

У статті розглянуто питання створення номограм для оперативного контролю стічних вод на основі виявлених математичних залежностей між окремими показниками. Актуальність обумовлена тим, що деякі точні методи виявляються надто тривалими і не забезпечують своєчасне здійснення управлінських дій на каналізаційно-очисній станції. Розроблено два алгоритми створення номограм для контролю якості стічної води

Ключові слова: оперативний контроль якості, прозорість, концентрація завислих речовин, номограма, стічні води

В статье рассмотрен вопрос создания номограмм для оперативного контроля сточных вод на основе выявленных математических зависимостей между отдельными показателями. Актуальность обусловлена тем, что некоторые точные методы выявляются слишком продолжительными и не обеспечивают своевременное выполнение управленческих действий на канализационно-очисной станции. Разработано два алгоритма создания номограмм для контроля качества сточной воды

Ключевые слова: оперативный контроль качества, прозрачность, концентрация взвешенных веществ, номограмма, сточные воды

УДК 658.562: 628.34

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47291

РОЗРОБКА НОМОГРАМ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ СТІЧНИХ ВОД

Ю. В. Шатохіна

Кандидат технічних наук, викладач
Кафедра управління якістю та проектами
Чернігівський національний
технологічний університет
вул. Шевченка, 95,
м. Чернігів, Україна, 14027
E-mail: Juliaaabest@gmail.com

1. Вступ

Захист поверхневих водойм від забруднення стічними водами є актуальною проблемою як в Україні, так і в інших країнах світу, на вирішення якої направлені численні законодавчі і нормативні документи. Виявляється [1], що традиційні методики не завжди задовольняють персонал очисних станцій за таким показником, як тривалість проведення аналізу, а відсутність контролю на окремих етапах очищення стічних вод впливає на якість процесу і забруднення довкілля.

Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» передбачає у ст.20 [2] поширення метрологічного контролю на стан довкілля. Показники стічної води, які потрібно контролювати для попередження забруднення довкілля, вказано в діючих «Правилах охорони поверхневих вод...» [3]. Особливу увагу приділено у Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» екологічній безпеці довкілля, зокрема, при застосуванні хімічних, токсичних речовин (ст. 52), а саме такими речовинами наповнені стічні води, якість очищення цих вод є незадовільною [4]. На станціях очищення для контролю стічних вод використовуються як вітчизняні стандарти, так і міжнародні стандарти, гармонізовані в Україні [5], але їх виявляється замало для суттєвого захисту довкілля від забруднення стічними водами. Вважається, що поліпшенню ситуації сприятиме впровадження екологічних стандартів [6, 7], а також сучасних технологій очищення з використанням якісних коагулянтів, флокулянтів [8]. Особливу увагу приділяють впровадженню корпоративної соціальної відповідальності за ISO 26000, тому що зростання кількості забрудників у

стічній воді приводить до неможливості перетворення її у чисту питну воду [9, 10].

Загальнодержавна програма «Питна вода України» на період до 2020 року визнає необхідність вдосконалення контролю лабораторіями каналізаційно-очисних станцій за якістю вод. Виявляється, що деякі етапи очищення стічних вод забезпечені точними, але надто тривалими методами контролю окремих показників [1], тому незважаючи на велику кількість стандартизованих методів [5] в літературних джерелах приділяється увага розробці саме оперативних методів-оптичних, електричних, біологічних.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В літературних джерелах представлені різноманітні методи, які можна віднести до оперативних [5, 11–18].

Найбільш досліджені оптичні методи дозволяють проводити вимірювання неоднорідних (світлорозсіювальних) середовищ за допомогою вимірювання оптичних параметрів конкретної проби [11–13]. Використовуються закономірності зміни коефіцієнта поглинання залежно від молярної концентрації згідно закону Бера, інтенсивності розсіяного світла залежно від показників заломлення забруднюючих часточок, їх об'єму і чисельної концентрації згідно рівняння Релея, зміна показника заломлення згідно рівняння Курнца та інші [13]. При використанні рефрактометричного і інтерферометричного метода вимірюється коефіцієнт заломлення, при поляризаційному і люмінесцентному методі вимірюється оптична активність, при абсорбційно-оптичному методі вимірюється поглинання,

при використанні нефелометричного і турбідиметричного метода вимірюється розсіювання. Для контролю водно-дисперсних середовищ найдоцільнішим є застосування автоматизованих засобів контролю, які є сукупністю вимірювальних, обчислювальних і реєструвальних засобів [11]. Ці методи вдосконалюються, існує можливість контролю в режимі реального часу, але потрібно визнати, що суттєвим чинником, який стримував (і з урахуванням економічної ситуації в регіонах поки буде стримувати) впровадження цих методів у лабораторіях каналізаційно-очисних станцій, є висока вартість обладнання. Тому лабораторії потребують наявності і експрес-методів, зручних і недорогих.

