

УДК 621.227

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ РІДИНИ З ПОВІТРЯМ

Андренко П. М., д.т.н.,

Клітної В. В., к.т.н.,

Кулініч К. О.,

Ендеко В. В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

Тел. (057) 707–61–28

**Анотація** – в статті наведено конструкцію пристрою для змішування рідини з повітрям, у якому за рахунок встановлення ковпачка з отворами, патрубку для підводу повітря в точці найбільшого розрідження всмоктуючого патрубка та вибору раціональних значень площ проточної частини та конусності конфузора і відсутності механічного змішувача, забезпечується малий гідравлічний опір проточної частини. Точне відсоткове співвідношення рідини і повітря забезпечується клапаном із електроуправлінням, встановленим на патрубку підводу повітря, та ротаметрами, оснащеними датчиками витрати сигнали, від яких надходять до ПК.

**Ключові слова** – пристрій для змішування рідини з повітрям, клапан, ротаметр, гідравлічний опір, патрубок.

*Постановка проблеми.* Проблема транспортування водоповітряних сумішей існує в багатьох галузях промисловості, а саме нафтогазової, хімічної, мікробіологічної та інших. Для транспортування таких сумішей найбільш ефективно використовувати лопатеві насоси, які в порівнянні з об'ємними мають ряд суттєвих переваг: малу собівартість, високу надійність, можливість перекачування повітряно–рідинних потоків, видаток і напір яких змінюється у широкому діапазоні [1]. У літературних джерелах відсутні дані щодо використання насосного обладнання, яке працює без зриву параметрів на повітряно–рідинних сумішах [1]. Для визначення характеристик таких насосів пропонується проведення експериментальних досліджень на спеціальних стендах, оснащених

пристроями подачі та змішування рідини з повітрям. Зазначимо, що точність визначення процентного вмісту повітря у повітряно–рідинній суміші суттєвим чином залежить від конструктивного рішення такого пристрою.

*Аналіз останніх досліджень.* Розглянемо існуючі пристрої для змішування рідини з повітрям. Так, у пристрої змішування рідини з повітрям, яким оснащено експериментальний стенд кафедри прикладної гідроаеромеханіки СумДУ, регулювання подачі насоса здійснюється засувкою на напірному трубопроводі, а регулювання впускання повітря в підвідний трубопровід – вентиляем на лінії підводу. Надлишок повітря з баку відводиться в атмосферу крізь вентиляем, регулюванням якого підтримується в контурі постійний тиск [2]. Однорідна газорідина суміш отримується за допомогою змішувача, виконаного у вигляді перфорованої трубки для підводу та розсіювання повітря. Однак, даний пристрій не забезпечує однорідність повітряно–рідинної суміші і не дозволяє визначити процентний вміст повітря.

У роботі [3] особливістю пристрою є те, що патрубок, по якому подається повітря від компресора, оснащено перфорованою ділянкою, де відбувається змішування рідини та повітря і яка розташована в точці, де абсолютні значення тиску рідини та повітря є рівними. Недоліком даного пристрою є те, що в ньому використовуються два джерела енергії, що збільшує енергоспоживання, можливість потрапляння рідини в патрубок підводу повітря при раптовому відключенні або виходу з ладу компресора, крім того, він не забезпечує регулювання відсотковим співвідношенням рідини і повітря у широкому діапазоні зміни витрати повітряно–рідинної суміші.

У пристрої [4] змішування повітря та рідини відбувається у вихідній трубі, куди по вхідному патрубку подається повітря, а по патрубку, який коаксіально розташований у вихідній трубі і на виході якого розміщено конус спрямований вершиною в бік вихідної труби. Рідина, яка на виході з щілини утвореної цим патрубком і конусом розширюється, причому прохідний перетин вихідної труби від цієї ділянки зменшується вниз за потоком, внаслідок чого прискорюється потік повітряно–рідинної суміші.

