

роенергії суттєвий вплив мала відносно мала продуктивність через недоскональність конструкції як самого млина, так і працюючого з ним обладнання.

Таким чином, в результаті проведення досліджень енергоємності процесу подрібнення руд в млинах сомоподрібнення встановлена залежність питомих витрат електроенергії на цей процес від конструктивних, технологічних і експлуатаційних параметрів млина. Зокрема встановлена залежність витрат енергоресурсів від частоти обертання барабана млина, від ступеня його заповнення рудою, від зносу футеровки, від продуктивності по вхідному живленню, від конструкції приводу.

Встановлені залежності рекомендовано використовувати конструкторам і експлуатаційникам при удосконаленні конструкцій млинів самоподрібнення і розробці режимів їх експлуатації. Це дозволить суттєво знизити питомі витрати електроенергії на процес подрібнення руд і покращити технологічні і економічні показники роботи збагачувальних фабрик, які застосовують технологію самоподрібнення руд.

УДК 665.775.5

**К.В. БАУМАН**, аспірант, Вінницький національний технічний університет

## **КАВІТАЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ**

Проведено аналіз існуючих установок для приготування бітумних емульсій. Запропонована конструкція нової бітумно-емульсійної установки з кавітаційним диспергатором, яка порівняно із традиційними установками є більш енергоощадною та має більш спрощену конструкцію. Теоретично проаналізовано робочий процес, який проходить у кавітаційній установці, та обґрунтовано стійкість складових бітумної емульсії після проходження через вузол емульгації.

The exist emulsified bitumen plants are analysed. The construction of new emulsified bitumen plant with cavitation dispersator, which comparatively with traditional plants is more energy-efficient and have simplified construction, was offered. The working process, which occur in cavitation plant, is theoretically analysed. The stability of emulsified bitumen components after its processing in emulsification joint is proved.

**Постановка проблеми.** В будівництві широко застосовується в'язуче на основі бітуму, зокрема, широке застосування отримала бітумна емульсія – суміш дрібнорозпиленого бітуму з водою, до якої для підвищення стійкості ще додають емульгатори та стабілізуючі компоненти [1]. Бітумна емульсія використовується для влаштування гідроізоляційного покриття, як ґрунтовка під гідроізоляцію, для приклеювання рулонних та листових матеріалів при температурі навколишнього середовища. Окрім того, при влаштуванні дорожнього покриття також широко застосовують бітумні емульсії. Великі об'єми споживання вимагають розробки досконалого технологічного обладнання для виготовлення якісної бітумної емульсії.

**Аналіз останніх досліджень.** Проведений аналітичний огляд обладнання для приготування бітумних емульсій відомих вітчизняних та іноземних виробників [2 – 5] свідчить, що існуючі бітумно-емульсійні установки мають значні енерговитрати, металоємність, складну конструкцію, високу вартість обладнання, обумовлену монопольним становищем виробника. Дослідження теоретичних основ їх проектування, зокрема, детальний аналіз функціонування, обґрунтування оптимальних режимів налагодження, яке б сприяло виготовленню емульсій високої якості, в відомих інформаційних джерелах представлені досить обмежено.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є розробка кавітаційної установки для приготування бітумної емульсії, в якій за рахунок конструктивних особливостей виконання створюються можливості для виготовлення якісної вихідної продукції, а також забезпечується суттєве зменшення енергоємності та металомісткості установки. Окрім того, в роботі передбачається теоретичний аналіз моделі кавітаційного потоку та обґрунтування стійкості складових бітумної емульсії після проходження через вузол емульгації.

**Виклад основного матеріалу.** В Вінницькому національному технічному університеті розроблена конструкція бітумно-емульсійної установки (рис. 1) [8], в якій вузол емульгування (рис. 2) включає статоміксер для попереднього змішування, що виконаний у вигляді трубопроводу, всередині якого послідовно розташовані переборки із зміщеними отворами. Перед статоміксером розташовано пропорційний змішувач із патрубками приєднаними до напірних ліній насосних агрегатів подачі складових компонентів. Після ста-

томіксер встановлено кавітатор, сторона якого, що приєднана до статоміксеру виконана у вигляді конфузornoї та дифузornoї частин. Окрім того, із зазором відносно поверхні дифузора розташований підпружинений конусоподібний робочий орган, який виконаний із можливістю встановлення цього зазору між його конічною поверхнею та внутрішньою поверхнею дифузора.

