обезвоживания и уменьшения затрат предложено использовать естественное замораживание осадков на иловых полях, что позволит резко снизить исходное удельное сопротивление осадков и улучшить их водоотдающую способность (таблица) [16].

Учитывая, что Украина владеет значительными территориями с длительным холодным периодом с ноября по март с максимальной и минимальной среднемесячной температурой +5 и –15 °С соответственно, а также исходя из того, что естественное замораживание является

наиболее простым и дешевым способом, такой вид обработки осадков может найти широкое применение.

Улучшение обезвоживаемости осадков на иловых площадках после весеннего таяния объясняется изменениями исходной физико-химической структуры осадков, в результате которой происходит перераспределение различных форм связывания влаги в осадке в сторону увеличения количества свободной влаги, что облегчает возможность удаления ее через фильтрующее основание площадок, а также способствует увеличению скорости ее испарения.

Осадок после замораживания и оттаивания обезвоживается механически без применения дополнительных реагентов, что позволяет сохранить более близкие к природной среде структуру и состав. Исследования физических свойств осадков после замораживания-оттаивания показали, что они соответствовали свойствам глины. Особенно эффективно дальнейшее обезвоживание осадка на наливных фильтрах и ленточных фильтр-прессах. Длительная выдержка осадка после оттаивания ведет к ухудшению его водоотдающей способности.

Преимущества, получаемые за счет замораживания и оттаивания осадка, используются не в полной мере из-за того, что не происходит полного промораживания всего слоя осадка. При замораживании осадков на иловых площадках твердая фаза концентрируется у их основания, а высота слоя залитого осадка составляет 1,0–1,4 м, в то время как глубина промерзания почвы в полосе умеренно-континентального климата составляет 0,08–0,64 м и зависит от высоты залегания снежного покрова, в результате чего значительная часть осадка не промораживается, то есть его физико-химическая структура остается ненарушенной.

### Влияние температуры замораживания на снижение удельного сопротивления осадка

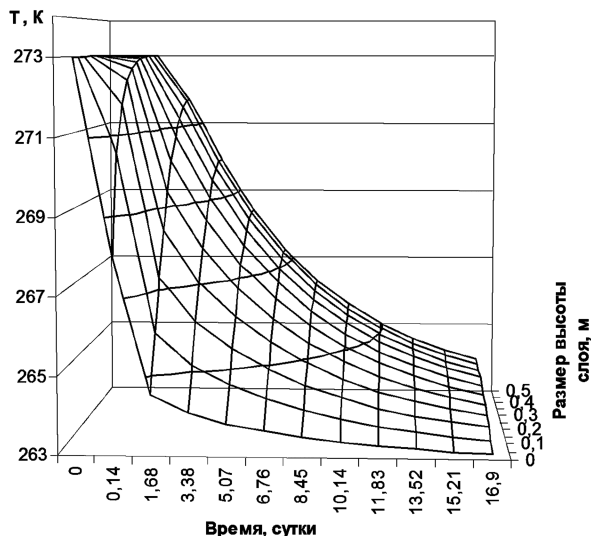
Исходная влажность, %	Температура замораживания, °С	Удельное сопротивление $\eta$ , $\times 10^{-10}$ , см/г	
		исходное	после замораживания и оттаивания
Активный ил			
97,5	-15	985–2320	3,3–8,5
97,5	(-3)–(-7)	985–2320	1–1,7
Сырой осадок из первичных отстойников			
95,5–96	(-15)–(-18)	710–830	8–18,5
95,5–96	(-3)–(-5)	710–830	1,2–1,5
Сброженная смесь			
97	(-15)–(-25)	2180–2520	20–138
97	(-3)–(-15)	2180–2520	4–20

Интенсификацию процесса замораживания осадков можно достигать периодической уборкой верхнего слоя замороженного осадка с поверхности площадок, что позволит улучшить процесс теплообмена между осадком и окружающей средой.

