



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ЦЕНТРИФУГИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ «ПРОЦЕСИ
ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

Київ НТУУ «КПІ» 2008

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ЦЕНТРИФУГИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ НДРС З КУРСУ
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ
ВИРОБНИЦТВ»

Для студентів інженерно-хімічного та хіміко-технологічного факультетів всіх форм навчання

Затверджено на засіданні
кафедри машин та апаратів
хімічних і нафтопереробних виробництв
Протокол № 4 від 15.10.08 р.

Київ НТУУ «КПІ» 2008

Дослідження роботи фільтраційної центрифуги: Метод. вказівки до проведення НДРС з курсу «Процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв» для студентів інженерно-хімічного та хіміко-технологічного факультетів всіх форм навчання / Укл.: О.Г. Зубрій, Я.М. Корнієнко, О.О Семінський – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 16 с.

Укладачі: О.Г. Зубрій, канд. техн. наук, доцент

Я.М.Корнієнко, доктор техн. наук, професор

О.О. Семінський, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: В.Л. Ракицький, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: В.І. Сівецький, канд. техн. наук, професор

1. ВСТУП І ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є ознайомлення з конструкцією і принципом дії горизонтальної фільтраційної центрифуги періодичної дії з ножовим видаленням осаду і дослідження процесу розділення суспензії.

Задачі дослідження:

1. На основі експерименту визначити витрати енергії на проведення центрифугування, оцінити продуктивність і ефективність центрифуги.
2. Користуючись наведеними теоретичними залежностями визначити витрати енергії в центрифугі.
3. Провести аналіз одержаних результатів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Процес розділення неоднорідних рідких систем в під дією відцентрових сил називається центрифугуванням.

В даній роботі для дослідження процесу центрифугування обрано горизонтальну фільтраційну центрифугу періодичної дії з ножовим видаленням осаду. Фільтраційні центрифуги широко застосовуються в промисловості для розділення грубо- та середньодисперсних суспензій. Їх суттєвою перевагою є можливість повної автоматизації процесу розділення. Ножове зрізання осаду дозволяє швидко і якісно видалити накопичений осад, але при цьому відбувається його подрібнення, що в деяких випадках обмежує застосування цього способу розвантаження.

Процес розділення у фільтраційних центрифугах складається з таких стадій: 1) утворення осаду; 2) ущільнення осаду; 3) механічне сушіння осаду 4) промивання осаду (застосовується для полегшення видалення його з поверхні ротора).

На швидкість центрифугування і чистоту розділених компонентів суспензії суттєво впливають товщина і структура осаду. Наразі застосовуються дві основні моделі структури осаду:

1. Капілярна модель. Найпростіша її інтерпретація полягає в тому, що осад вважається суцільним по всьому об'єму середовищем з рівномірно розподіленими паралельними тонкими каналами малого діаметра – капілярами. Пористість осаду однакова і не змінна, а всі капіляри рівномірно заповнені рідиною, тобто проходження рідиною осаду відбувається в поршневному режимі.

Ця модель може бути уточнена, якщо прийняти що капіляри мають різні перерізи і з'єднані між собою поперечними порами. Таким чином виникають перетікання рідини з капіляру в капіляр і її змішування в шарі осаду. При цьому час проходження кожної окремої порції рідини крізь шар осаду різний.

2. Агрегаційна модель. Її спрощеним варіантом є модель укладених сфер, за якою структура осаду приймається складеною з крупних сферичних частинок однакового розміру, утворених з'єднанням частинок осаду між собою, які укладені в певному порядку. В загальному ж випадку за цією моделлю враховують, що крупні частинки мають різну форму і розміри.

Математичний опис основних стадій відцентрового розділення складається з двох моделей – утворення осаду і видалення рідини з осаду.

Математична модель утворення осаду. Математична модель цієї стадії виражається рівнянням швидкості накопичення осаду:

$$\frac{dV_{oc}}{d\tau} = C_1 C + C_2 w_0 F_r,$$

де V_{oc} – об’єм осаду, м^3 ; τ – час, с; C_1 і C_2 – константи рівняння; C – швидкість фільтрації, $\text{м}/\text{с}$; w_0 – швидкість осідання твердих частинок суспензії у полі сил тяжіння, $\text{м}/\text{с}$; F_r – фактор розділення.