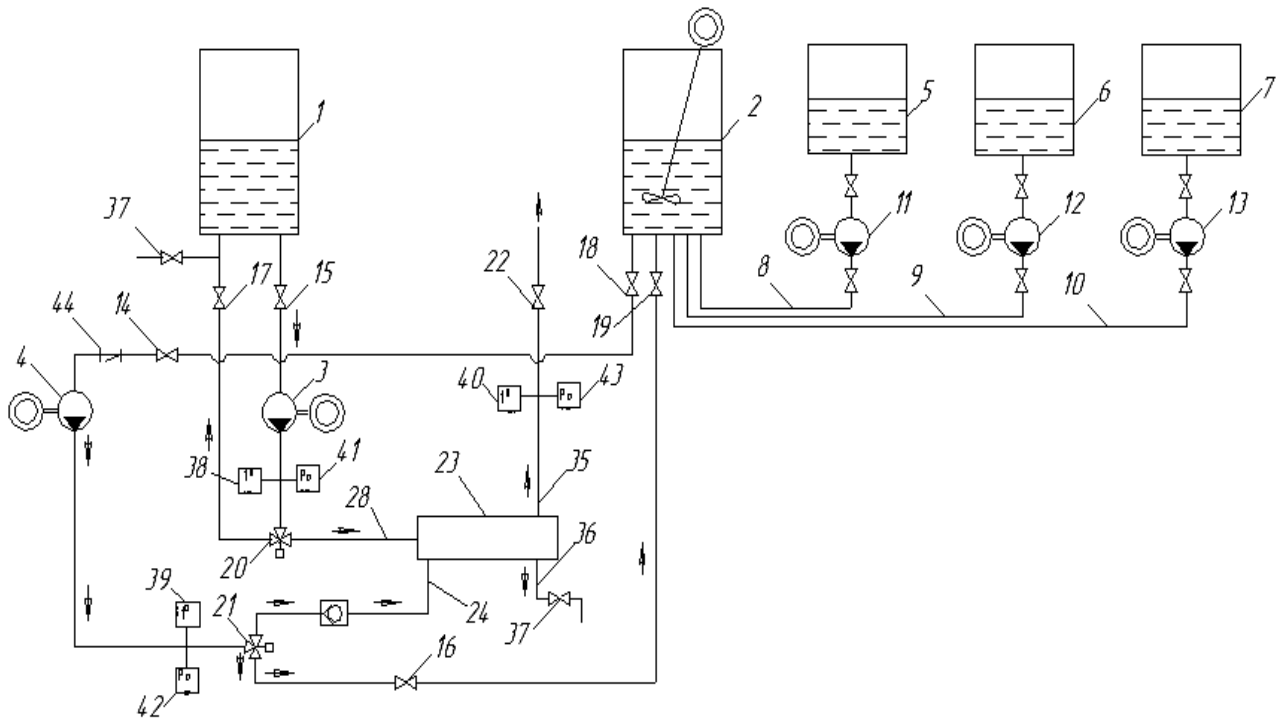


Рис. 1. Принципова схема установки для приготування бітумних емульсій:

- 1, 2 – ємності, відповідно, з бітумом та водною фазою; 3, 4 – бітумний та водяний насоси; 5, 6, 7 – ємності з емульгатором, стабілізатором та кислотою;
- 8, 9, 10 – трубопроводи подачі емульгатора, стабілізатора та кислоти;
- 11, 12, 13 – дозуючі насоси; 14, 15 – входні крани водяний та бітумний;
- 16, 17 – байпасні крани водяний та бітумний; 18, 19 – запірні вентиля;
- 20, 21 – трьохходові крани; 22 – випускний кран; 23 – вузол емульгації;
- 24, 28 – трубопроводи подачі водної фази та рідкого бітуму; 25 – камера змішування;
- 26 – пропорційний змішувач, 27 – сопло; 29 – статоміксер; 30 – кавітатор;
- 31, 32 – конфузор і дифузор; 33 – конусоподібний робочий орган;
- 34 – механічний привід регулювання зазору; 35 – трубопровід відбору емульсії;
- 36 – пробовідбірник; 37 – кран пробовідбірника;
- 38, 39, 40, 41, 42, 43 – давачі температури і тиску; 44 – водяний фільтр.