Електричні методи контролю рідин [14] дозволяють оперативно визначати електричні параметри, що відповідають нормованим концентраціям складників. При дослідженні рідин з контрольованою речовиною, що збільшує питому електропровідність рідини (електроліт), встановлено існування єдиної частоти, при якій реактивна складова провідності для відповідного діапазону приймає певне єдине значення, що дозволяє використати цю інформацію для контролю. Таким чином, електричні методи мають переваги щодо можливості автоматизації, тривалості, але потребують попереднього визначення властивостей компонента. Використання цих методів потребує не тільки вказаної підготовки, а і дотримання користувачами каналізаційно-очисної станції встановлених правил, відсутності залпових скидів невідомих речовин для забезпечення стабільності вхідного потоку [15].

Біологічні методи контролю є найменш точними, але їх використання у гідробіологічному контролюванні виявляється більш оперативним і чутливим для загальної оцінки процесу очищення стічних вод, дозволяє виявити виникнення неочікуваних забруднювачів. Останнім часом в усьому світі поширюється використання біоіндикаторів, наприклад, ДСТУ 4168-2003 (ISO 14669:1999) – використання ракоподібних, ДСТУ 4074-2001 (ISO 7346-1:1996) та ДСТУ 4076-2001 (ISO 10253:1995) – використання риб, ДСТУ 4167-2003 (ISO 10253:1995) – використання водоростей та інші [5, 16, 17].

Підсумовуючи проведений аналіз літературних джерел [5, 11–18], виявляємо, що розглянуті оптичні і електричні методи з вказаних причин не використовуються на станціях очищення стічних вод, а біологічні методи [5, 16, 17] мають певні обмеження, використовуються або для визначення безпечності питної води, або для контролю стану гідробіонтів під час біологічного очищення стічної води. Для реагентного очищення стічної води біологічні методи не використовуються і проблема створення експрес-методу залишається невирішеною і актуальною.

Виявляється доцільним спільне використання точних тривалих методів та оперативних методів, які дозволяють своєчасно здійснювати управлінські дії. Наприклад, оперативне визначення концентрації завислих речовин дозволяє своєчасно визначити необхідну кількість коагулянту при реагентному очищенні стічних вод і попередити подальше забруднення поверхневих водоймі, у які скидається очищена або недостатньо очищена стічна вода. Остаточний контроль стічної води на виході із очисної станції за норма-

ними [3] показниками, зрозуміло, повинен здійснюватися з використанням точних тривалих методів.

Використання запропонованого авторами експрес-метода (рис. 1), який базується на виявленій для конкретної очисної станції залежності між концентрацією завислих речовин у стічній воді і її прозорістю, дозволяє суттєво прискорити цей процес, а максимальна відносна похибка визначення концентрації завислих речовин, отримана протягом трьох місяців на каналізаційно-очисній станції м. Славутич, дорівнювала 22 % [18].

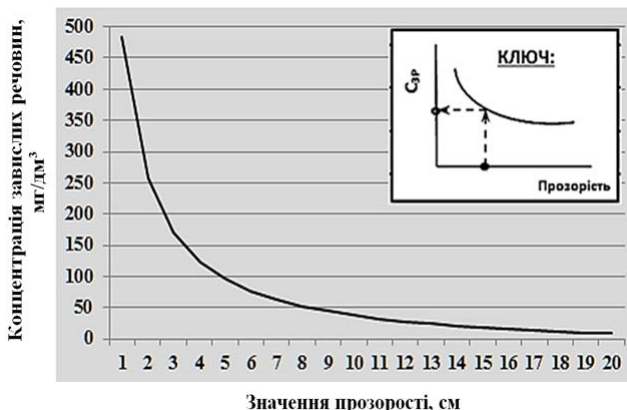


Рис. 1. Елементарна номограма визначення концентрації завислих речовин стічної води за її прозорістю

Враховуючи нестабільність вхідної стічної води, встановлену у попередніх дослідженнях [15], подальшого розвитку цей метод потребує щодо періодичного перегляду математичних залежностей, які використовуються для побудови номограм.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є розробка номограм для оперативного контролю стічної води.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання:

- визначити показники, пов'язані суттєвою залежністю;
- розробити алгоритм побудови номограм.

