

Дніпродзержинський державний технічний університет

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВІДПОВІДНІСТЬ ГІГІЄНИЧНИМ ВИМОГАМ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СПОСОБУ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВОДИ**

**Вступ.** Збільшення кількості країн з розвинутою економікою створило передумови широкого поширення промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. Вказані обставини обумовили необхідність посилення заходів охорони навколишнього середовища і, в першу чергу, водних ресурсів. Адже мікробне забруднення доквілля на-самперед впливає на якість питної води, що є однією з найбільш частих причин виникнення масових захворювань гострими кишковими інфекціями: дизентерією та ентероколітами, черевним тифом і паратифами, вірусними гепатитами А та Е, іншими ентеровірусними інфекціями [1].

Серед процесів кондиціонування якості води найбільш значимим, з погляду профілактики епідемічних захворювань, є знезаражування. Знезаражування як метод водопідготовки привертає пильну увагу не тільки гігієністів, але й інженерно-технічних працівників, хіміків, фізиків, мікробіологів і багатьох інших спеціалістів.

У цьому зв'язку вважають, що знезаражування води варто розглядати як комплексну проблему, успішне вирішення якої залежить від обліку всіх складових аспектів [2]. Оцінюючи знезаражування води як комплексну проблему, варто безпосередньо зупинитися на існуючих способах, об'єктивний аналіз яких дозволить оцінити з гігієнічних позицій їхні переваги і недоліки та визначити перспективність подальших досліджень у цьому напрямку.

У практиці водопідготовки способи знезаражування води умовно розділяють на реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) і комбіновані [3].

До хімічних способів знезаражування питної води відносяться: хлорування, озонування, використання препаратів срібла, міді, йоду і деяких інших реагентів. І якщо перші два способи одержали широке поширення на очисних спорудах водопроводів, то наступні знайшли застосування, як правило, при знезаражуванні невеликих обсягів води на автономних об'єктах, у польових і екстремальних умовах водопостачання [4].

Хлорування – найбільш відомий спосіб знезаражування води як у нашій країні, так і за кордоном. Хлорування води здійснюється газоподібним хлором або речовинами, що містять активний хлор: хлорним вапном, гіпохлоритами, хлораминами, діоксидом хлору й ін. В останні роки в практику знезаражування природних вод впроваджується електрохімічний спосіб [5].

Хлорування характеризується широким спектром антимікробної дії у відношенні вегетативних форм мікроорганізмів, економічністю, простотою технологічного оформлення, наявністю способу оперативного контролю за процесом знезаражування. Відповідно до сучасних уявлень, для активного хлору характерним є комплексний характер його впливу на різні структури мікроорганізму: цитоплазматичну мембрану, білки цитоплазми, ядерний апарат клітини. Установлено, що хлор знищує ферменти дихального ланцюга бактерій – дегідрогенази, блокуючи SH-групи. Поряд з іонним характером окисних процесів розглядається і вільнорадикальний механізм ушкоджень, що призводить до аналогічних результатів [6].

Разом з тим хлорування має ряд істотних недоліків. Хлор і його препарати є токсичними сполуками, тому робота з ними вимагає строгого дотримання техніки безпеки.

Хлор впливає в основному на вегетативні форми мікроорганізмів, при цьому грампозитивні форми бактерій більш стійкі до його дії, ніж грамнегативні. У літературі є численні повідомлення про реактивацію мікроорганізмів у хлорованій питній воді, появу хлоростійких штамів [5, 6]. Для одержання гарантованого бактерицидного ефекту застосовують свідомо надлишкові дози хлору, що погіршує органолептичні показники і призводить до денатурації води.

Спороцидний ефект виявляється при відносно високих концентраціях активного хлору (200-300 мг/л) і експозиції від 1,5 до 24 годин. Що стосується віруліцидної дії хлоровмісних препаратів, то, за даними різних авторів, загибель вірусів спостерігається при концентраціях активного хлору від 0,5 до 100 мг/л.

