

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**

УДК 66-911.48; 691.163

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ТА ГІДРАВЛІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
КАВІТАЦІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ**

І. В. Коц, А. А. Борисенко, К. В. Бауман

**DETERMINATION OF TEMPERATURE AND HYDRAULIC PARAMETERS  
CAVITATION EQUIPMENT FOR THE PREPARATION OF BITUMINOUS EMULSIONS**

I. Kots, A. Borisenko, K. Baumann

*Запропонована методика інженерного розрахунку основних технологічних параметрів кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій, яка дозволяє підібрати відповідне технологічне обладнання, що забезпечить необхідний режим роботи устаткування при заданій продуктивності виготовлення емульсії необхідної дисперсності.*

*Запропонована методика дозволяє підібрати відповідне технологічне обладнання, яке забезпечить раціональний режим роботи устаткування при заданій продуктивності виготовлення емульсії необхідної дисперсності.*

*Показано впровадження розрахованої згідно з даною методикою кавітаційної установки для приготування бітумних емульсій на одному з асфальтобетонних заводів України.*

*Предложена методика инженерного расчета основных технологических параметров кавитационной установки для приготовления битумных эмульсий, позволяющая подобрать соответствующее технологическое оборудование, обеспечивающее необходимый режим работы установки при заданной производительности производства эмульсии необходимой дисперсности.*

*Предложенная методика позволяет подобрать соответствующее технологическое оборудование, которое обеспечит оптимальный режим работы оборудования при заданной производительности изготовления эмульсии необходимой дисперсности.*

*Показано внедрение рассчитанной согласно данной методики кавитационной установки для приготовления битумных эмульсий на одном из асфальтобетонных заводов Украины.*

*Methodology of engineering calculation of basic technological parameters of the cavitation plant for preparation of bituminous emulsions offered. It help to pick up a corresponding technological equipments, which providing the necessary mode of plant operations whiht specify the productivity of emulsion production of necessary dispersion.*

*The technique allows to choose the appropriate technological equipment to ensure the rational mode of equipment for a given manufacturing productivity dispersion emulsion required.*

*Displaying implementation calculated by this method for the preparation of cavitation installation of bituminous emulsions on one of the asphalt plants in Ukraine.*

**Вступ**

В основу роботи існуючих бітумно-емульсійних установок покладено диспергування бітуму за допомогою устаткування типу колоїдного млина. Одним з перспективних напрямків удосконалення технології виготовлення бітумних емульсій є застосування нетрадиційних методів емульгування бітуму, зокрема застосування такого небажаного в гідравлічних системах явища, як кавітація. Цей спосіб набув широкого застосування в деяких галузях промисловості, зокрема в харчовій. Завдяки ряду гідродинамічних процесів супутніх кавітації відбувається ефективно диспергування взаємонерозчинних компонентів емульсії.

В НДІ гідродинаміки Вінницького національного технічного університету запропоновано устаткування, принцип роботи якого полягає у кавітаційному емульгуванні складових компонентів емульсії [1].

Проведені експериментальні дослідження кавітаційного устаткування для приготування

бітумних емульсій показали, що для виготовлення емульсії заданої дисперсності необхідно забезпечити певний кавітаційний режим, інтенсивність дії супутніх гідродинамічних факторів якого впливатиме на розмір частинок бітуму в готовій продукції. Основними регульованими параметрами в запропонованій конструкції устаткування для приготування бітумних емульсій, вузол диспергування якого поданий кавітаційним диспергатором, є: температура суміші компонентів, що поступають у вузол диспергування; градієнт тиску, який виникає за вузлом диспергування та співвідношення складових компонентів емульсії [2].

### Постановка задачі

Поставлена задача полягає у розробленні методики інженерного розрахунку основних технологічних параметрів кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій, що дасть можливість підібрати відповідне технологічне обладнання для забезпечення необхідного режиму роботи устаткування при заданій продуктивності виготовлення емульсії заданої дисперсності.

### Виклад основного матеріалу

За результатами виконання ряду теоретичних і експериментальних досліджень була розроблена інженерна методика розрахунку параметрів вибраного об'єкта дослідження – устаткування для приготування бітумних емульсій запропонованої нами конструкції [1, 3]. У зв'язку із особливостями та специфікою застосування запропонованого кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій в основу методики покладено розрахунок всіх складових технологічного процесу і відповідного обладнання для його реалізації: теплові, а також гідравлічні розрахунки із врахуванням конструктивного виконання устаткування.