4. Матеріали та методи дослідження щодо побудови номограм для оперативного визначення концентрації завислих речовин у стічній воді залежно від її прозорості

Дослідження залежності між концентрацією завислих речовин у стічній воді і її прозорості проведено з використанням вибірки експериментальних даних з 106 вимірів кожного з розглянутих показників, отриманих на каналізаційно-очисній станції м. Славутич (Україна) [18–20].

Аналітичні дослідження щодо виявлення математичних моделей залежностей між показниками стічної води, розрахунки виконувались із застосуванням процесора Microsoft Excel 7.0. Для обробки отриманих даних з використанням наведених формул застосову-

ються електронні таблиці Excel. Для підбору графіків за допомогою метода найменших квадратів застосувались «Пакет аналізу», «Гістограма», «Регресія». Номограми побудовано з використанням рекомендацій [21].

5. Результати досліджень показників прозорості та концентрації завислих речовин стічної води на каналізаційно – очисних станціях

У проведених дослідженнях [18] було встановлено залежність між такими показниками стічної води як концентрація завислих речовин і прозорість, що використовується у даній роботі для розробки алгоритму побудови номограм. Варіант номограми залежить від обраних параметрів і допоміжних функцій. У статті розглянуто два варіанти співвідношення між прозорістю стічної води і концентрацією завислих речовин, що забезпечує два варіанти алгоритму побудови.

Алгоритм побудови першої номограми, представлена на рис. 1, – визначення показника концентрації завислих речовин (С_{зр}) від прозорості (Пр) стічної води через обернену функцію прозорості, складається з трьох основних етапів:

1. Визначення залежності між показниками прозорості стічної води на очисній станції і концентрацією завислих речовин через обернену функцію прозорості на основі репрезентативної вибірки з отриманням наступного рівняння:

$$C_{зр} = -108,06 \cdot m^2 + 613,84 \cdot m - 22,122, \quad (1)$$

де $m = 1/Пр$ $m = 1/Пр$.

Коефіцієнт детермінації визначеного рівняння $R^2 = 0,82$.

2. Розрахунок за визначеною теоретичною залежністю С_{зр} в діапазоні значень концентрації завислих речовин, типових для очисної станції.

3. Нанесення на паперовий носій графічної залежності $C_{зр} = f(Пр)$ і ключа користування, надання отриманої елементарної номограми користувачам.

Алгоритм побудови другої номограми – визначення показника концентрації завислих речовин від прозорості стічної води через проміжну функцію $y = \ln(C_{зр})$, складається з чотирьох основних етапів:

1. Для визначення апроксимуючої функції розраховуємо середні значення концентрації завислих речовин при однакових величинах прозорості і будуємо графічну залежності концентрації завислих речовин від прозорості (рис. 2).

2. Використовуємо проміжну функцію $y = \ln(C_{зр})$, що забезпечує поліпшення опису в області великих концентрацій завислих речовин від прозорості стічної води (в зв'язку з тим, що при малих показниках прозорості експериментальні значення С_{зр} круто зростають). Знаходження апроксимуючої функції для залежності $\ln(C_{зр}) = f(Пр)$ проведено за допомогою діаграм таблиці Excel методом найменших квадратів, отримуємо рівняння залежності логарифму концентрації завислих від величини прозорості:

$$\ln(C_{зр}) = -1,1664 \cdot \ln(Пр) + 6,2562, \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації визначеного рівняння $R^2 = 0,88$.