Проведено расчетно-теоретическое исследование процесса теплопроводности в слое осадка сточных вод. Для этого была создана программа с использованием метода элементарных тепловых балансов, которая позволяет определять динамику изменения температуры по глубине осадка. Для подтверждения адекватности созданной программы были проведены экспериментальные исследования по определению длительности нагревания слоя материала. В качестве исследуемого материала был использован песок как наиболее доступный.

В ходе эксперимента определялось время нагрева песка в диапазоне температур 15–100°С при высоте слоя 2,5 см. Измерения проводились с помощью пяти термопар типа ХА, расположенных через 6,25 мм. Термопары были подключены к восьмиканальному измерителю температуры РТЭ-4.8. Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями температур составило 4,3–5,5 %, что показывает адекватность модели.

При помощи созданной программы была определена динамика изменения температуры осадка при условии его охлаждения через 5, 10 и 16 сут (толщина слоя  $\delta = 0,5$  м, теплопроводность осадка – 0,34 Вт/(м·°С), тепло-



Изменение температуры в слое осадка сточных вод в течение отрезка времени при средней температуре наружного воздуха -10 °С.

емкость — 3,01 кДж/(кг·°С), плотность — 1100 кг/м<sup>3</sup>).

На рисунке представлено изменение температуры в полуметровом слое осадка сточных вод во времени. Кривые показывают изменение со временем температуры точек слоя, удаленных от охлаждающей поверхности на расстояния 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 м (ось X); по оси Z — изменение температуры во времени и пространстве; по оси Y — изменение во времени температуры слоя.

Проведенные расчетно-теоретические исследования процесса тепломассопереноса в слое осадка сточных вод показали, что через 17 сут при средней температуре -10 °С слой илового осадка полностью промерзнет на глубину 0,5 м, что делает возможным использование естественного промораживания для улучшения процесса сушки осадка сточных вод в климатических условиях Украины.

### Выводы

Предложен метод утилизации осадка сточных вод, который показал возможность использования осадка в качестве инертной добавки при производстве цементного клинкера. Для наиболее экономически выгодного способа обработки осадка предлагается применять естественное замораживание, что позволит резко снизить исходное удельное сопротивление осадков и улучшить их водоотдающую способность.

Результат проведенных расчетов использования илового осадка в качестве добавки-наполнителя показал, что экономия природного газа при производстве цемента составит 2,8–3,33 % (до 0,7 м<sup>3</sup>/т цемента).

Внедрение данной технологии существенно снизит риск дальнейшего заражения почвы, грунтовых и подземных вод, что позволит улучшить экологическую ситуацию и социально-гигиенические условия проживания населения вблизи водоочистных сооружений и иловых площадок.

Предложенная технология утилизации позволит снизить себестоимость цемента за счет экономии энергетических и материальных ресурсов, а также уменьшить затраты на хранения осадка.

Преимуществом данной технологии утилизации по сравнению с существующими является ее дешевизна ввиду отсутствия дополнительных затрат энергии и необходимости применения технологического оборудования.

