

## **ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ**

---

УДК 629.33+16.067

**Высоцкий С.П., д.т.н., Голуб И.Е., инженер**

**АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Рассмотрено последовательное совершенствование технологических решений по очистке природных и оборотных вод от взвешенных веществ. Для повышения производительности оборудования обосновано использование в качестве присадок в обрабатываемую воду мелкокристаллических веществ с повышенной плотностью.*

#### **Состояние проблемы**

В мировой практике происходит неуклонный рост энерго- и водопотребления. Кризисы мировой экономики только в незначительной степени уменьшили этот рост. Известно, что увеличение энергопотребления и, соответственно, выработка энергии симметрично вызывает рост потребления воды, которая используется на тепловых и атомных электростанциях как энергоноситель при передаче тепла от сгорающего топлива в котле или делящихся материалов в реакторе к воде, от полученного пара при передаче энергии в турбине и от отработанного пара — к охлаждающей воде.

Качество воды в контуре генерации пара имеет существенное влияние в основном на надежность работы котлов и реакторов, а в контуре захлаживания отработанного пара в конденсаторах влияет на экологичность работы энергетических установок. Так, при изменении толщины отложений в конденсаторах с 0,15 до 0,90 мм снижение коэффициента теплопередачи происходит с 4184 до 578 Вт/м<sup>2</sup>·К [1], что вызывает снижение выработки электрической энергии и, соответственно, увеличение удельного расхода топлива на генерацию энергии. Учитывая большое потребление воды для охлаждения конденсаторов, составляющее несколько сотен тысяч тонн на современных энергоблоках тепловых электростанций (ТЭС), используют замкнутые системы охлаждения, которые состоят из градирен, циркуляционных насосов и систем каналов подвода и отвода циркуляционной воды к конденсаторам. На ТЭС применяются в основном испарительные градирни с естественной тягой. Такого типа градирни используются также на химических и металлургических предприятиях для отвода тепла от технологического оборудования.

Существенной проблемой при эксплуатации оборотных систем является концентрирование в охлаждающей воде растворимых и взвешенных частиц, что вызывает необходимость постоянной продувки части циркуляционной воды и, соответственно, подпитки циркуляционной системы. Учитывая значительное увеличение стоимости пресной воды, а также платежей за сброс продувочных вод, используют очистку оборотной (циркуляционной) воды или очистку подпиточной и оборотной вод. Эффективность эксплуатации оборотных систем увеличивается с ростом производительности очистных установок. Учитывая большие объемы очищаемой воды, использование для этих целей традиционных решений очистки в осветлителях или отстойниках, обладающих относительно малыми производительностями, создает ряд непреодолимых трудностей [2].

**Цель исследования** состоит в выборе более эффективных технических решений по очистке воды для оборотных циклов промышленных предприятий и, в частности, ТЭС.

### *Изложение материала исследования*

В последние годы в процессах очистки воды от соединений коллоидной степени дисперсности и от взвешенных частиц используют в основном осветлители и тонкослойные отстойники. В осветлителях (рис. 1), разработанных проф. Е.Ф. Кургаевым и в последующем усовершенствованных В.М. Квятковским и А.И. Баулиной (ВТИ), удалось повысить подъемные скорости потока по сравнению с отстойниками. Это достигнуто за счет применения поперечного отвода шлама через шлакоприемные окна [3] по сравнению с движением (оседанием) шлама противоположным направлению осветляемой воды в отстойниках. Кроме этого, решена задача большого концентрирования шлама в шлакоуплотнителях, что позволило уменьшить величину продувки аппаратов и, соответственно, уменьшить непроизводительные потери воды. В конструкциях аппаратов, применяемых в странах СНГ, не используют механические мешалки для улучшения контакта обрабатываемой воды с реагентами. Для пе-

