

В.М. Жук, В.Г. Павлишин
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

ВИКОРИСТАННЯ НАФТОВЛОВЛЮВАЧІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ

© Жук В.М., Павлишин В.Г., 2011

Проаналізовано відомі конструктивні особливості нафтовловлювачів різних типів, які використовуються для очищення поверхневого стоку. Визначено основні переваги та недоліки цих споруд. Окреслено проблеми щодо наукової обґрунтованості методів гідравлічного розрахунку нафтовловлювачів новітніх конструкцій.

Ключові слова: сепаратор нафтопродуктів, коалесцентний модуль.

The analysis of structural features of the oil separators of different types which are used for the stormwater treatment is presented. Basic advantages and lacks of these structures are defined. Main problems of the scientific substantiation of methods of oil separator hydraulic calculation are discussed.

Key words: oil separator, coalescing cartridge.

Постановка проблеми. Поверхневий стік з міських територій містить значну кількість забруднень, які згубно впливають на стан водних об'єктів. Значна частина поверхневого стоку не відповідає вимогам щодо скидання зворотних вод у природні водойми. В умовах розвитку промисловості поверхневі стічні води містять не тільки завислі речовини та органічні забруднення, а й сполуки азоту, фосфору, іони важких металів, СПАР, нафтопродукти та ін. Нафтопродукти є одним із найтипівіших забрудників дощового стоку; вони є небезпечними з екологічного погляду та важко піддаються очищенню. З огляду на це, розроблення нових та удосконалення наявних технологій очищення дощових стічних вод від нафтопродуктів є актуальним технічним та природоохоронним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблем очищення дощового стоку від нафтопродуктів присвячені численні наукові праці вітчизняних та закордонних вчених, серед яких найвідомішими є роботи А.М. Когановського, М.В. Молокова, М.В. Демури, А.И. Жукова, Е.А. Стахова, В.Г. Иванова, А.И. Демкова, Л.Д. Лурье, J.M. Montgomery, S. Kirby, P.E. Mohr, W. Rommel, E. Blass, W. Meon та ін. [2, 3, 5, 7–16]. За останні десятиліття розроблено нові типи споруд для очищення поверхневого стоку. Проте залишаються не вирішеними багато питань щодо оптимізації гідравлічного режиму роботи цих споруд, існує значна кількість розбіжностей щодо самої конструкції споруд для очищення поверхневого стоку від нафтопродуктів.

Метою роботи є аналіз конструктивних особливостей споруд нафтовловлювачів, принципу дії та методів гідравлічного розрахунку цих споруд.

Концентрації нафтопродуктів у поверхневому стоці та вимоги до очищення. Важливою природоохоронною проблемою є очищення поверхневого стоку від забруднення нафтопродуктами. Це пояснюється тим, що, потрапляючи у водойми, нафтопродукти мають властивість поширюватися на значні площі. Основними особливостями, що визначають поведінку нафтопродуктів у воді, є їх менша порівняно з водою густина (бензин 0,70–0,76 кг/м³, дизельне

пальне 0,80–0,90 кг/м³, мазути 0,94–1,00 кг/м³) та мала розчинність у воді. Як відомо, більшість нафтопродуктів, що потрапили у воду, знаходяться там здебільшого у грубодисперсному стані, утворюючи на поверхні плаваючі плівки. Проте частина нафтопродуктів утворює з водою емульсії, що значно ускладнює процес їхнього видалення. Проблема ускладнюється також тим, що процес самоочищення водойм від нафтопродуктів відбувається дуже повільно.

Одним із найважливіших показників при проектуванні каналізаційних очисних споруд є концентрації забруднювальних речовин на вході в споруду. Згідно з чинним в Україні нормативним документом [1], розрахункові концентрації завислих речовин та нафтопродуктів у поверхневому стоці з територій населених пунктів і промислових підприємств мають дорівнювати:

- завислі речовини – 500–2000 мг/дм³, при цьому більше значення стосується підприємств зі значним рухом автотранспорту;
- нафтопродукти – 30–70 мг/дм³ для підприємств з інтенсивним рухом автотранспорту і значними потребами в паливно-мастильних матеріалах та 10–30 мг/дм³ для решти підприємств (виняток становить підприємства нафтопереробної промисловості, де вміст нафтопродуктів у поверхневому стоці може досягати 0,5 г/дм³).