Принципова схема комплексу з виготовлення бітумної емульсії подана на рис. 1.

*Тепловий розрахунок кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій.*

*1. Тепловий розрахунок ємностей для розігріву бітуму.*

Необхідна кількість теплоти для розігріву бітуму визначається за формулою:

$$Q = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \cdot G \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де  $q_1$  – витрата теплоти на нагрів і плавлення бітуму в бітумоплавильному агрегаті, МДж/т;

$q_2$  – витрата теплоти на випаровування вологи, яка міститься в 1 т бітуму в бітумоплавильному агрегаті, МДж/т;

$q_3$  – тепловтрати МДж/т;

$q_4$  – втрати теплоти на обігрів бітумного насоса, МДж/т;

$G$  – об'єм ємності, що вміщує необхідну кількість бітуму, м<sup>3</sup>.

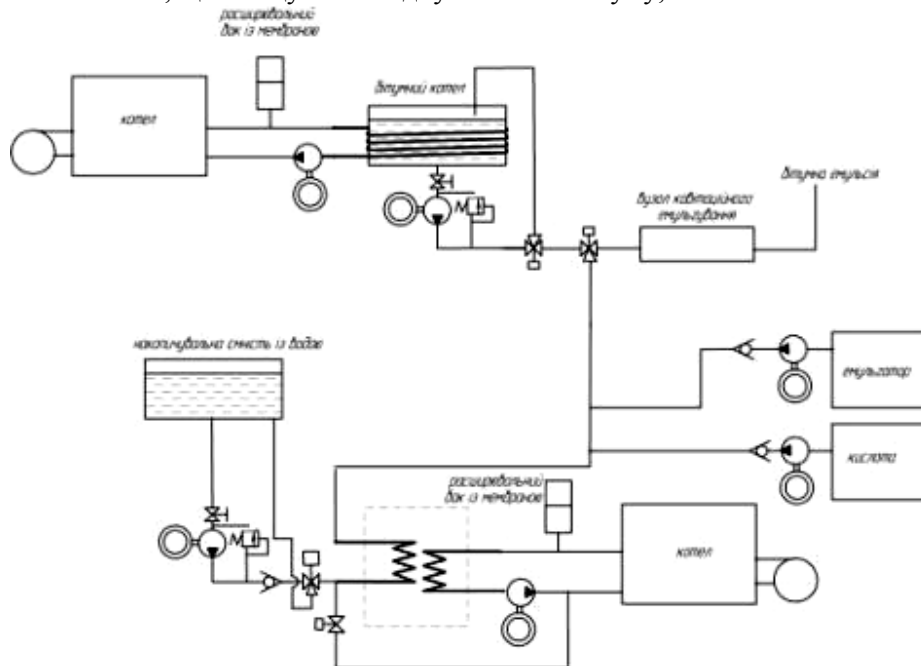


Рис. 1. Принципова схема комплексу для приготування бітумних емульсій

Витрата теплоти на нагрів і плавлення бітуму в бітумоплавильному агрегаті розраховується за формулою, МДж/т:

$$q_1 = q_1' + q_1'' \quad (2)$$

де  $q_1'$  – витрата теплоти на нагрів 1 т бітуму в бітумоплавильному агрегаті, МДж/т;

$$q_1' = C_{\sigma}(t_k - t_n); \quad (3)$$

$q_1''$  – витрата теплоти на плавлення тонни бітуму:

$C_{\sigma}$  – теплоємність бітуму, МДж/(т·К);

$t_k$  – робоча температура бітуму приймається в залежності від марки бітуму;

$t_n$  – початкова температура бітуму.

Витрата теплоти на випаровування вологи, яка міститься в 1 т бітуму в бітумоплавильному агрегаті, МДж/т:

$$q_2 = \frac{\omega}{100}(r + 1,97 \cdot t_{e.n.}), \quad (4)$$

де  $\omega$  – вологість бітуму,  $\omega = 5\%$ ;

$r$  – прихована теплота пароутворення при  $t_{e.n.}$ , кДж/кг;

$t_{e.n.}$  – середня температура водяної пари, °С.