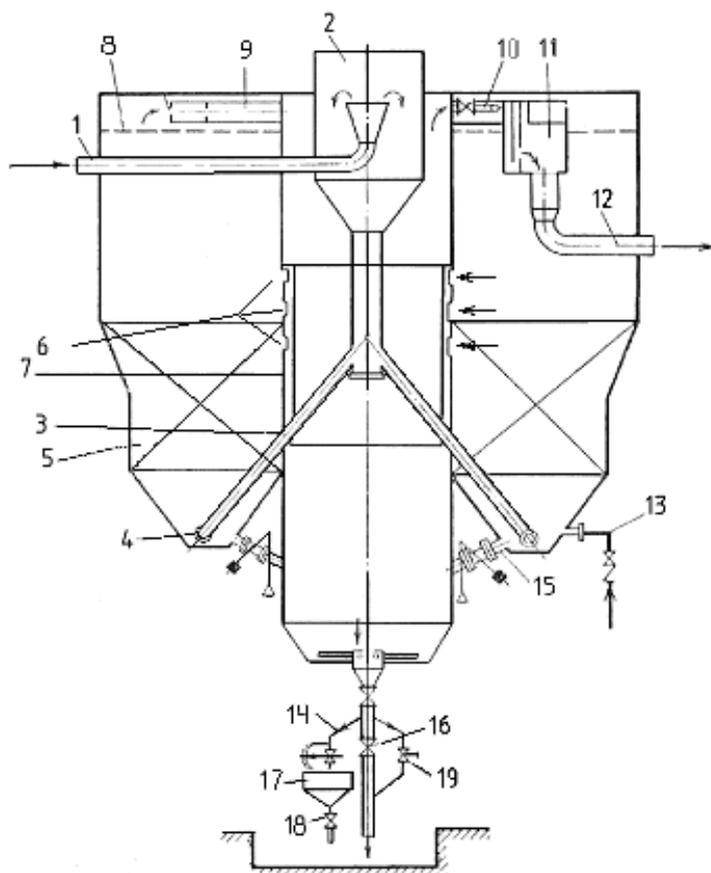


Рис. 1. Схема осветлителя, который применяется в технологиях подготовки воды в странах СНГ [3]:

1. Трубопровод подачи исходной воды.
2. Воздухоотделитель.
3. Распределительные трубы подвода воды в зону реакции.
4. Реакционная труба.
5. Зона перегородок для гашения вращательного движения воды и улучшения контакта осветленной воды со шламом.
6. Шлакоприемные окна.
7. Шлакоуплотнитель.
8. Верхняя распределительная решетка.
9. Сборный кольцевой желоб.
10. Отвод осветленной воды из шлакоуплотнителя (отсечка).
11. Приемный короб.
12. Трубопровод отвода осветленной воды.
13. Трубопровод ввода обработанной воды.
14. Трубопровод непрерывной продувки.
15. Трубопровод периодического отвода песка.
16. Арматура для опорожнения осветлителя.
17. Тарировочная емкость.
18. Трубопровод опорожнения тарировочной емкости.
19. Трубопровод периодической продувки

ремешивания применяют тангенциальный подвод потоков обрабатываемой воды и радиальный подвод реагентов. Следует отметить, что исследование работы таких аппаратов путем ввода трассера (раствора хлорида натрия) в воздухоотделитель показало, что трассер появляется в выходной зоне осветлителя уже через 5 мин. Таким образом, в процессе очистки воды часть реагентов, не прореагировав, проскакивает в выходную зону осветлителя. Это объясняет причину повышенной концентрации соединений железа ( $160-300 \text{ мкг/кг}$ ) на выходе осветлителя при очистке воды в режиме известкования и коагуляции сульфатом железа.

Аналогичное явление имеет место при коагуляции воды сульфатом алюминия. Следует отметить, что в этом случае при использовании, например, осветленной воды для питьевых целей (применение указанных осветлителей в небольших населенных пунктах) существует большая опасность загрязнения осветленной воды соединениями алюминия, которые, как известно, являются одной из причин болезни Альцгеймера.

На зарубежных установках используют отстойники с устройствами для механического перемешивания обрабатываемой воды и реагентов [4]. На этих установках "перескок" реагентов в осветленную воду в несколько раз меньше. Одна из типовых конструкций такого отстойника показана на рис. 2.