Згідно з «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» гранично допустимі концентрації (ГДК) нафтопродуктів у зворотних водах, що дозволяються до скидання, становлять: для водойм культурно-побутового водокористування – 0,3 мг/дм³, а для водойм рибогосподарського призначення – 0,05 мг/дм³.

Теоретичні основи відділення нафтопродуктів та гідравлічного розрахунку нафтовловлювачів. В основу принципу дії нафтовловлювачів покладено відділення нафтопродуктів від води за рахунок різниці їх питомих мас. Довжина нафтовловлювача L визначається розрахунковим часом відстоювання t :

$$t = H/u, \quad (1)$$

де H – робоча глибина нафтовловлювача, м; u – розрахункова швидкість спливання нафтових частинок, м/с.

Тоді під час рівномірного руху стоків вздовж споруди її розрахункова довжина L становить:

$$L = VH/u, \quad (2)$$

де V – середня швидкість руху стічних вод, м/с.

Насправді, як показують досліди, місцева горизонтальна швидкість може значно перевищувати середню розрахункову швидкість, тобто може виникати нерівномірний розподіл швидкостей по довжині нафтовловлювача [5]. Причиною цього є наявність в потоці води вихрових зон та турбулентних явищ, які виникають як в результаті змінного гідравлічного навантаження, так і недосконалості проточного тракту цих споруд. Для врахування цього фактора пропонується вводити в формулу (2) поправковий коефіцієнт $k < 1$, який приймається залежно від конструкції нафтовловлювача. Тоді

$$L = VH/(ku). \quad (3)$$

Розрахункова швидкість спливання нафтопродуктів u залежить від їх густини ρ_{nm} , розмірів частинок d , температури стічних вод, наявності механічних домішок та інших факторів. Швидкість спливання u_0 кулеподібної частинки в спокої в чистій воді можна визначити за допомогою формули Стокса:

$$u_0 = \frac{d^2 g (\rho_o - \rho_{ii})}{18\mu}, \quad (4)$$

де d – діаметр частинок нафтопродуктів, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ρ_o – питома маса води, кг/м³; ρ_{nm} – питома маса нафтопродуктів, кг/м³; μ – динамічна в'язкість води, Па·с.

Вплив механічних домішок на швидкість спливання нафтових частинок виражає коефіцієнт α :

$$u = \alpha u_0, \quad (5)$$

де α – коефіцієнт зменшення швидкості спливання нафтопродуктів під впливом механічних домішок.

Коефіцієнт α можна знаходити графічно за [7] чи за емпіричною формулою:

$$a = \frac{4 \cdot 10^4 + 0,8C_{3P}^2}{4 \cdot 10^4 + C_{3P}^2}, \quad (6)$$

де C_{3P} – концентрація завислих речовин у поверхневому стоці, мг/дм³.

З урахуванням залежностей (3)–(6) розрахункова довжина нафтовловлювача становить:

$$L = \frac{VH}{ku_o \alpha}. \quad (7)$$

За відсутності даних щодо кінетики спливання нафтових частинок згідно з [6] дозволяється приймати розрахункову швидкість спливання u_o в межах 0,4–0,6 мм/с.

Методи очищення поверхневого стоку. Зважаючи на характеристику забруднень поверхневого стоку, для його очищення можна використовувати механічні та фізико-механічні методи. У світовій інженерній практиці розроблено велику кількість методик очищення дощових вод – від найпростіших ставків-накопичувачів до різноманітних високотехнологічних методів з використанням електрокоагуляції, флотації, гідроциклонування, які проте рідко використовуються на практиці через складність влаштування та високу вартість.