Недоліком цього пристрою є значний його гідравлічний опір, що збільшує енергоспоживання, можливість потрапляння рідини в патрубок підводу повітря при раптовому відключенні або виходу з ладу компресора, геометрія його проточної частини не забезпечує отримання гомогенних повітряно–рідинних сумішей, крім того він не забезпечує регулювання відсотковим співвідношенням рідини і

повітря у широкому діапазоні зміни витрати повітряно–рідинної суміші.

У пристрої для змішування рідини з повітрям[5], у якому є насос з приводом, патрубки вихідний і всмоктуючий виконано у вигляді двох циліндричних труб з'єднаних конфузоровм з кутом конусності  $\alpha$ , причому труба більшого діаметра розташована з боку баку з рідиною та, всередині якої коаксіально розміщено патрубок для підводу повітря, який утримується у всмоктуючому патрубку пілонами і на кінці якого, з боку насоса, встановлений ковпачок з отворами, а інший кінець через клапан з'єднаний з атмосферою. Особливістю даного пристрою для змішування рідини з повітрям є те, що ковпачок патрубку для підводу повітря виконано у вигляді зрізаного конуса з отворами по утворюючій, спрямованого вершиною до входу насоса та оснащеного кришкою, з'єднаною з перемішуючим пристроєм, який виконано у вигляді конічної обичайки з довгими замкнутими по кінцях прорізами, розміщеними під кутом до її утворюючих, яка закінчується конічним обтічником, оснащеним на кінці перед входом до насоса турбінними лопатями, що забезпечують обертання кришки з перемішуючого пристрою в напрямку обертання ротора насоса.

Недоліком даного пристрою є складне конструктивне виконання, підвищене енергоспоживання, мала надійність, нездатність забезпечити регулювання відсоткових співвідношень рідини і повітря у широкому діапазоні зміни витрати газорідинної суміші. Це обумовлено тим, що обертання кришки з перемішуючим пристроєм забезпечується всмоктуючим потоком, патрубок для підводу повітря має рухомі частини, які крім перемішування рідини і повітря змінюють прохідні перетини отворів подачі повітря, що збільшує опір проточної частини цього патрубку, та частота обертання рухомих частин залежить від витрати повітряно–рідинної суміші.

У доступних нам літературних джерелах відсутні відомості, що до простого, енергоефективного, надійного пристрою для змішування рідини з повітрям, який забезпечує регулювання відсотковим співвідношенням рідини і повітря у широкому діапазоні зміни витрати повітряно–рідинної суміші. Таким чином, розробка такого пристрою є актуальним завданням.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Розробка простого та надійного пристрою для змішування рідини з повітрям.

*Пристрій для змішування рідини з повітрям.* Розроблений нами пристрій, рис. 1 і рис. 2 [6] містить насос 2 (тип насоса може бути різним: об'ємним, вихровим, лопатевим – центробіжним або осьовим) з приводом 1 та патрубки вихідний 14 і всмоктуючий 6, який виконано у вигляді двох циліндричних труб – 3, 5 з'єднаних конфузоровм 4 з кутом конусності  $\alpha$ , що знаходиться в межах 30...50°.

Причому труба більшого діаметра 5 розташована з боку баку з рідиною 7, всередині якої коаксіально розміщено патрубок підводу повітря 11, який утримується у всмоктуючому патрубку 6 пілонами 12, та на кінці якого, з боку насоса, в точці найбільшого розрідження всмоктуючого патрубку 6 встановлений ковпачок з отворами 13, діаметри яких знаходяться в межах 0,2...0,7 мм, та сума площ яких дорівнює або більша площі патрубку 11. Інший кінець патрубку для підводу повітря 11 через клапан з електроуправлінням 10 з'єднаний з атмосферою, а площа кільцевої щілини утвореною циліндричною трубою 5 всмоктуючого патрубку 6 і патрубком для підводу повітря 11 дорівнює або більша площі труби 3 цього ж патрубку. В патрубках підвода повітря 11 і вихідному 14 встановлені ротаметри 9, 15, які оснащено датчиками витрати сигнали від яких надходять до ПК 8, який керує відкриттям/закриттям клапана 10.