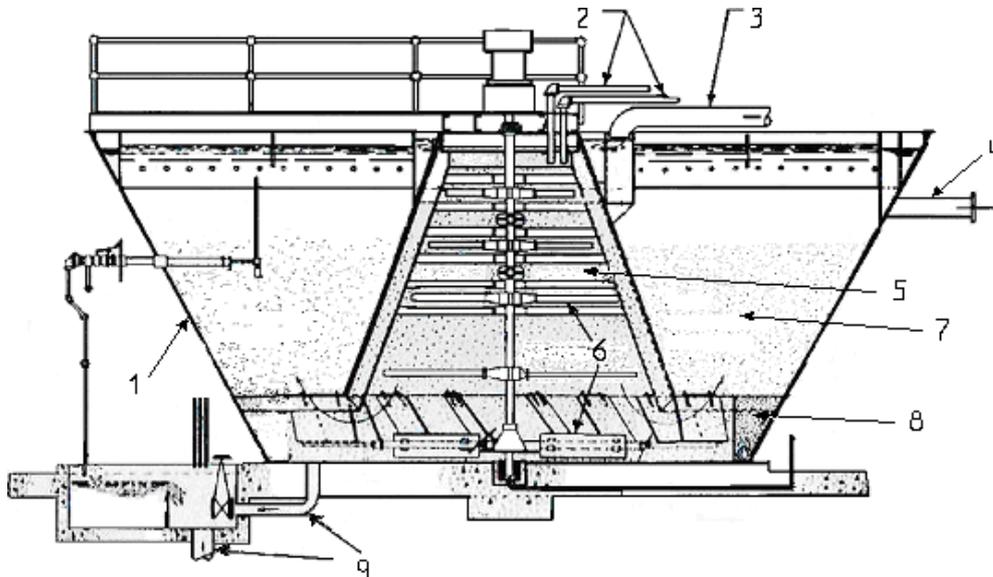


Рис. 2. Схема отстойника с шламовым фильтром, который применяется в США [4]:

1. Корпус отстойника.
2. Трубопроводы подвода химических реагентов.
3. Трубопровод обрабатываемой воды.
4. Трубопровод выхода осветленной воды.
5. Зона смешения воды с реагентами.
6. Мешалка.
7. Зона шламowego фильтра.
8. Концентратор шлама.
9. Дренажный трубопровод

Наиболее перспективными аппаратами, которые могут быть использованы при обработке больших объемов очищаемой воды, являются аппараты, работающие по схеме «активированный поток» (Actiflo).

Однако в конструкциях этих аппаратов имеются недостатки, присущие традиционным отстойникам. В отечественной и мировой практике с 70-х годов прошлого века стали применять тонкослойные отстойники, пространство которых для осветления воды разделено на ряд каналов. Последние образованы пластинами, расположенными под углом  $\alpha = 35-60^\circ$ , что обеспечивает соскальзывание осадка под действием силы тяжести. Пластины (ламели) расположены на расстоянии 50-100 мм друг от друга. В тонкослойных отстойниках время пере-

мещения (оседания) частицы с “ потолка” канала на его ”пол” значительно сокращается по сравнению с аппаратами традиционной конструкции и составляет

$$t = \frac{h}{u_0 \cos \alpha} k_c, \quad (1)$$

где  $h$  — расстояние между пластинами, мм;  
 $u_0$  — скорость осаждения частицы в неподвижной воде (гидравлическая крупность), мм/с;  
 $k_c = 0,7-0,8$  — коэффициент стеснения потока сползающим осадком.

Из приведенного уравнения видно, что скорость осветления увеличивается во много раз. Применение ламинарного течения потока обрабатываемой воды в режиме, близком к идеальному вытеснению, обеспечивает устойчивую работу отстойников в режимах колебаний нагрузки и температуры обрабатываемой воды. В то же время такие возмущения при эксплуатации осветлителей приводят к длительным ухудшениям качества осветленной воды. Для обеспечения эффективной работы тонкослойных отстойников следует учитывать необходимость предварительного перемешивания раствора реагента и обрабатываемой воды.