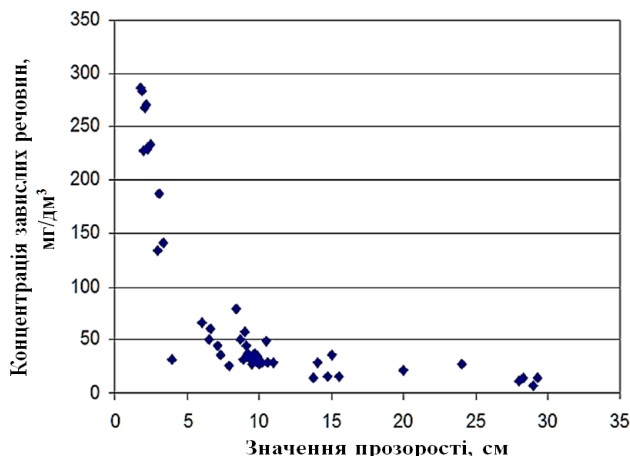


Рис. 2. Співвідношення між показниками середніх значень концентрації завислих речовин і прозорістю стічної води

3. Здійснюємо розрахунки на підставі отриманого рівняння даних, необхідні для побудови номограми, яка б зв'язувала концентрацію завислих речовин з прозорістю стічної води і будуємо допоміжну таблицю даних, яка містить наступні показники:

- а) Показник прозорості стічної води в обраному діапазоні;
- б) Показник $\ln(C_{зр})$, розрахований за рівнянням (2);
- в) Показник $\exp[\ln(C_{зр})]$, розрахований за рівнянням (3).

Для переводу логарифму концентрації завислих $\ln(C_{зр})$ у концентрацію завислих речовин використовуємо експоненціальну залежність:

$$\exp[\ln(C_{зр})] = C_{зр}. \quad (3)$$

Вказані розраховані величини представлені у таблиці 1, яка охоплює весь діапазон експериментальних даних щодо прозорості стічної води.

4. Будуємо за даними табл. 1 номограму, представлену на рис. 3. Використовуємо для побудови номограми таблиці Excel, а саме нестандартні графіки (дві осі), переваги цієї опції у тому, що вона розтягує діапазон даних на початку номограми, перетворюючи пряму лінію, що відображає зміну прозорості, в ламану, поліпшуючі точність визначення концентрації завислих речовин в області, де зустрічається більшість аналізів. На номограмі показано ключ для отримання показника концентрації завислих речовин від прозорості стічної води при експрес-аналізі.

Запропонований підхід до експрес-контролю С_{зр} забезпечує отримання оперативної інформації і прийняття своєчасних рішень на основі попередньо підготовлених даних у вигляді певної номограми.

Приведений у статті алгоритм побудови номограми може бути застосований для стічних вод, в яких виявляється суттєва залежність між показниками.

Таблиця 1

Розраховані дані для побудови номограми засобами пакету Excel

Пр	ln(C _{зр})	Exp[ln(C _{зр})]	Пр	ln(C _{зр})	Exp[ln(C _{зр})]	Пр	ln(C _{зр})	Exp[ln(C _{зр})]
1,6	5,7920	327,6598	6,8	4,1049	60,6348	18	2,9698	19,4885
1,8	5,6546	285,6139	7	4,0711	58,6196	18,5	2,9379	18,8758
2	5,5318	252,5958	7,2	4,0382	56,7254	19	2,9068	18,2979
2,2	5,4207	226,0280	7,4	4,0063	54,9418	19,5	2,8765	17,7520
2,4	5,3192	204,2211	7,6	3,9752	53,2597	20	2,8470	17,2356
2,6	5,2259	186,0236	7,8	3,9449	51,6707	20,5	2,8182	16,7464
2,8	5,1395	170,6242	8	3,9154	50,1677	21	2,7901	16,2824
3	5,0590	157,4358	8,5	3,8447	46,7439	21,5	2,7627	15,8418
3,2	4,9838	146,0233	9	3,7780	43,7301	22	2,7358	15,4228
3,4	4,9131	136,0575	9,5	3,7150	41,0583	22,5	2,7096	15,0239
3,6	4,8464	127,2853	10	3,6552	38,6747	23	2,6840	14,6438
3,8	4,7834	119,5087	10,5	3,5983	36,5359	23,5	2,6589	14,2811
4	4,7236	112,5706	11	3,5441	34,6069	24	2,6344	13,9348
4,2	4,6667	106,3453	11,5	3,4922	32,8589	24,5	2,6103	13,6038
4,4	4,6124	100,7305	12	3,4426	31,2681	25	2,5868	13,2871
4,6	4,5606	95,6426	12,5	3,3950	29,8147	25,5	2,5637	12,9838
4,8	4,5110	91,0122	13	3,3493	28,4819	26	2,5411	12,6931
5	4,4634	86,7817	13,5	3,3053	27,2557	26,5	2,5188	12,4143
5,2	4,4177	82,9024	14	3,2629	26,1241	27	2,4971	12,1467
5,4	4,3737	79,3334	14,5	3,2219	25,0768	27,5	2,4757	11,8895
5,6	4,3313	76,0396	15	3,1824	24,1049	28	2,4546	11,6424
5,8	4,2903	72,9911	15,5	3,1442	23,2007	28,5	2,4340	11,4045
6	4,2508	70,1621	16	3,1072	22,3575	29	2,4137	11,1756
6,2	4,2126	67,5302	16,5	3,0713	21,5695	29,5	2,3938	10,9551
6,4	4,1756	65,0760	17	3,0365	20,8316	30	2,3742	10,7425
6,6	4,1397	62,7825	17,5	3,0027	20,1393	30,5	2,3549	10,5374