В залежності від температури навколишнього середовища тепловтрати можуть бути прийняті 10...20 % від теплоти, яка витрачається корисно, тобто

$$q_3 = (0,1 \dots 0,2)(q_1 + q_2), \quad (5)$$

або розрахована за залежністю, МДж/т бітуму:

$$q_3 = q_3' + q_3'' \quad (6)$$

де  $q_3'$  – втрата теплоти через бокову поверхню стінок і дно ємності, МДж/т бітуму:

$q_3''$  – втрата теплоти (від дзеркала бітуму до навколишнього повітря конвекцією і випромінюванням, МДж/т бітуму.

Втрата теплоти через бокову поверхню стінок і дно ємності розраховується за формулою, МДж/т бітуму:

$$q_3' = \frac{F \cdot K \cdot (t_2 - t_n)}{G \cdot 1000}, \quad (7)$$

де  $t_2$  – температура грійної газової суміші, °С;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі через стінки, ізоляцією ємності, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  – сумарна площа поверхні ємності для приготування бітуму, м<sup>2</sup>.

Втрата теплоти від дзеркала бітуму до навколишнього повітря конвекцією і випромінюванням, МДж/т бітуму:

$$q_3'' = \frac{F_{\partial_3}(\alpha_k + \alpha_g)(t_{\partial_3} - t_n) \cdot 2 \cdot 3600}{G \cdot 1000}, \quad (8)$$

де  $F_{\partial_3}$  – площа дзеркала бітуму, м<sup>2</sup>;

$\alpha_k$  – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від горизонтальної поверхні дзеркала бітуму,

ккал/(м<sup>2</sup>·год·°C) або Вт/(м<sup>2</sup>·K);

$\alpha_6$  – коефіцієнт тепловіддачі від дзеркала бітуму випромінюванням, ккал/(м<sup>2</sup>·год·°C) або Вт/(м<sup>2</sup>·K);

$t_{03}, t_n$  – відповідно температура на поверхні дзеркала бітуму і повітря на відстані від дзеркала бітуму.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від горизонтальної поверхні дзеркала бітуму, орієнтовно приймається рівним 6,4 ккал/(м<sup>2</sup>·год·°C) ≈ 7,4 Вт/(м<sup>2</sup>·K) або визначається за формулою:

$$\alpha_k = 2,15(t_{03} - t_n)^{0,25}. \quad (9)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від дзеркала бітуму випромінюванням, ккал/(м<sup>2</sup>·год·°C):

$$\alpha_6 = \frac{C}{t_{03} - t_n} \left[ \left( \frac{t_{03} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_n + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (10)$$

де  $C$  – коефіцієнт випромінювання поверхні, ккал/(м<sup>2</sup>·год·°C).

Втрати теплоти на обігрів бітумного насоса, МДж/т бітуму:

$$q_4 = \frac{\sum F \cdot K (t_2 - t_{3.n.}) \cdot 2 \cdot 3600}{G \cdot 1000}, \quad (11)$$

де  $\sum F$  – сумарна поверхня бітумного насоса (при укрупнених розрахунках може умовно прийматись як сума шарових поверхонь), м<sup>2</sup>;

$t_2$  – температура теплоносія, °C;

$t_{3.n.}$  – температура зовнішнього повітря, °C.

Теплова потужність теплогенератора розраховується за формулою, кВт:

$$N_Q^{TG} = \frac{Q}{\tau_{роз}}. \quad (12)$$

2. Розрахунок поверхні теплообміну для розігріву бітуму.

Площа поверхні теплообміну для розігріву бітуму:

$$F = \frac{N_Q^{TG}}{K \cdot \Delta t}, \quad (13)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі від теплоносія до бітуму, Вт/(м<sup>2</sup>·K):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (14)$$

Задаючись діаметром трубопроводу  $d_b$  (внутрішній діаметр), що створює поверхню теплообміну, необхідно уточнити необхідну довжину трубопроводу:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_b}. \quad (15)$$

Об'єм труб, які утворюють поверхню нагріву:

$$V_{mp} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \quad (16)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр трубопроводу, що створює поверхню нагріву, мм.  
Із врахуванням об'єму грійних труб уточнюється об'єм та висота ємності для розігріву бітуму.

Об'єм ємності для бітуму, м<sup>3</sup>:

$$V = V_6 + V_{mp}, \quad (17)$$

де  $V_6$  – об'єм ємності, що вміщує розрахункову кількість бітуму, м<sup>3</sup>.  
Висота ємності, м:

$$H = \frac{V}{B \cdot L}, \quad (18)$$

де  $B$  – ширина ємності із бітумом, м.