### Список литературы

1. Евилевич А.З. Утилизация осадков сточных вод. — Л. : Стройиздат, 1988. — 247 с.
2. Дрозд Г.Я. Техничко-экологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод. — Донецк : Ин-т экономики пром-сти НАН Украины, 2001. — 340 с.
3. Дикаревский В.С. Обработка осадков сточных вод : Учеб. пособие для студентов. — СПб., 2001. — 35 с.
4. Хакимов Ф.И., Керженцев А.С., Севастьянов С.М. Рекомендации по утилизации илов городских очистных сооружений. — М. : Гос. ком. экологии России, 1999. — 54 с.
5. Батлук В.А. Основы экологии и охрана окружающей среды : Учеб. пособие. — Львов : Афиша, 2001. — 336 с.
6. Куликов Н.И., Окрушко В.Е., Вертий В.В., Куликова Е.Н. Использование осадков сточных вод больших городов в качестве реагентов при обезвреживании промышленных стоков. — М., 1982. — С. 20–25.
7. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. — М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004. — 704 с.
8. Строительные материалы : Справ. / Под ред. А.С.Болдырева, П.П.Золотова. — М. : Стройиздат, 1989. — 567 с.
9. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцемент. — М. : Стройиздат, 1974. — 328 с.
10. ДСТУ Б.В. 2.7.46-96. Цементы общестроительного назначения. Технические условия. — Киев : Гос. ком. градостроительства Украины, 1996. — 28 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-88-99 (ГОСТ 1581-96). Портландцементи тампонажні. Технічні умови. — Київ : Держ. ком. містобудування України, 1999. — 32 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-112:2002. Цементы. Общие технические условия. — Киев : Гос. ком. градостроительства Украины, 2002. — 18 с.
13. Алексеев Б.В., Барбашев Г.К. Производство цемента : Учеб. для ПТУ. — М. : Высш. шк., 1985. — 264 с.
14. Ходоров Е.В. Печи цементной промышленности. — Л. : Стройиздат, 1968. — 456 с.
15. Пьячев В.А., Капустин Ф.Л. Тепловые и технологические расчеты вращающихся печей для обжига цементного клинкера. — Екатеринбург : Урал. политехн. ин-т, 1992. — 34 с.
16. Степаненко Н.И., Ряховская А.И., Романенко О.А. // Химия и технология воды. — 1985. — № 2. — С. 79–80.
17. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. — М. : Энергия, 1980. — 288 с.

Поступила в редакцию 12.10.12



**Клименко М.А., Черна Н.А., канд. техн. наук**

**Інститут проблем машинобудування НАН України**

*вул. Дм. Пожарського, 2/10, 61046 Харків, Україна, e-mail: admi@ipmach.kharkov.ua*

## **Перспективи обробки природним холодом осаду стічних вод для утилізації у цементному виробництві**

На базі аналізу існуючих технологій обробки та утилізації осаду стічних вод було запропоновано технологію утилізації осаду як інертної добавки при виробництві цементного клінкеру. Представлено техніко-економічний розрахунок ефективності використання осаду стічних вод, який підтвердив доцільність використання даної технології у цементній промисловості. Для зменшення вологовмісту осаду стічних вод запропоновано його природне проморожування в зимовий період для приведення фізичних властивостей осаду до умов сировини при виробництві цементу. Проведено розрахунково-теоретичне дослідження процесу тепломасопереносу в шарі осаду стічних вод з метою визначення товщини шару повного проморожування осаду. Визначено потенціал енерго- та ресурсозбереження при використанні даної технології утилізації для обортових печей цементного виробництва за рахунок додавання осаду стічних вод. *Бібл. 17, рис. 1, табл. 1.*

**Ключові слова:** осад стічних вод, утилізація, цементне виробництво, інертна добавка, енергоємність, ресурсозбереження.

***Klimenko M.A., Chernaya N.A., Candidate of Technical Sciences***

***Institute for Machine Building Problems of National Academy of Science of Ukraine***

*2/10, Pozharsky Dm. Str., 61046 Kharkov, Ukraine, admi@ipmach.kharkov.ua*

## **Perspective of Sewage Sludge Treatment by Natural Cold for Utilization in Cement Production**

A technology of sludge utilization as an inert additive in the cement clinker production has been proposed on the basis of existent technologies for treatment and disposal of sewage sludge. Technical and economic assessment of the efficiency of sewage sludge has been given. It has confirmed the expedience of the technology given in the cement industry. To reduce moisture content in sewage sludge, natural freezing in winter has been proposed to bring its physical properties to the state of raw mixture for cement production. The numerical and theoretical study of heat and mass transfer in the sludge layer to determine a layer depth of the complete freezing of the sludge has been conducted. The potential of energy- and resource-saving by the given technology of utilization for kilns of the cement production due to sewage sludge addition, has been defined. *Bibl. 17, Fig. 1, Table 1.*