Високорезистентними до дії хлору є також цисти найпростіших і яйця гельмінтів [5]. Необхідно відзначити, що ефективність знезаражуючої дії хлору і його препаратів істотно залежить не тільки від біологічної характеристики мікроорганізмів (вид, штам, щільність зараження й ін.), але і від хімічного складу води, а також експозиції. Різні хімічні речовини антропогенного походження можуть істотно впливати на ефективність процесу знезаражування. Так, поверхнево-активні речовини перешкоджають реалізації бактерицидного ефекту хлору і навіть виявляють стимулюючу дію, викликаючи розмноження мікрофлори [7].

У процесі обробки газоподібним (зрідженим) хлором, іншими хлорактивними сполуками відбувається утворення побічних токсичних продуктів хлорування – летючих галогенорганічних сполук, більшу частину яких становлять тригалометани, а саме: хлороформ, діхлорбромметан, дібромхлорметан і бромформ. Найбільшої уваги заслуговує хлороформ, що перевищує концентрацію інших токсикантів, як правило, на 1-3 порядки. На процес утворення ЛГС у водному середовищі впливає реакційна здатність і концентрація органічних сполук. Джерелом найбільшої кількості ЛГС у воді є гумінові кислоти, фульвокислоти, хіноіни, похідні фенолу, аніліну, а також продукти метаболізму водоростей.

Крім того, значну роль грає доза і форма активного хлору. Нагромадження в питній воді ЛГС представляється небезпечним для здоров'я населення у зв'язку з їхньою біологічною активністю. ЛГС не тільки володіють вираженими загальтоксичними властивостями, але і дають віддалені ефекти: ембріотоксичний, мутагенний, канцерогенний [8, 9].

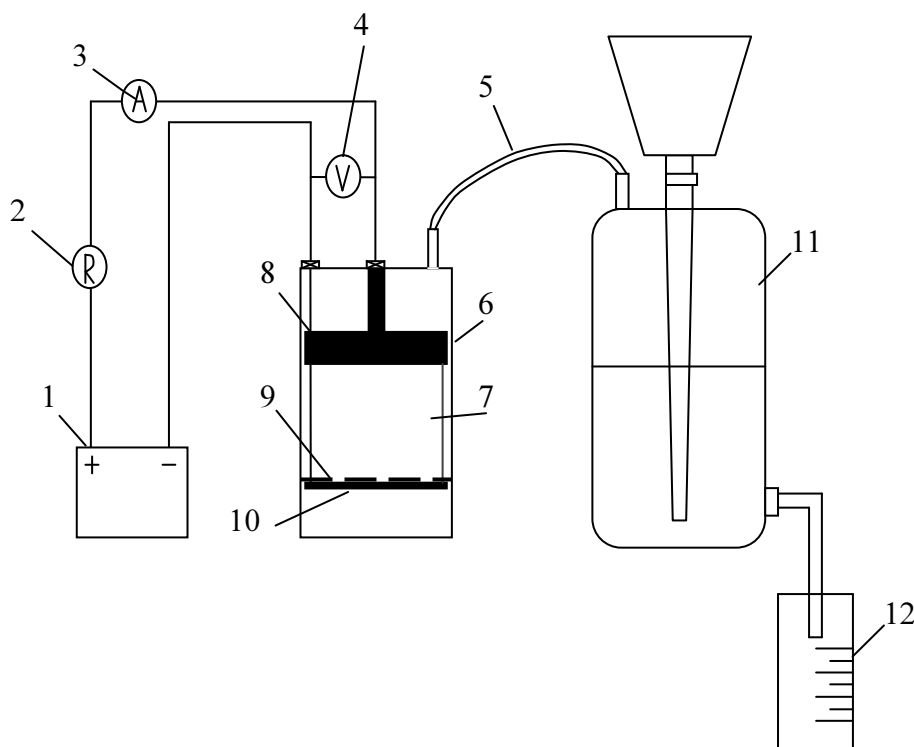
Використовувані в даний час хімічні і фізичні способи знезаражування води за низкою істотних показників не відповідають сучасним гігієнічним вимогам. Недоліки традиційних способів очищення питної води змушують шукати нові шляхи знезаражування води.

**Постановка задачі.** Як альтернативу існуючим методам для знезараження води планується застосування суміші оксидантів, отримання яких за спеціальною нескладною електрохімічною технологією є метою даної роботи.