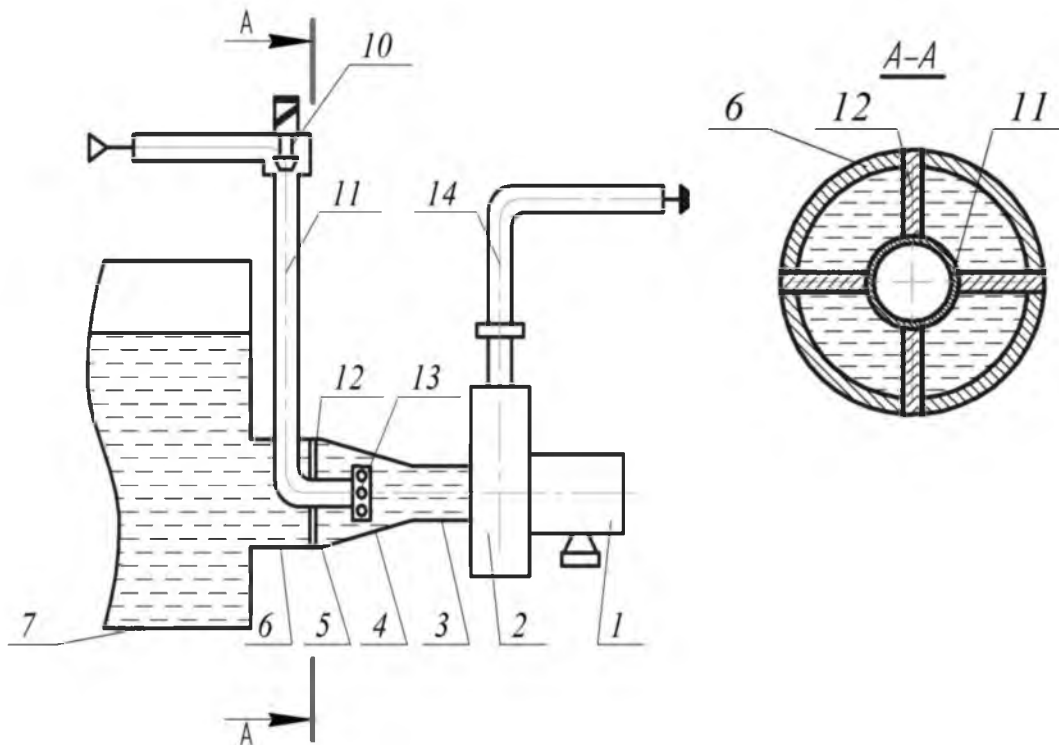


Рис. 1. Схема пристрою для змішування рідини з повітрям

При роботі розробленого пристрою потік рідини засмоктується насосом 2 з баку 7 через патрубок 6, в циліндричній трубі 5 якого з боку баку 7 коаксіально розміщено патрубок підводу повітря 11, який кріпиться у ньому пілонами 12. При проходженні рідини у всмоктуючому патрубку 6 крізь кільцевий канал, утворений циліндричною трубою 5 та патрубком підводу повітря 11, конфузора 4, циліндричної труби 3, у ньому утворюється вихровий рух і розрідження дорівнює або трохи менше за кавітаційний запас насоса

2. Вибір площі кільцевої щілини, утвореної циліндричною трубою 5 всмоктуючого патрубку 6 і патрубком підвода повітря 11 рівною або більшою площею труби 3 цього ж патрубку. Кут конусності конфузора  $\alpha$  знаходиться в межах  $30...50^\circ$  та забезпечує мінімальний гідравлічний опір всмоктуючого патрубку 6. Ковпачок з отворами 13 патрубку підводу повітря 11 розміщено в точці найбільшого розрідження всмоктуючого патрубку 6. Унаслідок перепаду тиску (атмосферного та розрідження всмоктуючого патрубку 6) повітря через ротаметр 9, клапан з електроуправлінням 10 по патрубку підводу повітря, отвори ковпачка 13 всмоктується та у вигляді малих бульбашок потрапляє в рідину, в якій внаслідок утворення вихрового руху останньої, змішується з нею утворюючи гомогенну повітряно-рідинну суміш. Виконання отворів ковпачка 13 з діаметрами в межах  $0,2...0,7$  мм, з сумою площ, що дорівнює або більша площі патрубку 11 забезпечує отримання гомогенної повітряно-рідинної суміші та мінімальний опір патрубку підводу повітря 11. Далі повітряно-рідинна суміш по трубі 3 надходить до насоса 2, де додатково відбувається її перемішування та часткове розчинення повітря в рідині внаслідок підвищення тиску. З насоса 2 повітряно-рідинна суміш по вихідному патрубку 14, ротаметру 15 надходить на вихід пристрою. Сигнали з ротаметрів 9 та 15, які оснащено датчиками витрати, надходять до ПК 8, який керує відкриттям/закриттям клапана з електроуправлінням 10, встановленим на вході патрубку для підводу повітря 11 регулюючи процентне співвідношення рідини і повітря.