Послідовно встановлені складові наведеного вузла емульгації, а саме: пропорційний змішувач, статоміксер та кавітатор здійснюють диспергування та емульгування бітуму без сторонніх приводних механізмів, без додаткових

витрат електроенергії на їх привід та мають більш спрощену конструкцію порівняно із відомим установками [2 – 5].

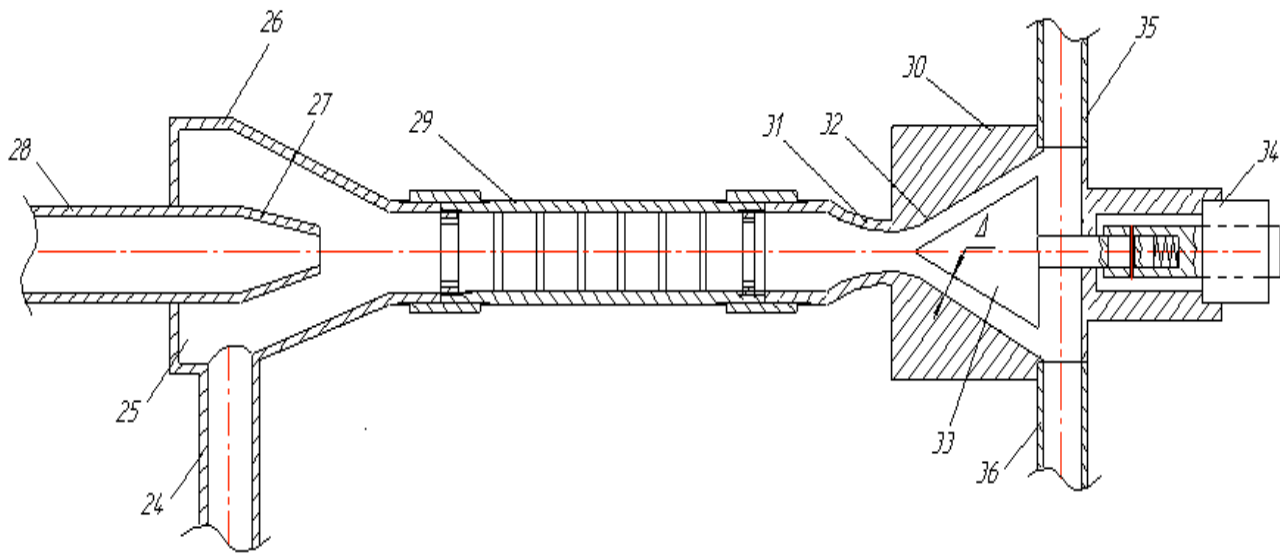


Рис. 2. Конструктивне виконання вузла емульгації

Регулювання зазору  $\Delta$  між конічною поверхнею підпружиненого конусоподібного робочого органа та поверхнею дифузора дає можливість підібрати необхідну швидкість та тиск оброблюваного середовища для забезпечення оптимальних умов створення гідродинамічної кавітації.

Рідкий гарячий бітум витікаючи із великою швидкістю із сопла 27 пропорційного змішувача 26 створює розрідження в області вакуумного входу 25, підсмоктує емульсовану водяну суміш, що поступає по трубопроводу 24. Бітум перемішується з водяною фазою і надходить у статоміксер 29, а потім, проходячи через отвори послідовно розташованих переборок, надходить до кавітатора 30, сторона якого, що приєднана до статоміксера виконана у вигляді конфузornoї 31 та дифузornoї 32 частин, із зазором  $\Delta$  відносно поверхні дифузора розташований підпружинений конусоподібний робочий орган 33. Механічний привід регулювання зазору 34 надає можливість регулювання площі прохідного перерізу кавітатора, в процесі налагодження необхідного режиму кавітації.

