

ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ З РЕГУЛЯРНОЮ РУХОМОЮ НАСАДКОЮ**Л. Л. Гурець**

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: lgurets@bk.ru

Наведені вимоги до вибору газоочисного обладнання для комплексного очищення відхідних газів промислових підприємств. Фізична картина взаємодії фаз в апараті з регулярною рухомою насадкою дала можливість виявити, що регулярне розташування насадкових тіл і періодичність зриву вихорів за елементами насадки призводить до багатократного оновлення поверхні контакту фаз і, таким чином, сприяє підвищенню ефективності процесу пилогазоочищення. На основі теорії ізотропної турбулентності та з урахуванням вихроутворення і пульсації швидкості газорідного потоку в робочій зоні апарату з регулярною рухомою насадкою визначений діаметр крапель рідини. Наведені залежності для визначення швидкості твердих частинок і крапель рідини у вихровому газовому потоці. Графічні залежності, отримані в результаті чисельного розв'язання рівнянь методом Рунге–Кутти, дозволяють визначити зміну швидкості руху твердої частинки та краплі по висоті робочої зони апарату з регулярною рухомою насадкою та показали, що різниця швидкостей краплі та твердої частинки складає 4–5 м/с, що призводить до підвищення ефективності пиловловлення.

Ключові слова:газоочисне обладнання, ефективність, гідродинаміка, крапля.**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТОВ С РЕГУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ****Л. Л. Гурец**

Сумский государственный университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: lgurets@bk.ru

Приведены требования к выбору газоочистного оборудования для комплексной очистки отходящих газов промышленных предприятий. Физическая картина взаимодействия фаз в аппарате с регулярной подвижной насадкой дала возможность выявить, что регулярное расположение насадочных тел и периодичность срыва вихрей за элементами насадки приводит к многократному обновлению поверхности контакта фаз и, таким образом, способствует повышению эффективности процесса пылегазоочистки. На основании теории изотропной турбулентности, с учетом вихреобразования и пульсаций скорости газожидкостного потока в рабочей зоне аппарата с регулярной подвижной насадкой, определен диаметр капель жидкости. Приведены зависимости для определения скорости твердых частиц и капель жидкости в вихревом газовом потоке. Графические зависимости, полученные в результате численного решения уравнений методом Рунге–Кутты, дают возможность определить изменение скорости движения твердой частицы и капли по высоте рабочей зоны аппарата с регулярной подвижной насадкой. Они показали, что разница скоростей капли и твердой частички составляет 4–5 м/с, что приводит к повышению эффективности пылеулавливания.

Ключевые слова:газоочистное оборудование, эффективность, гидродинамика, капля.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. За даними Державної служби статистики, в 2012 році викиди забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел склали 4335,3 тис. т. Протягом 2012 року викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря здійснювали близько 8,4 тис. промислових підприємств, від яких в атмосферу надійшло більше 4,33 млн. т забруднюючих речовин [1]. Через недосконалість технологічних процесів і газоочисного обладнання діючих підприємств в атмосферу надходять гази, що містять різні за токсичністю газоподібні компоненти, пари органічних рідин, дрібнодисперсні краплі і тверді частинки, що призводить до зростання захворюваності та погіршення екологічного стану міст в цілому [2–4]. При цьому ситуація ускладнюється використанням застарілого газоочисного обладнання та його високим зносом.

Існуючі масообмінні і пиловловлюючі газоочисні апарати відрізняються великою різноманітністю конструкцій і принципом роботи та разом з тим не відповідають сучасним еколого-економічним вимогам, так як розроблялися в 60–70-ті роки минулого століття. Аналіз апаратного оформлення технологічних схем очистки газів показує, що при їх компо-

нуванні були відсутні науково-обґрунтовані критерії вибору [5]. Так, для уловлювання одних і тих же компонентів використовуються різні конструкції масообмінних і пило уловлювальних пристроїв. Незважаючи на різноманіття конструктивних удосконалень газоочисного обладнання, апарати не завжди забезпечують необхідну ефективність очищення.