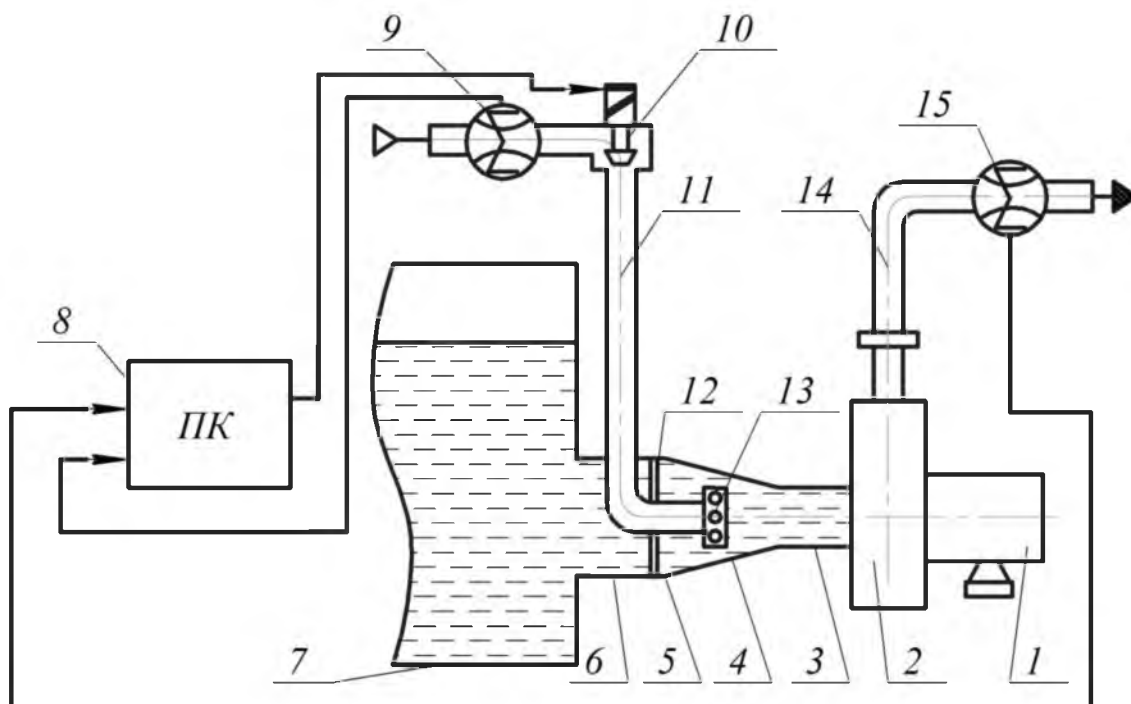


Рис. 2. Схема пристрою для змішування рідини з повітрям, оснащеного ротаметрами з датчиками витрати і ПК