**Результати роботи.** Для отримання суміші оксидантів з метою знезараження води в лабораторних умовах було сконструйовано експериментальний електролізер (рис.1), в якому використовували хлорид натрію та хлорид калію. Проходження електричного струму через розчин супроводжується ланцюгом електрохімічних реакцій, в результаті яких у воді утворюються нові речовини й змінюється структура міжмолекулярних взаємовідносин [10].

Схема лабораторної установки для дослідження технології одержання хлору складається із джерела струму, що подає постійний струм силою до 5А. Регулювання сили струму здійснюється за допомогою резистора та показаннями амперметра і вольтметра. Струм проходить через катод та анод електролізера, які відокремлені діафрагмою. Газова суміш, що виділяється під дією струму на розчин солі з електролізера, від-

водиться за допомогою трубки у газометр. Кількість утвореної газової суміші відповідає об'єму витісненої рідини із газометра у мірний циліндр. Технічна характеристика установки електролізу представлена у табл.1.



1 – джерело струму; 2 – резистор; 3 – амперметр; 4 – вольтметр; 5 – трубка для проходження газової суміші; 6 – електролізер; 7 – розчин солі; 8 – анод; 9 – діафрагма; 10 – катод; 11 – газометр; 12 – мірний циліндр

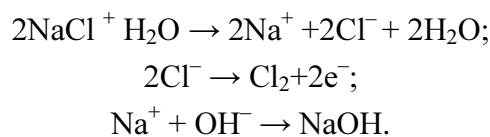
Рисунок 1 – Схема лабораторної установки електролізу для одержання хлору та інших оксидантів

Таблиця 1 – Технічні характеристики установки електролізу

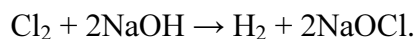
№ п/п	Найменування	Технічні параметри	Матеріал
1	Блок живлення	5А	-
2	Резистор	19 Ом ±10%	-
3	Амперметр	0 ÷ 3А	-
4	Вольтметр	0 ÷ 10В	-
5	Електролізер	$V = 10^{-3} \text{ м}^3$ $V_{\text{розсолу}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	Корпус – скло; кришка – сталь 3
6	Катод	$D = 0,075 \text{ м}$	Сталь 20
7	Анод	$D = 0,075 \text{ м}$ $H = 0,01 \text{ м}$	Графіт
8	Діафрагма	$D = 0,1 \text{ м}$	Азбест

На прикладі з хлоридом натрію, який більш зручний та економічний для застосування, реакція утворення хлору наступна. Сіль, розчинена у воді (концентрація NaCl складає 300-310 г/л), під час електролізу на аноді формувала хлор, а на катоді утворю-

вався гідроокис натрію (концентрація NaOH складає 100-110 г/л). Напруга в електролізері підтримувалася близько 4 В.

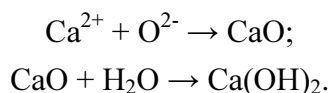


Ця реакція нетривала, бо хлор, сформований на аноді, швидко використовується для утворення гіпохлориду натрію.

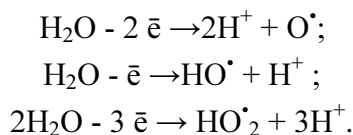


Таким чином в процесі електролізу води генерується суміш потужних окислювачів.

Супровідним позитивним чинником використання електролізу є зменшення жорсткості води. Під час електролізу в електромагнітному полі воднева частина води притягується до катоду, а киснева частина – до аноду. Це призводить до послаблення й навіть розриву водневих зв'язків у молекулі води та сприяє утворенню атомарного кисню, наявність якого у воді сприяє зменшенню її жорсткості, бо гідрат окису кальцію досить добре розчиняється у воді [11].

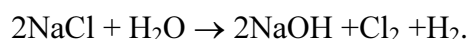


З невеликим виходом за струмом протікають реакції утворення сполук активного кисню:

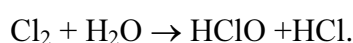


Отриманий розчин оксидантів являє собою безбарвну прозору рідину із рівнем рН = 2,5 ± 0,5 та із запахом хлору. Основною діючою антимікробною речовиною в розчині оксидантів є хлорноватиста кислота, що утворюється при взаємодії хлору з водою, а також розчинений хлор і діоксид хлору. Ці речовини становлять більше 98 % всіх речовин в розчині оксидантів при їх загальній концентрації 1 г/дм<sup>3</sup>.