Известно, что при градиентной коагуляции скорость изменения числа частиц  $n$  [5]

$$-\frac{dn}{d\tau} = k_p r^3 G \omega^3 n^2, \quad (2)$$

где  $k_p$  — коэффициент, зависящий от режима движения воды;  $k_p = 1,33$  для ламинарного движения;  $k_p = 12$  для турбулентного;

$G$  — средний градиент скорости перемешивания воды,  $c^{-1}$ ;

$\omega = \frac{r+a}{r}$  — отношения радиуса действия межмолекулярных сил к радиусу частиц “ $r$ ”.

Считается, что  $(r+a) \leq 2,4$  нм.

В других источниках [5] скорость коагуляции выражают

$$-\frac{dn}{d\tau} = \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{RT\rho}{\eta r} \right)^k n^2, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность частиц,  $кг/м^3$ ;

$\eta$  — динамическая вязкость воды,  $кг/(м \cdot с)$ ;

$n$  — количество частиц(концентрация) в начальный момент коагуляции;

$R$  — универсальная газовая постоянная;

$T$  — абсолютная температура,  $^{\circ}K$ .

В процессах осветления воды скоростной градиент поддерживают в пределах  $300-350 c^{-1}$ , при этом время перемешивания составляет  $60-120 с$ . Увеличение градиента до  $500-1000 c^{-1}$  позволяет сократить время перемешивания до  $10-30 с$ .

Из уравнений 2, 3 следует, что для интенсификации процесса коагуляции перемешивания следует вести в турбулентном режиме и увеличивать концентрацию частиц в воде и их плотность.

Дальнейшим совершенствованием технологии обработки воды явилась разработка процесса “Aktiflo”, в котором реализованы указанные выше положения [6]. Схема процесса “Aktiflo” показана на рис. 3.

Для ускорения процесса коагуляции используется присадка высокодисперсионного песка. Последний постоянно рециркулирует в зону смешения с обрабатываемой водой и реагентами благодаря использованию гидроциклона (рис. 4).