Отримання тонкодисперсної повітряно-рідинної суміші досягається за рахунок встановлення ковпачка 13 з отворами для підводу повітря в точці найбільшого розрідження всмоктуючого патрубку 6, в якій створюється інтенсивне вихроутворення та всмоктування повітря крізь отвори ковпачка 13, які забезпечують рівномірне надходження повітря до рідини без застосування механічних змішувачів, це дозволяє значно спростити конструкцію пристрою, завдяки чому спрощується його обслуговування та підвищується надійність. Виконання площі кільцевої щілини, утвореної циліндричною трубою 5 всмоктуючого патрубку 6 і патрубком підвода газу 11 рівною або більшою площею труби 3 цього ж патрубку та кута конусності конфузора  $\alpha$  в межах  $30...50^\circ$  та отворів ковпачка 13 діаметром  $0,2...0,7$  мм, сума площ яких дорівнює або більша площі патрубку 11, дозволяє отримати мінімальний гідравлічний опір проточної частини пристрою, завдяки чому зменшується його енергоспоживання. Встановлення на вхідному патрубку підводу повітря 11 клапана з електроуправлінням 10 і ротаметра 9 оснащеного датчиком витрати та вихідному патрубку 14 ротаметра 15 оснащеного датчиком витрати, сигнали з яких надходять до ПК 8 і який керує відкриттям/закриттям клапана з електроуправлінням 10, дозволяє забезпечити точне відсоткове співвідношення рідини і повітря.

*Визначення параметрів повітряно – рідинної суміші.* Зазначимо, що при дослідженнях насосів, зазвичай приймають, що структура повітряно-рідинної суміші бульбашкова. Для визначення робочих параметрів насосів, які містять характеристики двофазної рідини, нами пропонується використовувати наступні залежності [7]:

– модуль об'ємної пружності

$$E_C(t) = k(p(t) + 10^5)(Ap(t) + B) \times \frac{(1 - m_0) \sqrt[4]{\frac{Ap_0 + B}{Ap(t) + B}} + m_0 \sqrt[4]{\frac{p_0 + 10^5}{p(t) + 10^5}}}{k(p(t) + 10^5)(1 - m_0) \sqrt[4]{\frac{Ap_0 + B}{Ap(t) + B}} + m_0(Ap + B) \sqrt[4]{\frac{p_0 + 10^5}{p(t) + 10^5}}} ; (1)$$

– густину

$$\rho_C(t) = \rho_{p0} \left\{ (1 - m_0) \left[ 1 + \frac{p(t) - p_0}{E_C(t)} \right] \left[ \frac{1}{1 + \alpha(T(t) - T_0)} \right] \right\} + \rho_{r0} m_0 \frac{p(t)}{p_0} \frac{T_0 + 273^\circ}{T(t) + 273^\circ} ; (2)$$

– коефіцієнт динамічної в'язкості

$$\mu_C(t) = \mu_0(1 + 1,5m_0) \left[ 1 + a \frac{p(t) - p_0}{p_0} \right] e^{-\lambda_T(T(t) - T_0)}; \quad (3)$$

– коефіцієнт кінематичної в'язкості

$$v_{tC}(t) = \frac{\mu_C(t)}{\rho_C(t)}. \quad (4)$$

У наведених вище формулах (1–4) позначено:

$t$  – час;

$k$  – показник політропи;

$p_0$  і  $p(t)$  – початковий і робочий тиски рідини у гідроагрегаті відповідно;

$A, B$  – параметри рідини, визначені з статті [8], у залежності від її температури і марки;

$m_0 = \frac{V_{r0}}{V_{c0}}$  – відношення фази нерозчиненого повітря  $V_{r0}$ , до повного обсягу суміші  $V_{c0}$ ;

$\rho_{p0}$  і  $\rho_{r0}$  – густина рідини і повітряної складової при нормальних умовах відповідно;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини;

$T_0$  і  $T(t)$  – початкова і змінна температура рідини в гідросистемі відповідно;

$a, \lambda_T$  – коефіцієнти ( $a = 0,003$ ;  $\lambda_T$  залежить від типу рідини та для масла гідроагрегатів знаходиться в межах 0,023...0,028 [9]).