Практично процес електролізу протікає при високих потенціалах, з перенапруженням. Перенапруження, тобто різниця між істинним і теоретичним значенням потенціалів розкладу, залежить від багатьох чинників: матеріалу електрода, щільності струму, характеру поверхні електрода, температури електроліту. Під час електролізу хлориду натрію в просторі над залізним катодом виділявся водень, потенціал розрядження якого більш позитивний, ніж натрію, а в анодному просторі накопичувався луг. Водночас на графітовому аноді йшов процес виділення хлору, бо іон OH<sup>-</sup> не розряджався внаслідок перенапруження кисню. Таким чином, напрямок процесу в електролізі часто визначається перенапруженням. Сумарно процес електролізу можна виразити рівнянням:



При цьому хлор може розчинятися в воді з утворенням двох кислот:



За наявності луку рівновага легко зсувається праворуч з утворенням NaClO. Тому необхідно поділяти електролізер на анодний і катодний простір за допомогою пористої перегородки. На рис.2 показано залежність кількості утвореної суміші газів від зміни відстані між катодом і анодом (зменшення або збільшення катодного простору), яка

отримана лабораторно-практичним шляхом.

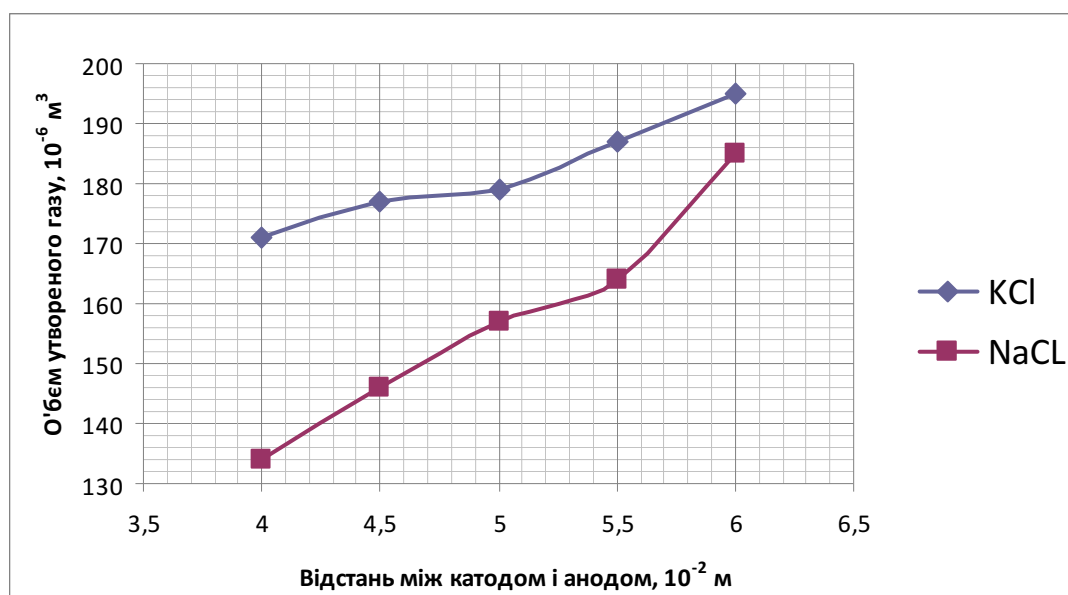


Рисунок 2 – Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни відстані між катодом і анодом

Концентрація лугу біля катода збільшувалася по мірі протікання процесу, в той час як концентрація кислоти в анодному просторі була постійною й змінювалася лише при зміні температури електроліту. На рис.3, 4 наведено залежності об'єму утвореної суміші газів відповідно від зміни температури електроліту та сили струму.