Широкого застосування для очищення поверхневого стоку набули відстійники різного типу. Щоб забезпечити глибше очищення, можна використовувати фільтрацію, флотацію та коагуляцію. Відстоювання є одним із найпростіших методів очищення дощових стічних вод від дисперсних домішок, якими є завислі речовини та нафтопродукти. Відділення цих домішок відбувається за рахунок гравітаційних сил, що переважають при доволі незначних швидкостях течії рідин у цих спорудах. При цьому домішки, що мають більшу питому масу, ніж вода, випадають в осад, відповідно речовини з меншою питомою масою спливають.

Для видалення з поверхневого стоку нафтопродуктів використовують різноманітні конструкції нафтовловлювачів: ставки-накопичувачі, відстійники різного типу – горизонтальні, вертикальні, радіальні та тонкошарові. Останнім часом все частіше використовують нові типи споруд, які в спеціальній літературі називають сепараторами нафтопродуктів. Нами проаналізовано ряд патентів, в яких запропоновано новітні методи та схеми очищення поверхневого стоку від нафтопродуктів з використанням тонкошарових коалесцентних модулів [10, 12, 13].

Відомі конструкції нафтовловлювачів. Гравітаційні нафтовловлювачі. За конструктивним виконанням гравітаційні нафтовловлювачі являють собою горизонтальні, вертикальні або радіальні відстійники, обладнані пристроями для видалення нафти. Типовий горизонтальний нафтовловлювач [7] представлений на рис. 1. Це – прямокутний в плані резервуар, в якому нафтопродукти за рахунок сил гравітації та малих швидкостей течії рідини спливають і видаляються за допомогою нафтозбірного пристрою.

Схожу конструкцію гравітаційного нафтовловлювача розробив Американський інститут нафти (*American Petroleum Institute*), яка відома як API-сепаратор [8].

Всі гравітаційні нафтовловлювачі є габаритними та високовартісними спорудами: при витраті поверхневого стоку від 50 до 600 м³/год їх довжина знаходиться в межах 18–36 м, ширина – від 6 м до 18 м, висота – 2–3 м. Ефект очищення від нафтопродуктів при 2-годинному відстоюванні становить 60–70 %, залежно від дисперсності нафтової емульсії [7].

Останні десятиліття для збільшення ефективності роботи нафтовловлювачів було запропоновано ряд конструкцій, що забезпечують інтенсифікацію процесу виділення нафтопродуктів з поверхневого стоку. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є впровадження різноманітних типів тонкошарових відстійників.

Відстійники з використанням тонкошарових та коалесцентних модулів. Використання методу відстоювання в тонкому шарі дає змогу значно інтенсифікувати процес виділення як механічних домішок, так і нафтопродуктів (у випадку використання коалесцентних модулів), забезпечити високий ступінь очищення в спорудах, що не вимагають великих площ та об'ємів.