Теоретичний аналіз робочого процесу, який проходить у кавітаційній установці, можна представити наступною системою рівнянь:

- моделлю кавітаційного потоку, яка включає нестационарне рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_m u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(r_m u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (m + m_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right],$$

- рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{\partial r_m}{\partial t} + \frac{\partial (r_m u_i)}{\partial x_i} = 0,$$

- рівняння перенесення об'ємної частки рідкої фази [6, 7]:

$$\frac{\partial a_1}{\partial t} + \frac{\partial (a_1 u_i)}{\partial x_i} = (m^+ - m^-),$$

$$r_m = r_1 a_1 + r_u (1 - a_1),$$

де  $t$  – час;  $x$  – координата;  $u$  – компонента швидкості;  $p$  – тиск;  $r$  – ефективна щільність;  $r_1$  – щільність рідини;  $r_u$  – щільність пари;  $m$  – динамічна в'язкість;  $m_t$  – турбулентна в'язкість;  $a_1$  – об'ємна частка рідкої фази;  $m^+$  – швидкість випаровування;  $m^-$  – швидкість конденсації пари.

Оцінка стійкості до розпаду утвореної бітумної емульсії базується визначенні стійкості окремих бульбашок бітуму або води, що утворюють дану емульсію. Кавітаційна міцність ядра визначається його критичними параметрами, а саме: величиною розтягуючих напружень в рідині  $p_r$ , що призводить до виникнення кавітації в ядрі, та відповідним їй розміром бульбашки  $R_r$ . Обидва ці параметри залежать від початкового розміру бульбашки  $R_0$ :

$$p_r = p_n - \frac{4S}{3R_r}, \quad R_r = R_0 \left[ \frac{3R_0 p_{g0}}{2S} \right]^{\frac{1}{2}},$$

де  $p_n$  – тиск насиченої пари;  $S$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини;  $p_{g0}$  – початковий рівноважний тиск газу у бульбашці.

Величина  $R_0$  визначає також власну частоту пульсації бульбашки:

$$f_0 = \frac{1}{2p} \left[ \frac{3p_{g0}}{p_l R_0^2} \right]^{1/2} .$$

Випробування експериментальної установки проводилися на одному із асфальтобетонних заводів України. Отримані прямі емульсії відрізняються високою дисперсністю та стійкістю.

**Висновки.** Запропоновано технологічний процес і кавітаційну установку для приготування бітумних емульсій із використанням послідовно встановлених пропорційного змішувача, статичного змішувача та кавітатора, а також при відповідному налаштуванні робочих режимів руху оброблюваної рідини, яка має основні переваги порівняно з відомими, а саме: забезпечує отримання якісної вихідної продукції при значній економії енергоресурсів; широкий діапазон регулювання кавітаційно-кумулятивних процесів; менша металоємність; просту конструкцію. Наведено теоретичний аналіз робочого процесу та спосіб оцінки стійкості отриманої бітумної емульсії.

**Список літератури:** 1. Будник В.А., Евдокимова Н.Г., Жирнов Б.С. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения // Нефтегазовое дело, 2006. – Режим доступу: <http://www.ogbus.ru>. 2. Битумно-эмульсионные установки (БЭУ) // ООО Давиал. Технологическое оборудование. – Режим доступу: <http://www.davial.ru>. 3. Эмульсионно-битумные технологии – Режим доступу: <http://emulbittech.ru/produksiya>. 4. Промышленное оборудование ИКА // RTF– Режим доступу: <http://www.rtf-info.ru/prom.html>. 5. КОРПУС-ТЕХ, ИНК. Дорожно-строительная техника и технологии – Режим доступу: <http://www.korrus.ru/doc/1.htm>. 6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа – Л.: – 1950. – 678 с. 7. Баранов Г.А., Буляев А.А., Земляной А.В., и др. Активация клеток в кавитационном потоке. // Журнал технической физики. – 2007. – Том 77, Вып. 7. – С.108 – 114. 8. Бауман К. В., Борисенко А. А. Нова технологія та устаткування для виготовлення бітумної емульсії // Вісник Національного транспортного університету. – 2008. – № 6. – С. 393 – 396.

Надійшла до редколегії 11.09.08