3. Підбір котлоагрегату для нагріву води.

Необхідна кількість теплової енергії для розігріву технологічної води, Дж:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \quad (19)$$

де  $c$  – теплоємність води, Дж/(кг·°C);  
 $m$  – продуктивність нагріву, т/год;  
 $t_1, t_2$  – відповідно початкова та кінцева температура води, °C.  
Теплова потужність котла, МВт:

$$N = Q / T. \quad (20)$$

За отриманими характеристиками підбирається котлоагрегат.

4. Гідралічний розрахунок кавітаційного устаткування для приготування бітумних емульсій.

При підборі насоса для подачі бітуму у вузол емульгування необхідно розрахувати тиск, який він повинен забезпечити при подачі бітуму у кавітаційний диспергатор:

$$p_n = \Delta p + p_k, \quad (21)$$

де  $\Delta p$  – втрати тиску на ділянці від насоса до кавітаційного диспергатора, Па;

$p_k$  – необхідний тиск на вході в кавітаційний диспергатор, Па.

Оскільки втрати тиску на ділянці від насоса до кавітаційного диспергатора суттєві, то сумарна втрата тиску розраховується за формулою [4]:

$$\Delta p = \Delta p_\delta + \Delta p_m = (\lambda \cdot l/d + \Sigma \zeta) \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (21)$$

де  $\Delta p_\delta$  – втрати тиску по довжині, які спричинені шорсткістю стінок та в'язкістю потоку сировини,  $\Delta p_\delta = \lambda \cdot l/d \frac{\rho \cdot v^2}{2}$ , Па;

$\Delta p_m$  – втрати тиску на місцевих опорах,  $\Delta p_m = \Sigma \zeta \frac{\rho \cdot v^2}{2}$ , Па;

$v$  – швидкість руху потоку сировини, м/с;

$\rho$  – приведена густина суміші компонентів, кг/м<sup>3</sup>;

$l, d$  – відповідно довжина та діаметр розрахункової ділянки трубопроводу, м;

$\Sigma\zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці трубопроводу;

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Коефіцієнт гідравлічного тертя розраховуємо за універсальною формулою Альтшуля [4]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (22)$$

де  $k_e$  – абсолютна шорсткість труб, мм;

$Re$  – число Рейнольдса.

Число Рейнольдса розраховуємо за формулою [4]:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\vartheta}, \quad (23)$$

де  $\vartheta$  – кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с.

На основі результатів проведених експериментальних досліджень [2] встановлено, що необхідний тиск на вході в кавітаційний диспергатор, який сприяє виготовленню емульсії заданої дисперсності, визначається за формулою, МПа:

$$p = \frac{\sqrt{340 - 8d_u + 2,08S + 0,96n - 0,0096S^2 + 0,0008n^2}}{4} - 4,5, \quad (24)$$

де  $d_u$  – задана дисперсність бітумної емульсії, мкм;

$S$  – площа прохідного отвору кавітаційного диспергатора (задається із врахуванням положення робочого органу кавітатора, від 34,5 мм<sup>2</sup> до 113 мм<sup>2</sup>), мм<sup>2</sup>;

$n$  – частка бітуму в емульсії згідно із заданою рецептурою приготування, %.

Продуктивність насосів визначається згідно із загальною продуктивністю установки та відсоткового співвідношення складових компонентів бітумної емульсії.

За наведеною методикою був розрахований дослідно-виробничий комплекс для приготування бітумних емульсій продуктивністю до 10 т/год, параметри якого наведені в таблиці 1.

За розрахованими характеристиками для підігріву води був підібраний водогрійний газомазутний котел типу КВ-ГМ-4 із відповідними параметрами:

теплопродуктивність – 4,65 МВт

Витрати: води – 49,5 т/год;

газу – 515 м<sup>3</sup>/год;

мазуту – 500 кг/год.

Для подачі бітуму вибрано чавунний бітумний насос із сальниковим ущільнювачем та грійною сорочкою № HL224A виробник Viking Pump (США). Характеристики насоса: продуктивність  $Q=6,8$  м<sup>3</sup>/год; тиск  $p=14$  бар.