Все вищевказане ставить задачу удосконалення існуючих систем пилогазоочищення шляхом упродовження високо інтенсивного газоочисного обладнання, що працює у режимі розвинутої турбулентності. До нього відносять апарати з регулярною рухомою насадкою, які вигідно відрізняються від загальновідомих насадкових і тарілчастих апаратів високою ефективністю й інтенсивністю ведення процесу, більшим вільним перетином, низьким гідравлічним опором [6]. Ці чинники дають можливість проводити комплексне очищення великих обсягів газових викидів від дисперсних частинок та газоподібних забруднювачів при стабільній роботі обладнання, а також застосовувати різноманітні види поглиначів, які дозволяють запобігти утворенню забруднених стоків. Інтенсивний турбулентний

режим роботи апаратів сприяє підвищенню ефективності масопереносу та пиловловлення за рахунок утворення розвинутої поверхні контакту фаз та її безперервного оновлення.

Мета роботи – визначення гідродинамічних характеристик роботи газоочисного обладнання задля можливості оцінювання ефективності роботи апарата та визначення енергетичних витрат на проведення процесу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Апарати з регулярно рухомою насадкою можуть працювати в режимах висхідної прямотечії, противотечії та спадної прямотечії. Застосування прямо-течійного руху дозволяє проводити процес при швидкості руху газу в апараті 12–20 м/с [7]. Обтікання елементів насадки високошвидкісним газорідним потоком спричиняє зрив вихорів з поверхні насадкових тіл. Причиною цього є миттєва зміна швидкості і тиску в результаті різкої зміни напрямку на краях насадки. Сповільнені частинки, які виходять із зірваного межового шару, утворюють позаду тіла вихровий слід, який складається із досить стабільних вихрових утворень. При послідовному розташуванні насадкових елементів можна створити синхронний режим вихроутворення, який визначається рівністю частоти або періодів утворення імпульсів.

В апаратах з регулярно рухомою насадкою насадкові тіла розміщені рівномірно в об'ємі апарату з кроком по вертикалі та горизонталі, що дозволяє реалізувати режим одночасного вихроутворення. Рух насадки істотно впливає на гідродинамічну обстановку в апараті. Насадка дозволяє розподіляти енергію газорідного шару, сприяє дробленню струменів і створює дрібномасштабні пульсації, тим самим сприяючи інтенсифікації масообміну. З підвищенням швидкості газу спостерігається ріст частоти вібрацій та амплітуди коливань насадкових тіл, що пов'язано зі збільшенням динамічного тиску потоку. Коливальні рухи елементів насадки обумовлюють безупинну зміну локальних швидкостей газу і рідини.

Рух і розпад вихрів відбувається між шарами насадки, за рахунок чого йде постійний процес коалесценції і подрібнення рідини. Плівка рідини, що стікає з насадкових тіл, під впливом пульсації потоку і зриву вихорів розривається на струмені і на деякій відстані від насадкового тіла дробиться на краплі. Рідина в об'ємі апарата знаходиться переважно в вигляді полідисперсної системи крапель. Краплі рідини в турбулентному газовому потоці зливаються, знову дробляться, перемішуються й обмінюються масами, тобто відбувається постійний процес коалесценції і дроблення рідкої фази, що приводить до відновлення поверхні контакту фазі, відповідно, до підвищення ефективності газоочислення. Аналіз даних щодо впливу вихроутворення на процес масообміну показав [8, 9], що збільшення частоти та амплітуди коливань насадки призводять до росту коефіцієнтів масовіддачі та ефективності пиловловлення.

Площа поверхні контакту фаз впливає на ефективність очищення газових викидів. У робочій зоні рідина знаходиться у вигляді плівки на поверхні

насадки та у вигляді крапель у вільному обсязі апарата. Тому для визначення поверхні контакту фаз і розрахунку ефективності процесів газоочислення необхідно знати діаметр краплі рідини.

Середній діаметр крапель визначаємо виходячи з теорії локальної ізотропної турбулентності, на основі якої в роботах [10] розвинута загальна теорія дроблення частинок у турбулентному потоці. За законом збереження енергії, потужність, що дисипується в одиниці маси середовища, для рівних масштабів однакова. Таким чином, відповідно до теорії Колмогорова [11, 12], при ізотропній турбулентності розмір краплі може бути визначений з дисипації енергії.

Силою, що утримує краплю від розриву, є сила поверхневого натягу. Вважаючи, що в момент утворення крапля має сферичну форму, запишемо

$$E = \sigma S_k, \tag{1}$$

де S_k – площа поперечного перерізу краплі, м².

Енергія, що передається краплі масою m_k від вихору при обтіканні насадкового тіла, буде дорівнювати

$$A_k = \frac{m_k w'^2}{2} = \frac{\pi \rho_k d_k^3 w'^2}{12}, \tag{2}$$

де w' – середня пульсаційна швидкість, м/с; ρ_k – густина краплі, кг/м³.