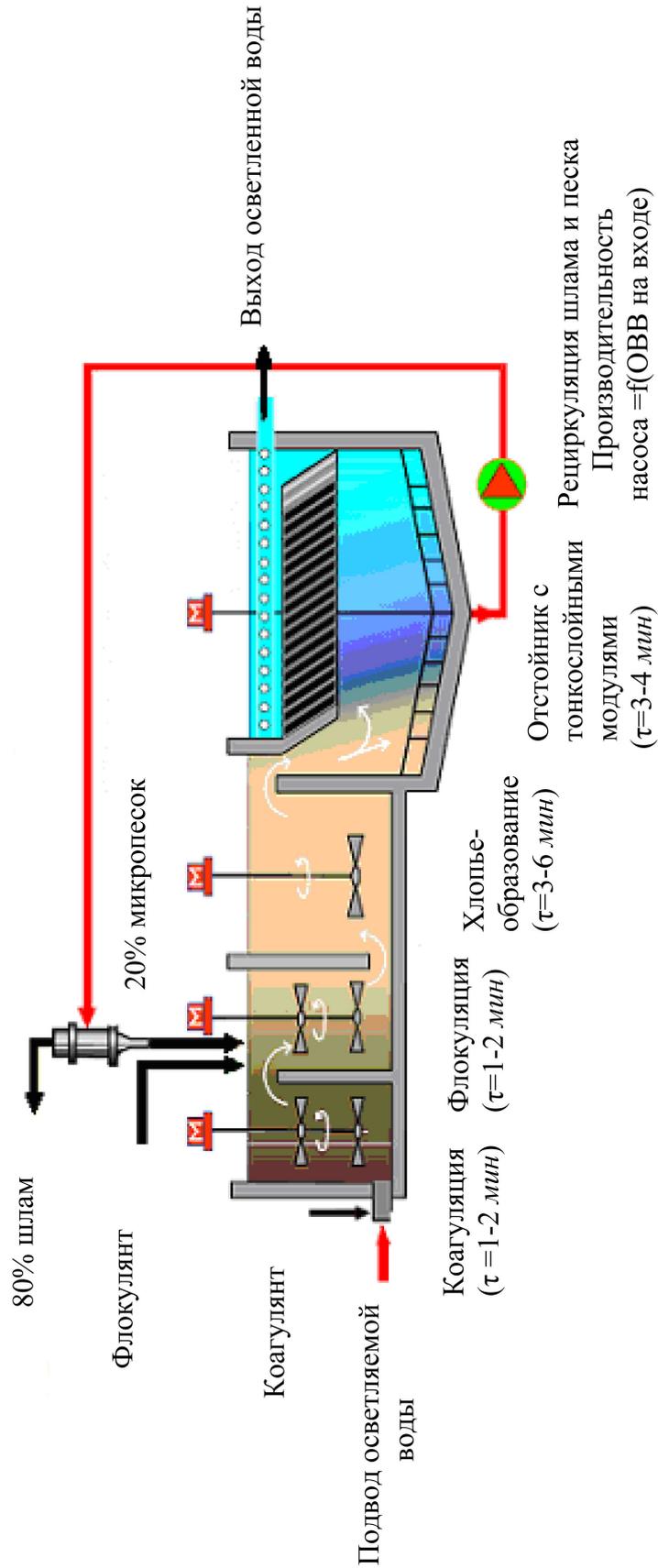


Рис. 3. Схема технологии обработки воды с рециркуляцией шлама и песка

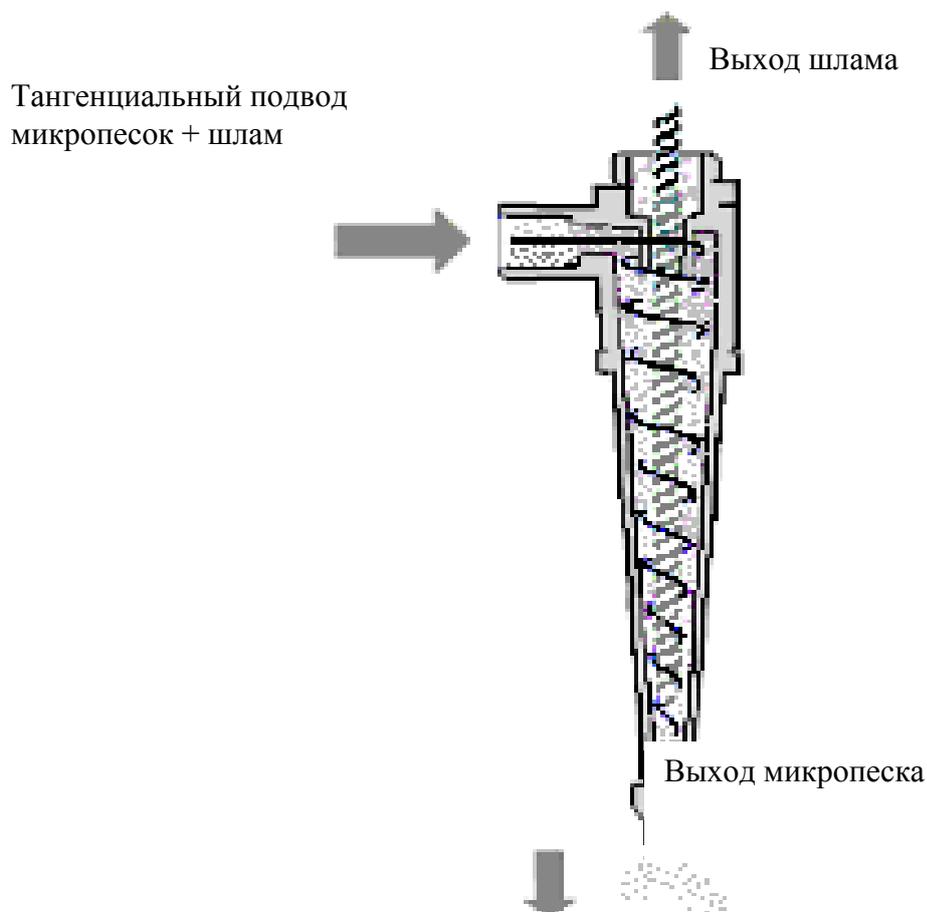


Рис. 4. Циклон для сепарации песка

Сравнительные характеристики процессов коагуляции воды приведены в табл.1.