Воду передбачається подавати за допомогою насоса HELIX EXCEL 414-1/25/E/KS виробник Willo (Німеччина). Характеристики насоса: продуктивність  $Q=3,5$  м<sup>3</sup>/год; напір  $H=105$  м; число обертів  $n=3600$  1/хв; потужність  $N=1,7$  кВт.

**Параметри дослідно-виробничого комплексу для приготування бітумних емульсій**

Джерело теплоти для обігріву бітуму	Маслонагрівна установка (на рідкому паливі)
Необхідна кількість теплоти для приготування 800 кг бітуму за 2 години, МДж	335,52
Теплова потужність теплогенератора, кВт	46,6
Теплова потужність теплогенератора, якщо бітум не застиг і його не треба плавити, кВт	32,6
Теплова потужність теплогенератора для підтримання технологічної температури бітуму, кВт	4,49
Поверхня теплообміну ємності із бітумом	труби Ø159/150 мм
Тепловий агент	технічне мастило ( $t_{zp}=180^{\circ}\text{C}$ , $v=0,72\text{ м/с}$ )
Довжина труб, що необхідна для поверхні теплообміну, м	22,93
Режим роботи газогенераторної установка	2 години – нагрів, 8 годин – підтримання заданої температури
Годинна витрата пального:	
- на розігрів бітуму протягом 2-х годин, кг/год	5,48
- на розігрів до технологічної температури, якщо бітум не застиг перед розігрівом, кг/год	3,1
- в період підтримання заданої температури бітуму, кг/год	0,42
Витрата палива за цикл 10 годин, кг	15,52
Ємність для розігріву бітуму	
Об'єм, м <sup>3</sup>	1,47
Розміри: ширина×довжина×висота, м	0,7×1,35×1,65
Необхідна кількість теплової енергії для розігріву 50 тонн води, МДж	8364
Теплова потужності котлоагрегату для розігріву води (без врахування КПД), МВт	2,32
Тиск, який повинен забезпечити бітумний насос, МПа	1,03
Продуктивність бітумного насоса, м <sup>3</sup> /год	6,5
Продуктивність насоса для подачі води, м <sup>3</sup> /год	3,5

За даними розрахунками спроектовано та виготовлено дослідно-виробничий комплекс для приготування бітумних емульсій продуктивністю 10 т/год, який впроваджено на одному із асфальтобетонних заводів у м. Львів (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Дослідно-виробничий комплекс для виготовлення бітумної емульсії:  
а – дослідно-виробничий комплекс зовні; б – кавітаційна установка

### Висновки

- На основі результатів попередньо виконаних теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано методику інженерного розрахунку та вибору раціональних конструктивних і технологічних параметрів устаткування для приготування бітумних емульсій, вузол емульгування якого поданий кавітаційним диспергатором запропонованої конструкції. У зв'язку із особливостями та специфікою застосування запропонованої кавітаційної устаткування для приготування бітумних емульсій в основу методики покладено розрахунок всіх складових технологічного процесу і відповідного обладнання для його реалізації: теплові розрахунки, гідравлічні розрахунки, а також розрахунки конструктивного виконання устаткування. Запропонована методика дозволяє підібрати відповідне технологічне обладнання, яке забезпечить раціональний режим роботи устаткування при заданій продуктивності виготовлення емульсії необхідної дисперсності.
- Розрахована згідно з даною методикою кавітаційна установка для приготування бітумних емульсій успішно функціонує на одному з асфальтобетонних заводів України.

### Використана література

1. Пат. 37338 Україна, МПК8 E01C 19/00 Установка для приготовления битумных эмульсий / Борисенко А. А., Бауман К. В., Коц И. В.– № u200807653; заявл. 04.06.08; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22.
2. Коц И. В. Экспериментальные исследования новой кавитационной технологии приготовления битумных эмульсий / И. В. Коц, К. В. Бауман // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – № 3 (74).–С.76-79.
3. Бауман К. В. Кавітаційна установка для приготування бітумних емульсій / Бауман К. В. // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 38 – С. 77-81.
4. Альтшуль А. Д. Примеры расчетов по гидравлике: [Учебное пособие] / А. Д. Альтшуль, В. И. Калицун, Ф. Г. Майрановский. – М.: Стройиздат, 1977. – 255 с.

**Коц Іван Васильович** – к.т.н., професор кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

**Борисенко Анатолій Анатолійович** – директор ДП «Композит» (м. Київ).

**Бауман Катерина Володимирівна** – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.