Розв'язуючи разом рівняння (1) і (2) одержимо

$$\sigma \pi d_k^2 = \frac{\pi \rho_k d_k^3 w'^2}{12}, \tag{3}$$

де $d_k = \frac{12\sigma}{\rho_k w'^2}.$ (4)

Пульсаційна швидкість, яка виникає при великих числах Re у ядрі потоку, для випадку ізотропної турбулентності може бути визначена відповідно до закону Колмогорова–Обухова

$$w' = B \sqrt[3]{\epsilon l_T}, \tag{5}$$

де l_T – масштаб турбулентності, м; B – безрозмірна константа.

Дисипацію енергії визначимо за формулою

$$E = \frac{N}{V_l \rho_r}, \tag{6}$$

де $V_l = S_n \sigma_r$ – об'єм рідини на елементі насадки, м³; S_n – площа поверхні елемента насадки, м²; σ_r – товщина плівки на елементі насадки, м; ρ_r – густина рідини, кг/м³; N – потужність вихору, утвореного при обтіканні елемента насадки, яка визначається за формулою

$$N = c \rho_g S_c \frac{u_g^3}{2}, \tag{7}$$

де $u_g = \frac{w_g}{V_v}$ – дійсна швидкість газу в шарі насадки, м/с; V_v – питомий вільний об'єм апарата; c – коефіцієнт опору елемента насадки; S_c – площа перетину елемента насадки, м².

Спільне рішення рівнянь (4)–(7) дозволяє одержати вираз для визначення діаметра краплі

$$d_k = k \left(\frac{\sigma}{\rho_r} \right)^{0,6} \left(\frac{\delta}{c} \right)^{0,4} \left(\frac{S_n}{S_c} \right)^{0,4} \left(\frac{\rho_r}{\rho_g} \right)^{0,4} \left(\frac{V_v}{w_g} \right)^{1,2}, \quad (8)$$

або

$$d_k = k \frac{\sigma^{0,6}}{\rho_r^{0,2} \cdot \rho_g^{0,4}} \left(\frac{\delta}{c} \right)^{0,4} \left(\frac{S_n}{S_c} \right)^{0,4} \left(\frac{V_v}{w_g} \right)^{1,2}, \quad (9)$$

де k – коефіцієнт, який залежить від режиму обтікання краплі. Для $Re_k > 800$ $k=1,1$ [13, 14].

В апаратах з регулярною рухомою насадкою реалізуються два механізми пилоосадження – турбулентно-інерційний і турбулентно-дифузійний – залежно від густини і розміру частинок. Частинки твердої фази мають розмір значно менший розміру турбулентних пульсацій потоку і тому утягуються у пульсаційний вихровий рух газового потоку. Дрібні частинки, які характеризуються високим ступенем захоплення, осаджуються на поверхню рідини під впливом турбулентно-дифузійного механізму. Більш великі частинки, які мають велику інерційність, осаджуються на краплях рідини під впливом турбулентно-інерційного механізму, обумовленого різною швидкістю руху частинок і крапель в газовому потоці. Ефект захоплення стає значним при осадженні частинок на сферах дуже маленького діаметра. При введенні крапель води в потік газу ефективність захоплення зростає зі зменшенням розміру краплі і досягає великих значень і для дуже дрібних частинок. Висока ефективність уловлювання краплями дрібних частинок пояснюється тим, що, крім інерційного механізму осадження, тут за рахунок значної поверхні крапель можливо осадження дуже дрібних частинок.

Зазвичай частинки розміром порядку мікрона не виявляють своїх інерційних властивостей на радіусі лінії струму газу, яка визначається радіусом краплі, і їх уловлювання відбувається в тому випадку, якщо вони проходять на відстані від поверхні краплі, що не перевищує радіус самої частинки. Частинки, розмір яких складає долі мікрона, уловлюються за рахунок механізму броунівської дифузії. Крім того, в апараті створюються відносно великі швидкості частинок і краплі.

Ефективність пиловловлення підвищується зі збільшенням кількості рідини, яка знаходиться в робочому об'ємі апарата у вигляді крапель, відносно швидкості газового потоку, розміру частинок і зі зменшенням діаметра краплі. В роботі [15] показано, що велика різниця між швидкостями газу і рідини дозволяє розглядати процес пилоочищення як фільтрацію газів через об'ємний дрібнозернистий фільтр,

зернами якого є крапельки води.