*Висновки.* Розроблена нова конструкція пристрою для змішування рідини з повітрям, яка за рахунок встановлення ковпачка з отворами патрубку для підводу повітря в точці найбільшого розрідження всмоктуючого патрубку та вибору раціональних значень площ проточної частини і конусності конфузора  $\alpha$ , дозволяє відмовитися від використання складного механічного пристрою для змішування рідини і повітря, зменшити гідравлічний опір проточної частини та підвищити ефективність змішування. Встановлення на патрубок підводу повітря клапана з електроуправлінням, та в патрубках підвода повітря та вихідному ротаметрів, оснащених датчиками витрати, сигнали від яких надходять до ПК і який керує

відкриттям/закриттям цього клапана, забезпечити точне відсоткове співвідношення рідини і повітря. Наведені аналітичні залежності для визначення параметрів двофазної рідини.

*Література:*

1. Евтушенко А. А. Исследование применения насосного оборудования различных конструктивных схем для перекачивания жидкостей с высоким газовым фактором / А. А. Евтушенко, Э. В. Колисниченко // Вісник СумДУ.– 2003. – № 13(59). – С. 161–164.–(Технічні науки).

2. Сапожніков С. В. Врахування газової складової середовища, що перекачується, при визначенні конструкції та робочої характеристики динамічного насоса: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.17 / С. В. Сапожніков. – Суми, 2002. – 206 с.

3. Патент 2503488 РФ, МКИ<sup>5</sup> В01F3/04. Способ и устройство для газации жидкости / В. Брюннер, Д. Транненберг. – № u201014058/05; заявл. 20.02.09; опубл. 10.01.14. Бюл. № 8.

4. Патент 2193915 РФ, МКИ<sup>5</sup> В01F3/04. Способ смешивания жидкости и газа /С. В. Королев, М. И. Пешков, В. Ф. Маликов. – № u2001107/12; заявл. 21.03. 01; опубл. 10.12.02. Бюл. № 1.

5. Патент 2206377 РФ, МКИ<sup>5</sup> В01F3/04. Устройство для аэрации жидкостей (варианты) / В. Н. Зайцев, М. Д. Акульшин, Р. А. Соловьев. – № u2001129822/12; заявл. 08.11.2001; опубл. 20.06.2003, Бюл. № 18.

6. Патент 116234 Україна, МКИ<sup>5</sup> В01F3/04. Пристрій для змішування рідини з повітрям/ А. Ю. Лебедєв, П. М. Андренко, К. О. Кулініч, В. В. Ендеко. – № u201612372; заявл. 05.12.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. №9.

7. Андренко П.М. Лабіринтно–гвинтові насоси: монографія / П.М. Андренко, А.Ю. Лебедєв.– Харків, 2017. – 156 с.

8. Экспериментальное исследование упругих свойств двухфазных рабочих жидкостей гидроприводов объемного типа / В.Н. Прокофьев [и др.] // Известие ВУЗов. Машиностроение. –1968. – №2. – С. 87–93.

9. Электрогидравлические следящие системы / В.А. Хохлов [и др.]; под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.



## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТИ С ВОЗДУХОМ**

Андренко П. Н., Клитной В. В., Кулинич, К. А., Эндеко В. В.

*Аннотация* – в статье описана конструкция устройства для смешивания жидкости с воздухом, у которого за счет размещения колпачка с отверстиями, патрубка для подвода воздуха, в точке наибольшего разряжения всасывающего патрубка и выбора рациональных значений площади проточной части и конусности конфузора, также отсутствия механического смесителя, обеспечивается малое гидравлическое сопротивление проточной части. Точное процентное соотношение жидкости и воздуха обеспечивается клапаном, с электроуправлением, установленным на патрубке подвода воздуха и ротаметрами с датчиками расхода, сигналы от которых подаются на ПК.

## **ENERGYEFFECTIVE DEVICE FOR MIXING OF LIQUID WITH GAS**

P. Andrenko, V. Klitnoij, K. Kulinich, V. Endeko

### *Summary*

The article the construction of device is described for mixing of liquid with air at that due to placing of disperser with opening, union coupling for admission of air in the point of the greatest discharging of the suction union coupling and choice of rational values of area of running part and tapers of contractor, also absence of mechanical mixer, small hydraulic resistance of running part is provided. Exact percent correlation of liquid and air is provided by a valve, with the electro-management set on the union coupling of air admission and rotameters with the sensors of expense, signals from that are given on PC.