**Key words:** sewage sludge, utilization, cement production, inert additive, energy intensity, resource-saving.

## References

1. Evilevich A.Z. Utilization of sewage sludge. — Leningrad : Strojizdat, 1988. — 247 p. (Rus.)
2. Drozd G.Ja. Techno-ecologic notes on a problem of utilization of sludge of urban and industrial sewage. — Doneck : Institute of economy industry of NAS of Ukraine, 2001. — 340 p. (Rus.)
3. Dikarevskij V.S. Treatment of sewage sludge : Uchebnoe posobie dlja studentov. — Sankt-Peterburg, 2001. — 35 p. (Rus.)
4. Hakimov F.I., Kerzhencev A.S., Sevastianov S.M. Recommendations of utilization of sludge of urban sewage disposal plants. — Moscow : Gosudarstvenny Komitet ekologii Rossii, 1999. — 54 p. (Rus.)
5. Batluk V.A. Principals of ecology and environmental protection. — Lvov : Afisha, 2001. — 336 p. (Rus.)
6. Kulikov N.I., Okrushko V.E., Vertij V.V., Kulikova E.N. Application of sewage sludge of cities as reagents for sterilization of industrial sewage. — Moscow, 1982. — pp. 20–25. (Rus.)
7. Jakovlev S.V., Voronov Ju.V. Sewerage system and sewage purification. — Moscow : Izdatelstvo Associacii stroitelnyh vuzov, 2004. — 704 p. (Rus.)
8. Materials of construction: a reference book / Pod red. A.S. Boldyreva, P.P. Zolotova. — Moscow : Strojizdat, 1989. — 567 p. (Rus.)
9. Butt Ju.M., Timashev V.V. Portland cement. — Moscow : Strojizdat, 1974. — 328 p. (Rus.)
10. DSTU B.V. 2.7.46-96. Cements of general construction purpose. Specifications. — Kiev : Gosudarstvenny Komitet Gradostroitelstva Ukrainy, 1996. — 28 p. (Rus.)
11. DSTU B V.2.7-88-99 (GOST 1581-96), Grouting mortar portland cements. Specifications. — Kiev : Derzhavny Komitet Mistobuduvannia Ukrainy, 1999. — 32 p. (Ukr.)
12. DSTU B V.2.7-112-2002, Cements. General specifications. — Kiev : Gosudarstvenny Komitet gradostroitelstva Ukrainy, 2002. — 18 p. (Rus.)
13. Alekseev B.V., Barbashev G.K. Cement production: Uchebnik. — Moscow : Vysshaja shkola, 1985. — 264 p. (Rus.)
14. Hodorov E.B. Kilns for cement industry. — Leningrad : Strojizdat, 1968. — 456 p. (Rus.)
15. Pjachev V.A., Kapustin F.L. Heat and technological analysis of rotary kiln for cement clinker kilning. — Ekaterinburg : Uralsky Polytechnicheskyy Institute, 1992. — 34 p. (Rus.)
16. Stepanenko N.I., Rjahovskaja A.I., Romanenko O.A. // Chemistry and technology of water. — 1985. — № 2. — pp. 79–80. (Rus.)
17. Krasnoshhekov E.A., Sukomel A.S. Heat transfer problem book. — Moscow : Energija, 1980. — 288 p. (Rus.)

Received October 12, 2012

---



---

Подписывайтесь на журнал  
**«Энерготехнологии и ресурсосбережение»** (индекс 74546)  
 на 2013 г. по Каталогу изданий Украины,  
 Каталогу Агентства «Роспечать»,  
 Сводному Каталогу агентства «УКРИНФОРМНАУКА» для  
 изданий, выпускаемых академиями наук — членами МААН

**Информацию о журнале  
 и правилах оформления статей можно найти на сайтах:**

<http://www.energytech-ua.org/>  
<http://www.ingas.org.ua/index.files/Page765.htm>  
<http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/ETRS/index.html>