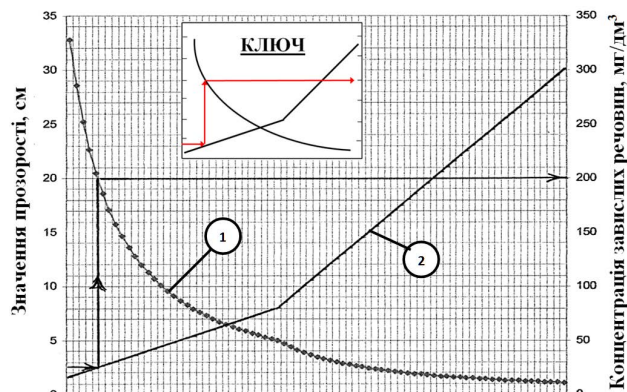


Рис. 3. Номограма залежності концентрації завислих речовин від прозорості: 1 – $\exp[\ln(C_{зр})] = C_{зр}$;
 2 – $\ln(C_{зр}) = -1,1664 \cdot \ln(Пр) + 6,2562$

6. Обговорення результатів дослідження показників концентрації завислих речовин стічної води на каналізаційно – очисних станціях з використанням номограм

Проведені дослідження визначення концентрації завислих речовин у стічній воді через її прозорість за допомогою попередньо побудованих номограм для використання на каналізаційно-очисних станціях дозволяють суттєво прискорити процес контролю та оперативні дії персоналу з урахуванням здійснених

вимірювань. Якщо визначення концентрації завислих речовин традиційним точним методом згідно РНД 03-05-2002 «Методика виконання вимірювань масової концентрації завислих речовин» триває 6–8 годин, після чого ще дві години триває реагентне очищення стічних вод, то існує загроза потрапляння забруднених вод у поверхневі водойми, тому що мінімальний час знаходження стічних вод на очисній станції м. Славутич лише 7 годин. Використання запропонованих номограм потребує вимірювання показника прозорості стічної води за допомогою шрифту Шнеллена згідно ГОСТ 3351-74 [19] і в умовах очисної станції м. Славутич (Україна) забезпечило зменшення тривалості контролю до 30 хвилин. Перевірка метода в умовах вказаної каналізаційно-очисної станції виявила, що порівняно з хімічним методом запропонований метод забезпечував відносну похибку від 2,5 до 22 % залежно від забрудненості вод. При визначенні ефективності використання розроблених номограм потрібно враховувати перш за все отриману можливість своєчасного управління процесом очищення стічних вод. Комплексне використання точних і експрес-методів сприятиме поліпшенню процесу очищення стічних вод.

7. Висновки

1. Розроблено з використанням обраних допоміжних функцій два алгоритми побудови номограм для експрес-метода контролю концентрації завислих речо-

вин стічної води за показником її прозорості: алгоритм за умови використання в якості допоміжної оберненої функції прозорості і рівняння $C_{зр} = -108,06m^2 + 613,84m - 22,122$, (де $m=1/Пр$) з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,82$; алгоритм з використанням в якості допоміжної логарифмічної функції і рівняння $\ln(C_{зр}) =$

$= -1,1664 \ln(Пр) + 6,2562$, з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,88$.

2. Приведені алгоритми можуть бути застосовані для побудови номограм до експрес-методів оцінювання стічних вод, в яких виявляється суттєва залежність між показниками.