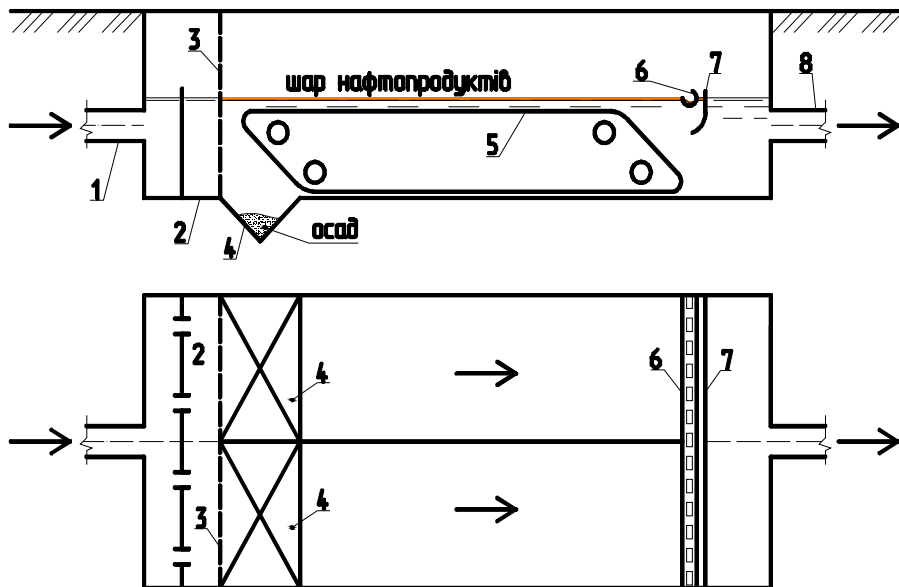


Рис. 1. Горизонтальний нафтовловлювач:
 1 – підвідний трубопровід; 2 – вхідна камера; 3 – розподільна стінка;
 4 – прямок для осаду; 5 – скребковий механізм; 6 – нафтозбірна щільна труба;
 7 – стінка для затримання нафтопродуктів; 8 – відвідний трубопровід

Основна перевага у використанні тонкошарових та коалесцентних відстійників полягає в тому, що в тонкошарових елементах значно зменшується шлях осідання завислих речовин та спливання нафтопродуктів, а відповідно зменшується час перебування дощових стічних вод у споруді. До переваг використання такого типу відстоювання треба віднести також зменшення впливу на процес відстоювання вихрових зон та турбулентних явищ.

Істотне збільшення ефективності очищення поверхневих стічних вод від нафтопродуктів дає використання коалесцентних модулів (рис. 2). Основною перевагою цих модулів порівняно зі звичайними тонкошаровими є використання олеофільних матеріалів для їх виготовлення. Це значно збільшує ефективність виділення нафтопродуктів зі стічних вод.

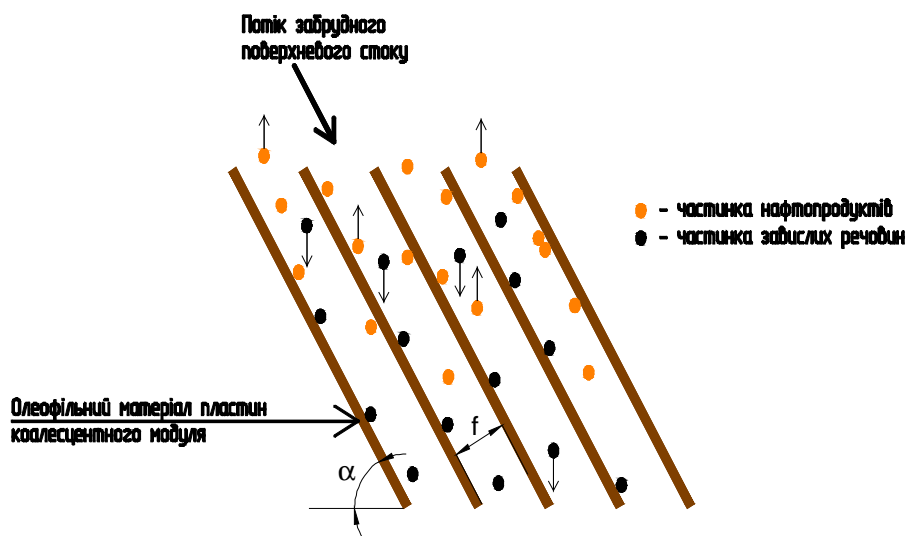


Рис. 2. Схема руху частинок нафтопродуктів та завислих речовин при очищенні поверхневого стоку з використанням коалесцентних модулів:
 α – кут встановлення олеофільних пластин у модулі; f – відстань між пластинами

Пластини коалесцентних модулів переважно виготовляють з двох матеріалів: поліпропілену та поліетилену високої щільності. Поліпропілен використовують частіше, оскільки він є більш олеофільним матеріалом. Проте є думка [12], що поліпропілен є занадто олеофільним матеріалом і при певних умовах не дозволяє частинкам нафти спливати на поверхню води, тому доцільніше використовувати поліетиленові модулі. Споруди, в яких використовуються коалесцентні модулі, прийнято називати коалесцентними сепараторами нафтопродуктів.