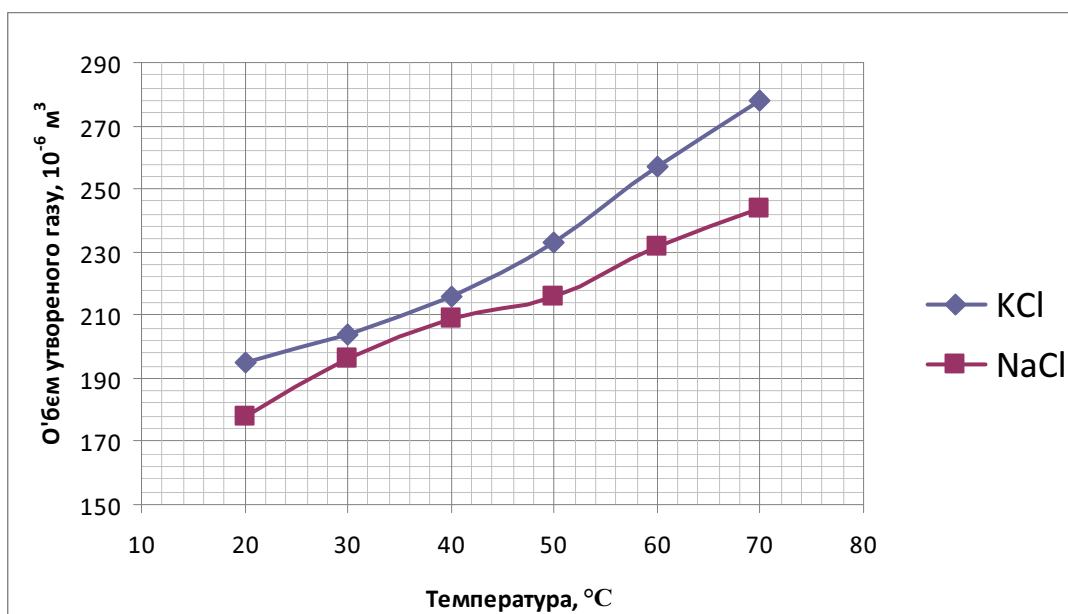


Рисунок 3 – Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни температури електроліту