Це рівняння отримано при таких припущеннях: рідина тече порами осаду радіально в ламінарному режимі; приріст гідростатичного тиску за рахунок зміни кінетичної енергії рідини при її русі у радіальному напрямку знехтовно малий в наслідок малого значення відношення товщини шару осаду до радіуса ротора; силою тяжіння знехтовано, оскільки вона незначна порівняно з відцентровою (фактор розділення набуває значення кількох сотень); опір фільтруючої перегородки у процесі фільтрації з утворенням осаду залишається незмінним.

При подачі суспензії з напірної ємкості продуктивність по суспензії визначається за рівнянням

$$Q_{cn} = Q_{cn_{\max}} - k\tau,$$

де $Q_{cn_{\max}}$ – максимальна продуктивність на початку подачі суспензії, $\text{м}^3/\text{год}$; k – дослідний коефіцієнт, який визначається розміром посудини і залежить від гідравлічного опору трубопроводу на ділянці від посудини до ротора центрифуги, $\text{м}^3/\text{с}$.

Рівняння фільтрації для суспензії, яка частково розшаровується має вигляд

$$\frac{dV_{\phi}}{d\tau} = \frac{A(2Q_{cn_{\max}}\tau - k\tau^2 - 2V_{\phi})}{U(2Q_{cn_{\max}}\tau - k\tau^2) + 2B},$$

де V_{ϕ} – об’єм освітленої рідини (фугату), м^3 ; A , B , U – параметри, значення яких розраховується з виразів:

$$A = \frac{\omega^2 r_{cp} F}{\nu L_v}; \quad B = \frac{\beta F}{L_v}; \quad U = \frac{V_{oc}}{V};$$

V_{oc} – об’єм осаду, m^3 ; ω – кутова швидкість ротора, $1/c$; r_{cp} – середній радіус, m ; F – поверхня фільтруючої перегородки, m^2 ; ν – кінематичний коефіцієнт в’язкості фугату, m^2/c ; L_V – питомий об’ємний опір осаду, $1/m^2$; β – опір фільтруючої перегородки, віднесений до одиниці в’язкості, $1/m$.

Математична модель видалення рідини з осаду описується рівнянням кінетики

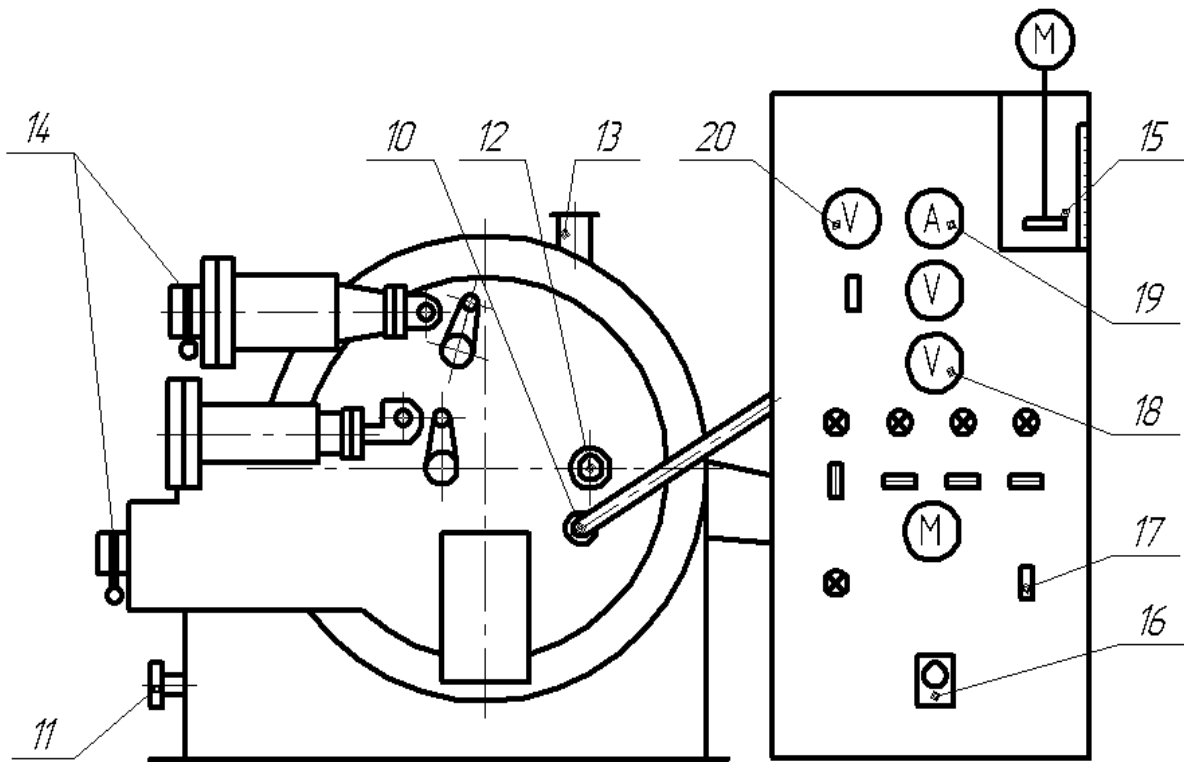
$$-\frac{dS}{d\tau} = \frac{\omega^2 r_{cp}}{\nu L_0 \varepsilon_{oc} h_{oc}} \left[\frac{(R-r) - h_k}{R-r} \right],$$