Використовуються різні схеми встановлення коалесцентних модулів [2, 4, 7, 15]:

- напрямок потоку – висхідний, низхідний, паралельний дну споруди;
- кут встановлення олеофільних пластин у модулі α – від 45° до 70° ;
- відстань між пластинами f – від 10 мм до 100 мм.

Серед усіх сепараторів нафтопродуктів, які успішно використовувалися, можна виділити такі:

- коалесцентні пластинчасті сепаратори: з похилими, горизонтальними, вертикальними та синусоїдальними пластинами (рис. 3, а);
- коалесцентні трубчасті сепаратори: як матеріал використовують перфоровані пластикові труби (рис. 3, б).

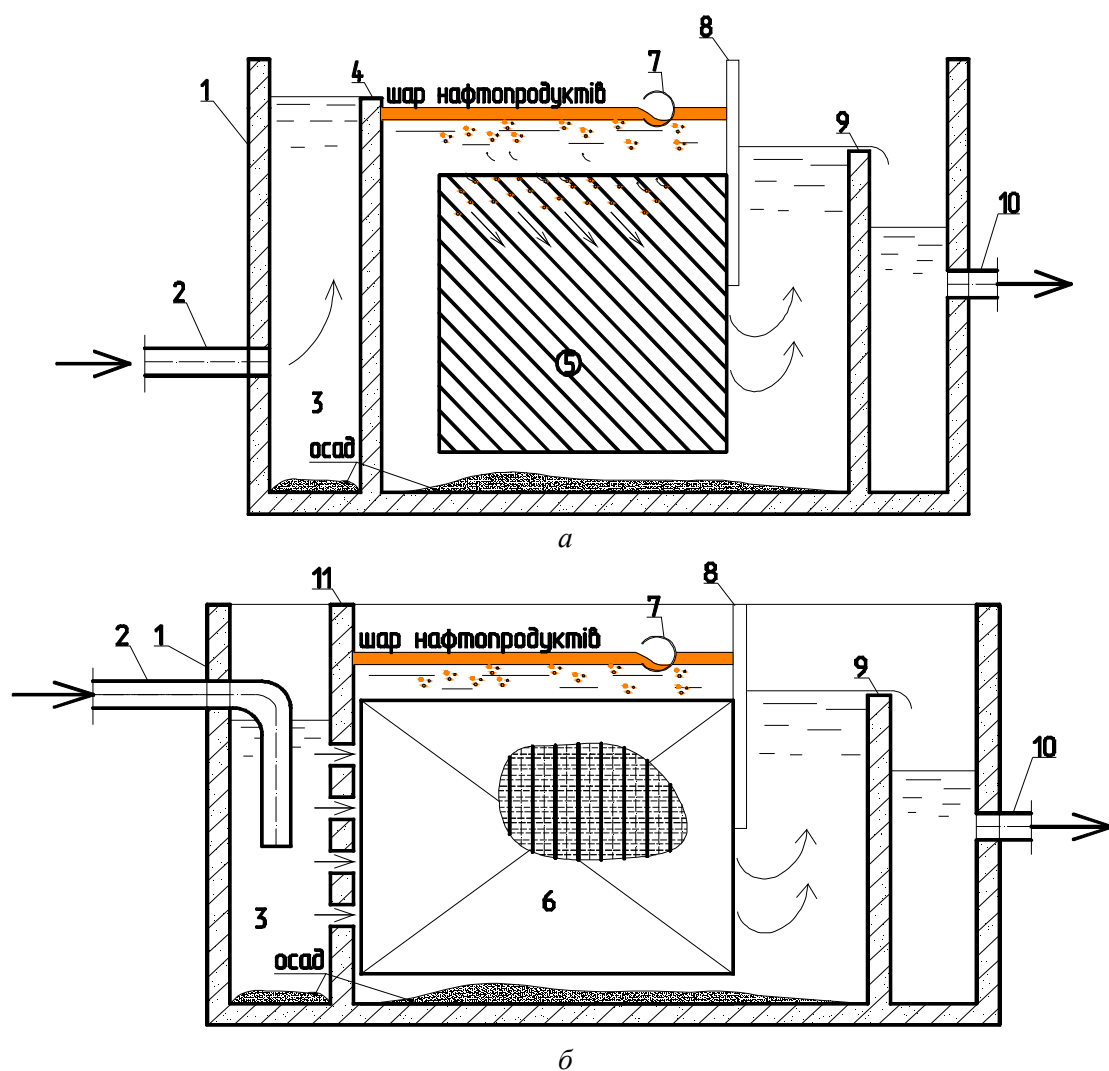


Рис. 3. Сепаратори нафтопродуктів:

а – з коалесцентним пластинчастим модулем; б – з коалесцентним трубчастим модулем; 1 – корпус сепаратора; 2 – підвідний трубопровід; 3 – вхідна камера; 4 – вхідний водозлив; 5 – коалесцентний пластинчастий модуль; 6 – коалесцентний трубчастий модуль; 7 – нафтозбірна труба-скімер; 8 – стінка для затримання нафтопродуктів; 9 – вихідний водозлив; 10 – відвідний трубопровід; 11 – перепускна стінка

Як видно з рис. 3, в сепараторах завдяки олеофільному характеру матеріалу коалесцентних модулів, частинки нафтопродуктів, які перебувають у поверхневому стоці, прилипають до пластин (рис. 3, а) чи трубок (рис. 3, б), і утворюють більші за розміром краплі, які краще відділяються. Ці частинки піднімаються на поверхню, їх шар постійно збільшується. Для вилучення нафтопродуктів передбачено спеціальні труби-скімери. Важкі завислі речовини випадають на дно сепаратора, утворюючи осад. Для збільшення ефективності роботи сепаратора його обладнують відділенням для збирання осаду. Концентрація нафтопродуктів на виході зі споруди згідно з рекомендаціями виробників становить $(C_{\text{нп}})_{\text{ex}}=0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Проблеми використання сепараторів нафтопродуктів. За останні роки розроблено значну кількість нових компактних конструкцій сепараторів нафтопродуктів. Більшість з них схожі за принципом дії та конструктивними особливостями: висока інтенсивність очищення поверхневого стоку від нафтопродуктів забезпечується в них використанням тонкошарових коалесцентних модулів. Поряд з тим залишаються не розв'язаними задачі, пов'язані з науковим обґрунтуванням роботи цих споруд.

Більшість виробників декларує, що на виході з сепараторів нафтопродуктів, обладнаних коалесцентними модулями, концентрація нафтопродуктів не перевищує $(C_{\text{нп}})_{\text{ex}}=0,3 \text{ мг/дм}^3$, але при цьому істотно відрізняються як схеми і розміри проточних трактів, так і габарити, розміри комірок і матеріал коалесцентних модулів. У проаналізованих нами матеріалах для жодної з конструкцій не подано рекомендованої середньої розрахункової тривалості перебування поверхневого стоку в сепараторах залежно від кількісних і якісних характеристик потоку, схеми течії рідини крізь коалесцентний модуль та від конструкційних характеристик самого модуля.

Важливим фактором, який впливає на ефект очищення, є те, що нафтопродукти можуть знаходитися у воді в різних дисперсних станах та мають різну питому масу $\rho_{\text{нп}}$, що істотно впливає на кінетику виділення нафтопродуктів. У ряді методик вплив питомої маси враховується, але надто спрощено, шляхом введення у випадку важких нафтопродуктів (при $\rho_{\text{нп}} > 850 \text{ кг/м}^3$) коефіцієнта запасу по продуктивності сепаратора. Недостатньо дослідженим є вплив вмісту завислих речовин у стічних водах та вплив процесу їх седиментації на ефективність виділення нафтопродуктів у тонкошарових модулях. Вагомою проблемою є забезпечення стабільного гідравлічного режиму роботи сепаратора нафтопродуктів при різних витратах стічних вод, а також при різному ступені заповнення робочої ємності затриманими забрудненнями – осадом в нижній частині та нафтопродуктами на вільній поверхні.