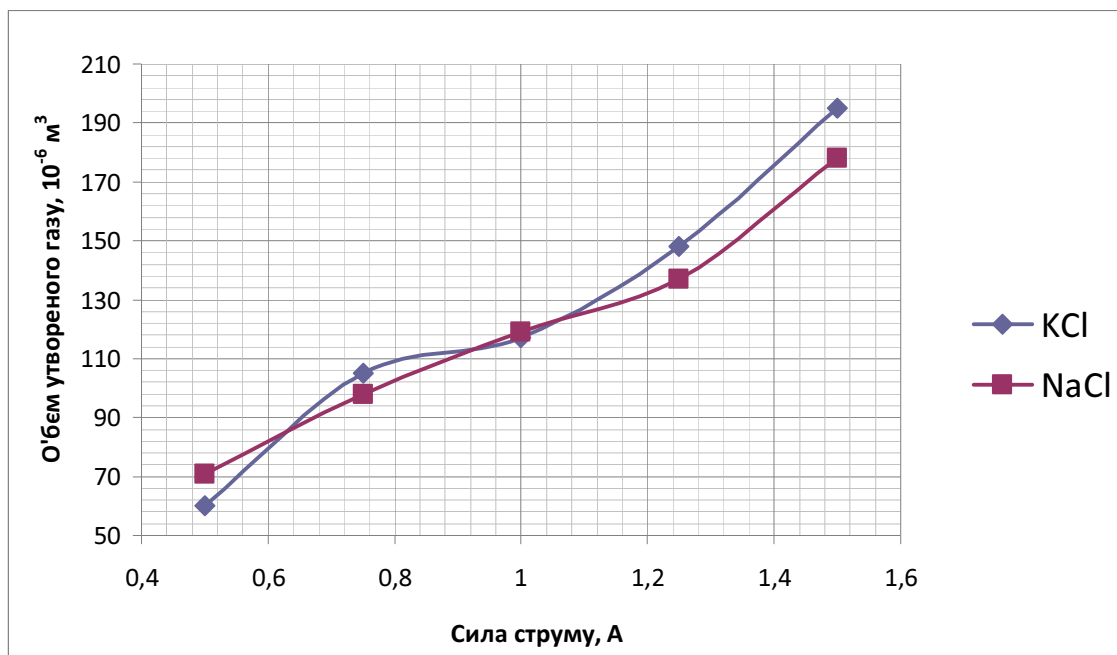


Рисунок 4 – Залежність об'єму утвореної суміші газів від зміни сили струму

### Висновки.

1. Знезаражування води прямим електролізом є різновидом окислювальної обробки води, який кардинально відрізняється від поширених методів знезаражування тим, що окислювачі виробляються з самої води, а не додаються ззовні й, виконавши необхідну функцію, не утворюють небажаних речовин. Ефективність знезаражування води прямим електролізом, на наш погляд, в декілька разів вища порівняно з хімічними методами. Для прямого електролізу не потребуються дозуючі насоси й використання реагентів. Хлор, необхідний для попередження вторинного бактеріального забруднення води в розподільчих мережах, активується з природних мінеральних солей, що містяться у воді, а потім швидко в ній розчиняється. Прямий електроліз руйнує хлораміни та перетворює їх в азот й сіль. Значний економічний ефект також присутній, бо відомо, що в собівартість питної води для споживачів закладена суттєва складова – електрична енергія (від 50 до 70% залежно від географічного розташування водопідготовчих підприємств та характеристик насосного обладнання). А на генерацію хлору прямим електролізом витрачається менше електроенергії, ніж при традиційних технологіях очистки води.

2. Аналіз проведених досліджень показав, що, змінюючи температуру електроліту й силу струму при оптимальному співвідношенні катодного та анодного простору, можливо отримувати необхідну кількість суміші газів оксидантів.

3. Максимальне збільшення виходу суміші оксидантів отримано при збільшенні щільності струму. Зміна температури розсолу також значно впливає на вихід отриманої газової суміші. Але великі значення зазначених параметрів негативно впливають на матеріал електродів, що також потрібно враховувати.

В подальшому планується дослідити вплив оксидантів, отриманих шляхом електролізу, на кінцевий хімічний склад питної води та прорахувати собівартість питної води при умові використання оксидантів замість реагенту хлору (на прикладі умов очи-

щення води підприємством КП ДОР «Аульський водовід», Дніпропетровська область, Україна).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Никоненко П.Н. Вода как источник инфекционных заболеваний / П.Н.Никоненко, В.И.Белойваненко, Н.И.Кулишов // Медицинские вести. – 1997. – №3. – С.14-15.
2. Зайцева О.В. Проблемы совершенствования очистки промышленных сточных вод / О.В.Зайцева, Ю.К.Резуненко // Медицина сегодня и завтра. – 2000. – №4. – С.147-150.
3. Гончарук В.В. Современное состояние проблемы обеззараживания воды / В.В.Гончарук, Н.Г.Потапченко // Химия и технология воды. – 1998. – №2. – С.190-217.
4. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л.Л.Пасль, Я.Я.Кару, Х.А.Мельдер, Б.Н.Репин. – М.: Медицина, 1994. – С.360.
5. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды / Л.А.Кульский. – К.: Здоровье. – 1991. – С.325.
6. Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды / Ю.А.Рахманин, З.И.Жолдакова, Е.Е.Полякова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2004. – №1. – С.449-458.
7. Биотехнология в подготовке питьевой воды / В.В.Гончарук, А.С.Гордиенко, Л.И.Глоба, П.И.Гвоздяк // Химия и технология воды. – 2003. – №4. – С.363-374.
8. Чичирова Н.Д. Технологии очистки воды и смежные проблемы химической технологии и теплоэнергетики / Н.Д.Чичирова, И.В.Евгеньев // Химия и компьютерное моделирование: бутлеровские сообщения. – 1999. – №2. – С.1-8.
9. Крисник-Кинней Е. Влияние хлорирования очищенных сточных вод на различные группы колиформных бактерий / Е.Крисник-Кинней // Химия промышленных сточных вод. – М.: Химия. – 1983. – С.146-152.
10. Кудрявцев Н.Т. Практикум по прикладной электрохимии: уч. пособ. для вузов / Кудрявцев Н.Т.; под ред. Кудрявцева Н.Т. – Л.: Химия, 1980. – 288с.
11. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А.Кульский, П.П.Строкач. – К.: Вища школа, 1981. – 327с.

*Надійшла до редколегії 10.09.2011.*