Таблица 1

## Основные параметры процесса очистки воды

	Вода	Сточные воды	Традиционные методы
	~ 100 мкм	~ 150 мкм	—
Длительность коагуляции	8-10 мин	3-5 мин	20-40 мин
Длительность процесса	10-12 мин	5-6 мин	1-4 ч
Нагрузка	50-100 м/ч	100-200 м/ч	1-10 м/ч
Номинальная производительность линии	40-10 000 м <sup>3</sup> /ч	40-20 000 м <sup>3</sup> /ч	

Применение указанной технологии позволило значительно повысить удельную производительность оборудования. Так, в мировой практике существует несколько установок, производительность которых превышает 340000 м<sup>3</sup>/г (Франция, Китай, Канада и др).

Показатели качества воды, которые обеспечиваются при использовании процесса “Aktiflo”, приведены в табл. 2.

Описанная технология позволяет применять ее для очистки больших объемов обрабатываемой воды: в оборотных циклах энергетических и химических предприятий, в больших плавательных бассейнах и пр.

Показатели качества исходной и очищенной воды при использовании процесса "Aktiflo"

Показатель	Единица измерения	Исходная вода	Очищенная вода (выходные значения или степень очистки)
Взвешенные вещества	<i>мг/л</i>	0-3000	0,5-5,0
Цветность	<i>град. Pt/Co</i>	0-350	0-10
Общий органический углерод	<i>мг/л</i>	1-30	30-60%
Водоросли	<i>клетки/мл</i>	0-100000	90-99%
Хлорофилл А	<i>клетки/мл</i>	0-100	90-99%
Марганец	<i>мг/л</i>	0-2,5	60-95%
Мышьяк	<i>мг/л</i>	0-2,0	50-90%
Железо	<i>мг/л</i>	0-5,0	60-98%
Число частиц 2-15 мкм	<i>мд/мл</i>	$< 2 \cdot 10^6$	1,5-3,0log
Фекальные колиформы	<i>клетки/мл</i>	0-10 <sup>4</sup>	1,0-1,5log
Бактерии	<i>клетки/мл при 20 °C</i>	$< 20000$	1,0-1,5log

### Выводы

1. Рассмотрена эволюция технологий очистки воды от взвешенных веществ с использованием осветлителей, тонкослойных отстойников и аппаратов с рециркуляцией высокодисперсного песка (процесс "Aktiflo").
2. Применение процесса "Aktiflo" позволило обеспечить эффективную очистку больших объемов воды от взвешенных частиц.
3. В процессах коагуляции воды целесообразно размещать отдельные зоны коагуляции, флокуляции и осветления. При этом первые зоны работают в режиме идеального смешивания, а последняя — в режиме идеального вытеснения.

### Список литературы

1. Высоцкий С.П. Перспективные технологии очистки воды от взвешенных веществ в оборотных установках / С.П. Высоцкий, Е.В. Тужанская // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. — Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2008. — № 2 (7). — С. 99-106.
2. Высоцкий С.П. Перспективы использования мультимедийной фильтрации / С.П. Высоцкий, И.Г. Салашенко // Матеріали з Міжнародного водного форуму "Аква Україна — 2005". — К., 2005. — С. 102-104.
3. Обработка воды на тепловых электростанциях / А.И. Баулина, С.М. Гурвич, В.М. Квятковский и др. / под ред. Голубцева. — М. — Л.: Энергия, 1966. — 448 с.
4. Sheppard T. Powell. Water conditioning for industry: 2-nd edition, McGraw-Hill Book Company, inc. — New York, Toronto, London, Tokyo. — 1980. — 587 p.
5. Кройт Г.Р. Наука о коллоидах / Г.Р. Кройт. — Т. 1-4. — М.: Изд. ин. лит., 1955. — 538 с.
6. Amiad Filtration Systems. Cover story. Cooling towers: how to keep particulates at bay // Filtration and separation. — 2006. — July/august. — P. 18-22.

Стаття надійшла до редакції 12.11.08  
© Высоцкий С.П., Голуб І.Є., 2008