Висновок. Аналіз сучасних конструкцій нафтовловлювачів показав недостатню наукову обґрунтованість багатьох конструктивних параметрів сепараторів нафтопродуктів з тонкошаровими коалесцентними модулями. Це обумовлює актуальність виконання систематичних теоретичних та експериментальних досліджень гідравлічних аспектів роботи цих споруд.

1. *Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты.* – М.: ВНИИ “ВОДГЕО” Госстроя СССР, 1982. 2. *Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.04.* – СПб., 1998. 3. *Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий.* – СПб.: ПГУПС, 2003. – 537 с. 4. *Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев.* – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с. 5. *Монгайт И.Л., Родзилер И.Д. Методы очистки сточных вод.* – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 250 с. 6. *СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР.* – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 7. *Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродукта.* – Л.: Недра, 1983. – 264 с. 8. *American Petroleum Institute. Design and operation of oil-water separators, API Publication 421, First Edition.* – American Petroleum Institute, Washington, D.C., 1990. 9. *Environmental guidelines for water discharges from petroleum industry sites in*

New Zealand. Prepared by a Joint Working Group of the Ministry for the environment, local authorities, and petroleum marketing companies Ministry for the environment. – PO Box 10362, Wellington, New Zealand, December 1998. 10. Le brevet d'invention République Française INT CL⁸ E 03 F 5/16 (2006.01). Separateur a hydrocarbures destine au traitement d'eaux de ruissellement/ Le Prince Guy.– № 2932825; date of depot: 18.06.2008; date du public de la demande: 25.12.2009, bull. № 09/52. 11. Montgomery J. M. Water treatment principles and design. – John Wiley and Sons, New York, 1981. – pp. 135-151. 12. Patent GB INT CL BOID 17/04 (2006.01). Oil/water separator for use in drainage systems/ Car W.A., Taylor S.– № 2423299; date of filing: 17.02.2006; date of a publication: 23.08.2006, appl. № 0603234.6. 13. Patent GB INT CL⁷ BOID 17/028 17/032 17/035. Separator for glycol or other de-icing additives from water/ Burt D.A.– №2366745; date of filing: 14.09.2000; date of a publication: 20.03.2002, appl. № 0022574.8. 14. Romano F. Oil and water don't mix: the application of oil-water separation technologies in stormwater quality management. – Office of water quality, municipality of metropolitan seattle, WA, 1990. 15. Rommel W., Blass E., Meon W. Plate separators for dispersed liquid-liquid systems: multiphase flow, droplet coalescence, separation performance and design. – Chemical engineering science, volume 47, number 3, 1992. – P. 555–564. 16. Wilbur N. L. Petroleum Refinery Engineering. – McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.

УДК 629.113.06:628.83

С.С. Жуковський, О.М. Довбуш
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ТЕРМІЧНО-ТИСКОВІ ВПЛИВИ В ГАЗОПОВІТРЯНОМУ ТРАКТІ ТЕПЛОГЕНЕРУВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ І ДИМОПРОВІДНІЙ ТРУБИ

О Жуковський С.С., Довбуш О.М., 2011

Обґрунтовано визначення величини перепаду термоспонуканих тисків у газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування і біля верхівки димопровідної труби.

Ключові слова: перепад термоспонуканих тисків, конвекційний струмінь, газоповітряний тракт.

In the article the method of determination the calculation size of overfall thermal pressures (TP) in gas tract of heat equipment and near the top of gas pipe is grounded.

Key words: overfall of thermal pressures, convective stream, gas tract.

Постановка проблеми. Визначення величини перепаду термоспонуканих тисків (ТСТ) у газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування і у димопровідній трубі потребує уточнення та обґрунтування на підставі визначальних чинників впливу. Величину тяги пов'язують із висотою димопровідної труби і різницею густин навколишнього зовнішнього повітря і димових газів у трубі без врахування величини термотискових впливів у генераторі тепла (котлі) і біля верхівки труби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрізняють такі схеми газоповітряних трактів теплогенерувального устаткування [1]:

- з «природною тягою», створюваною димопровідною трубою;