Для визначення швидкості руху частинок у турбулентному потоці приймаємо наступні допущення:

- сили гідродинамічної взаємодії між частинками в зв'язку з їх малою об'ємною концентрацією малі, тому ними можна знехтувати;
- електричні, дифузійні й інші сили негідродинамічної природи відсутні;
- швидкість коагуляції частинок незначна;
- частинки мають сферичну форму;
- обертання частинок не враховується;
- полідисперсність частинок враховується пофракційним розрахунком швидкості руху кожної частинки.

Таким чином, рівняння руху одиночної частинки з густиною, яка набагато перевищує густину середовища, має вигляд

$$\rho_p \frac{\pi d_p^3}{6} \frac{dw_p}{d\tau} = \xi_p \rho_g \frac{\pi d_p^2}{8} |w_g - w_p| (w_g - w_p) + \frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho_p g, \quad (10)$$

де d_p – діаметр твердої частинки, м; ρ_p – густина твердої частинки, кг/м³; w_p – швидкість газу, м/с; τ – час, с.

Розділивши рівняння (10) на $m_p = \frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho_p$ і підставивши для опису коефіцієнта опору залежність

$$\xi_p = \frac{24}{Re_p} (1 + 0,125 Re_p^{0,72}), \quad (11)$$

де $Re_p = \frac{d_p |w_g - w_p|}{\nu_g}$ – число Рейнольдса для аерозольних частинок, яка дає в діапазоні $0,1 < Re < 1000$ похибку 2,5 %, одержимо

$$\frac{dw_p}{dt} = \frac{1}{\tau} (w_g - w_p) (1 + 0,125 Re_p^{0,72}) + g. \quad (12)$$

Рівняння (12) розв'язане методом Рунге–Кутти. Графічна залежність, отримана в результаті чисельного рішення, приведена на рис. 1.

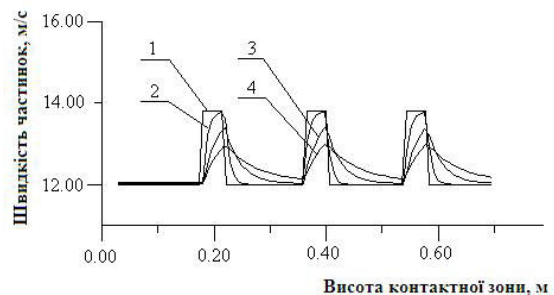


Рисунок 1 – Зміна швидкості руху часток за висотою робочої зони апарата з регулярною рухомою насадкою

насадкою: 1 – швидкість газу; 2 – $d_p = 10$ мкм;

3 – $d_p = 20$ мкм; 4 – $d_p = 30$ мкм

При визначенні швидкості руху краплі застосовуємо аналогічний підхід. Однак при $Re_k > 100$ необхідно враховувати вплив деформації краплі на коефіцієнт опору [16].

Для цього в діапазоні $100 \leq Re_k \leq 800$ запропоновано вводити коефіцієнт форми краплі

$$\Phi = \frac{5,5}{Re_k^{0,25}} We^{0,2}, \quad (13)$$

де $We = \frac{|w_g - w_k| d_k \rho_k}{\sigma}$ – число Вебера.

У цьому випадку для деформованої краплі коефіцієнт опору

$$\xi_k' = \xi_k \Phi^2, \quad (14)$$

де ξ_k – коефіцієнт опору сферичної краплі.

Застосовуючи для визначення опору недеформованої краплі залежність (11) з урахуванням залежностей (13) і (14) аналогічно виразу (12) одержимо

$$\frac{dw_k}{dt} = \frac{1}{\tau} (w_g - w_k) (1 + 0,125 Re_k^{0,72}) \times \frac{30,25 We^{0,4}}{Re_k^{0,5}} + g \quad (15)$$

Графічна залежність, отримана в результаті чисельного розв'язання рівняння (15) методом Рунге-Кутти, приведена на рис. 2.