Література

1. Shatokhina, J. Features of control of wastewater [Text] / J. Shatokhina, A. Kovalev // Collection of international scientific papers «Ukraine. EU. Modern technology business and law». – Kosice, Slovakia, 2015. – Part 2. – P. 37–39.
2. Про метрологію та метрологічну діяльність [Текст]: Закон України від 15 червня 2004 р. № 1765-ІУ // Відомості Верховної Ради. – 2004. – № 37. – ст. 449.
3. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 № 465. – Режим доступу: \www/URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/465-99-п>
4. Про охорону навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ. – Режим доступу: \www/URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/ed20121118>
5. Почечайлова, Л. П. Чинні національні стандарти в галузі водопостачання, водовідведення та якості води відповідно до каталогу нормативних документів – 2010 [Текст] / Л. П. Почечайлова, В. Кожедуб // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 3. – С. 59–72.
6. ISO 14001-2004. Environmental management systems-Requirements with guidance for use [Electronic resource]. – 15 Nov 2004. – Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.5555/iso14001:2004>
7. ISO 14004-2004. Environmental management systems-General guidelines on principles, systems and support techniques [Electronic resource]. – 15 Nov 2004. – Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.5555/iso14004:2004>
8. BS EN 12255-13:2002 Wastewater treatment plants. Chemical treatment. Treatment of wastewater by precipitation/flocculation [Electronic resource]. – 24.07.2003. – Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.3403/02856145>
9. BS ISO 26000:2010 Guidance on social responsibility [Electronic resource]. – 30.11.2010. doi: 10.3403/30140726
10. Guidelines for Drinking-Water Quality [Text]. Vol. 1: Recommendations. – Ed. 4. – Geneva, Switzerland: WHO, 2011. – 564 p.
11. Петрук, В. Г. Розробка системи контролю світлорозсіювальних характеристик водних середовищ [Текст] / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк, М. Турчик, Н. В. Лопатинська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2006. – № 5. – С. 22–29.
12. Петрук, В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика вимірювального контролю) [Текст] / В. Г. Петрук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 207 с.
13. Семака, О. М. Дослідження оптичних аспектів забруднення довкілля [Текст] / О. М. Семака, Ю. В. Іванова, О. О. Ярошенко // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету. – 2010. – № 42. – С. 270–274.
14. Міхалева, М. С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним методом [Текст] / М. С. Міхалева // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування. – 2010. – № 665. – С. 169–173.
15. Шатохіна, Ю. В. Якість процесу очищення стічних вод як функція складу вхідного потоку [Текст] / Ю. В. Шатохіна, Л. М. Клінцов, О. М. Шкінь, Н. С. Мазюк // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – № 1/1 (9). – С. 36–38. – Режим доступу: \www/URL: <http://journals.urau.ua/article/view/12179>
16. Спосіб оцінки якості очищення стічних вод в аеротенках [Електронний ресурс]: Патент України № 76336, МПК (2012.01) GO1N 33/18 / Шатохіна Ю. В., Зєнкін А. С., Мазюк Н. С. – № у 2012 09944; заявл. 17.08.2012; публ. 25.12.2012, Бюл. № 24. – Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/5-76336-sposib-ocinki-yakosti-ochishhennya-stichnikh-vod-v-aerotenkakh.html>
17. Шатохіна, Ю. Контроль функціонування аеротенку за фізичними показниками нитчастих бактерій [Текст] / Ю. Шатохіна // Метрологія та прилади. – 2013. – № 2 (40). – С. 60–63.
18. Шатохіна, Ю. В. Дослідження кореляції між показниками стічної води для оперативного контролю ХСК і завислих речовин [Текст] / Ю. В. Шатохіна, О. В. Ковальов // Енергетика і автоматика. – К.: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2014. – № 2. – С. 50–60.
19. Прозрачность, определение с помощью шриффа [Текст]: сборник СЭВ // Унифицированные методы исследования качества вод. – М., 1987. – Ч. 1. – С. 750–752.
20. РНД 03-05-2002.Методика виконання вимірювань масової концентрації завислих речовин [Текст] / Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства. – К., 2004. – С. 31–40.
21. Хованский, Г. С. Основы номографии [Текст] / Г. С. Хованский. – М.: Наука, 1976. – 352 с.