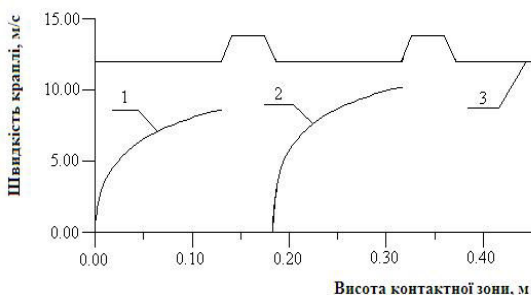


Рисунок 2 – Зміна швидкості руху краплі за висотою робочої зони апарату з регулярною рухомою насадкою: 1 – $d_k = 0,6$ мм; 2 – $d_k = 0,3$ мм; 3 – швидкість газу

Залежності, приведені на рис. 1 і 2, показують, що різниця в швидкостях газу та крапель рідини складає 4–5 м/с, що призводить до підвищення ефективності пиловловлення в апаратах з регулярною рухомою насадкою.

ВИСНОВКИ. Отримані на основі теорії ізотропної турбулентності залежності для визначення діаметра краплі, швидкості руху частинок та крапель в робочій зоні апарата дозволяють визначити площу поверхні контакту фаз та ефективність пилогазоочистлення в апаратах з регулярною рухомою насадкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2012 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT&K-2014. – 415 с.
2. Шмандий В.М., Старовойда А.Л. Оценка техногенной опасности, формируемой промышленными предприятиями // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 2/2002 (13). – С. 77–80.
3. Бахарев В.С. Теоретичні аспекти формування регіональної екологічної небезпеки, пов'язаної з пиловим забрудненням атмосферного повітря // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 2/2005 (31). – С. 92–95.
4. Козій І.С., Гурець Л.Л. Вплив виробництва двоокису титану на атмосферу // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 4/2009 (57). – С. 132–134.
5. Пляцук Л.Д., Гурець Л.Л. Методология исследования и выбора пылегазоочистного оборудования // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1(18). – С. 144–148.
6. Гурець Л.Л. Комплексний підхід до очищення газів, що відходять, у апаратах з регулярною рухомою насадкою // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – Вип. 1/2007 (42), част. 1. – С. 132–134.
7. Холпанов Л.П., Николаев Н.А., Малюсов В.А., Жаворонков Н.М. Интенсификация переноса массы в пленке жидкости, двигающейся прямооточно с высокоскоростным потоком газа или пара // Теор. осн. хим. технол. – 1989. – Т. 23, № 5. – С. 563–568.
8. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии / Под ред. Р.Ф. Ганиева. – К.: Техніка, 1980. – 142 с.
9. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
10. Стулов Л.Д., Мурашкевич Ф.И., Фукс Н.А. Об эффективности столкновений твердых аэрозольных частиц с поверхностью воды // Коллоид. журнал. – 1978. – Т. 40, № 3. – С. 513–517.
11. Колмогоров А.Н. Уравнения турбулентного движения в несжимаемой жидкости // Известия АН СССР. Сер. физика. – 1942. – Т. 6. – С. 56–58.
12. Кафаров В.В., Кулов Н.Н., Дорохов И.И. Перспективы развития научных основ химической технологии // Теор. осн. хим. технол. – 1990. – Т. 24, № 1. – С. 3–11.
13. Сейтханов Н.Т., Балабеков О.С., Бекибаев Н.С. и др. Расчет процесса распыливания жидкостей в теплообменном аппарате с регулярной пластинчатой насадкой // Наука и образование Южного Казахстана. – 2002. – № 28. – С. 177–180.
14. Hottowy I.D., Sulbert N.D. Drag Coefficients for Irregularly Shaped Particles // Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development. – 1979. – Vol. 18, № 13. – PP. 433–436.
15. Вальдберг А.Ю., Кирсанова Н.С. Метод расчета эффективности осаждения частиц в скруббере

Вентури // Теор. осн. хим. техн. – 1991. – Т. 25, № 4. – С. 594–598.

16. Балабеков О.С., Крганбаев Б.Н., Ескендиоров М.З., Алтаев М.А. Учет формы капли при расчете

ее скорости движения // Доклады НАН РК. – Алматы, 2002. – № 6. – С. 99–105.

HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS DEVICE WITH REGULAR MOBILE NOZZLE INCLUDED

L. Gurets

SumyStateUniversity

vul. Rimsky-Korsakov, 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: lgurets@bk.ru

The requirements for the selection of gazoochisnogo equipment for complex flue gas cleaning industry. Physical picture of the interaction of phases in the device with a regular mobile nozzle gave an opportunity to reveal that the regular arrangement of packed bodies and vortex shedding frequency for packing elements leads to multiple renewal phase contact surface and so on-again, enhances the effectiveness of the process gas treatment. Based on the theory of isotropic turbulence, vortex shedding and taking into account the speed fluctuations in the gas-liquid flow of the working area with a regular mobile device nozzle diameter of the liquid droplets is determined. The dependencies for determining the speed of the solid particles and liquid droplets in the gas vortex flow. Graphic matter-of, obtained by numerical solution of the equations by the Runge-Kutta methods, allow the definition-share change the speed of the solid particles and droplets height of the working area with a regular mobile device attachment and showed that the difference between the speed of the drop and the solid particles is 4–5 m/s, which leads to under-dust collecting efficiency.

Key words: gas treatment equipment, efficiency, hydrodynamics, drop.

REFERENCES

1. Natsionalna dopovid pro stan navkolichnjogo prirodnoho seredovicha v Ukraini u 2012rotci [National Report on the State of Environment in Ukraine in 2012], LAT & K, Kyiv, Ukraine.

2. Shmandii, V.M. and Starovojda, A.L. (2002) "Evaluation of man-made hazards that formed the industrial enterprises", *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*, vol. 2, no. 13, pp. 77–80.

3. Baharev, V.S. (2005) "Theoretical aspects of regional environmental hazards associated with dust air pollution", *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*, vol. 2, no. 31, pp. 92–95.

4. Kozij, I.S. and Gurets, L.L. (2009) "The impact of production of titanium dioxide to the atmosphere", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy State Polytechnic University*, vol. 3, no. 31, pp. 132–134.

5. Plyatsuk, L.D. and Gurets, L.L. (2014) "The research methodology and the choice of gas and dust filters", *Regionalnaja architektura i stroitelstvo*, vol. 1, no. 18, pp. 144–148.

6. Gurets, L.L. (2007) "An integrated approach to flue gas cleaning devices in the head with a regular mobilenozzle", *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*, vol. 1, no. 42, pp. 132–134.

7. Holpanov, L.P., Nikolaev, N.A., Maljusov, V.A. and Zhavoronkov, N.M. (1989) "The intensification of the mass transfer in the liquid film moving parallel flow with high velocity gas or vapor", *Teoreticheskie osnovi chimicheskoy technology*, vol. 23, no. 5, pp. 563–568.

8. Ganiev, R.F. (1980) *Kolebatelnie yavlenija v mnogofaznich gasozhidcostnich sredah i ichispolzovanie v technologii* [Oscillatory phenom ainnultiphase media and their use in technology], Technica, Kiev, Ukraine.

9. Kutateladze, S.S. and Ctirikovitch, M.A. (1976) *Hydrodinamika gazogidcostnih sistem* [Hydrodynamics of gas-liquid systems], Energija, Moscow, Russia

10. Stulov, L.D., Murachkevith, F.I. and Fuks, N.A. (1978) "On the efficiency of the collision of solid aerosol particles with the surface of the water", *Kolloidnij Journal*, vol. 40, no. 3, pp. 513–517.

11. Kolmogorov, A.N. (1942) "The equations of turbulent motion in anincompressible liquid", *Izvestija AN SSSR. Ser. fizika*, vol. 6, pp. 56–58.

12. Kafarov, V.V., Kulov, N.N. and Dorohov, I.I. (1990) "Prospects for the development of scientific bases of Chemical Technology", *Teoreticheskie osnovi chimicheskoy technology*, vol. 24, no. 1, pp. 3–11.

13. Sejthanov, N.T., Balabekov, O.S., Volnenko, A.A. and Korganbaev, B.N. (2002) "The calculation process of atomization of liquids in heat and mass transfer device with a regular nozzle plate", *Nauka I obrazovanie Yugnoho Kazahstana*, vol. 28, pp. 177–180.

14. Hottowy I.D. and Sulbert N.D. (1979) "Drag Coefficients for Irregularny Shaped Particles", *Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development*, vol. 18, no. 13, pp. 433–436.

15. Valdberg, A.J. and Kirsanova, N.S. (1991) "The method of calculating the efficiency of particle deposition in the Venturi scrubber", *Teoreticheskie osnovi chimicheskoy technology*, vol. 25, no. 4, pp. 594–598.

16. Balabekov O.S., Korganbaev B.N., Eskinderov M.Z. and Altaev M.A. (2002) "Account of the drop in the calculation of its speed", *Docladi NAN RK*, vol. 6, pp. 99–105.

Стаття надійшла 30.10.2014.