де S – насиченість осаду рідиною; h_{oc} – товщина шару осаду, m ; h_k – висота капілярного підйому, m ; R , r – відповідно внутрішній радіус ротора і поточний радіус осаду, m ; ε_{oc} – пористість осаду.

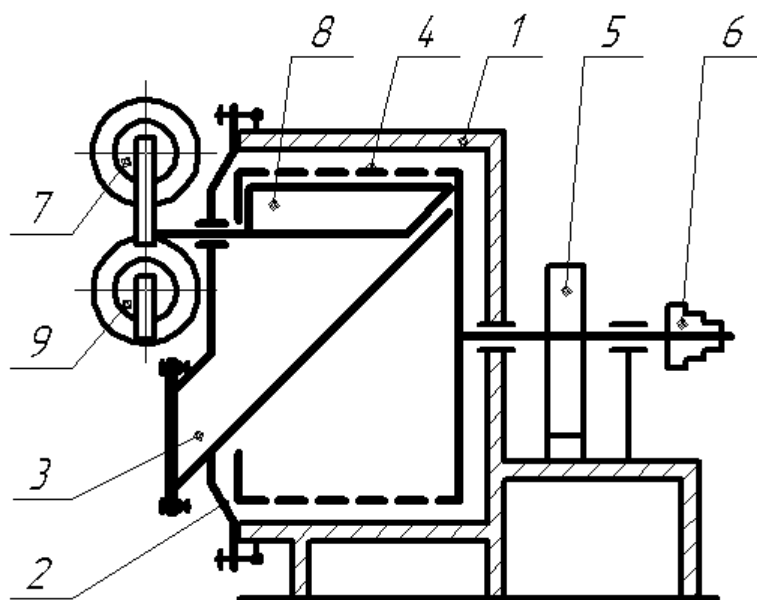
3. ОПИС ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ

Схему лабораторної установки наведено на рис. 1.а. Основним елементом установки є центрифуга типу МГ-350 (рис. 1.б), яка складається із станини 1, що є одночасно і корпусом. На станині встановлено два підшипники, в яких горизонтально встановлений вал ротора. На одній стороні вала закріплений шків клинопасової передачі 6 привода центрифуги, а на другій – фільтруючий циліндричний барабан 4. В середній частині вала встановлено стрічкове гальмо 5. В нижній частині корпусу розміщено патрубок 11 для відведення фугату, а у верхній – повітряну витяжку 13. Кожух закривається шарнірною кришкою 2, яка фіксується відкидними болтами. На кришці встановлені механізм зрізання осаду 7; механізм для підведення та відведення трубки, якою з барабану відводиться рідина з меншою густиною 9; лоток 3 для відведення осаду з барабану центрифуги, патру-

бок 10 для подачі суспензії до ротора і патрубков 12 для подачі промивної рідини.



а)



б)

Рис. 1 – Схема лабораторної установки: а) загальний вигляд установки; б) схематичне зображення центрифуги.

Механізм зрізання осаду 7 складається з ножа 8, закріпленого на осі, яка проходить через отвір в кришці 2 і з'єднується кулісою з штоком масляного циліндра привода. Механізм для підведення та відведення трубки, що відводить менш густу рідину з ротора 9, має аналогічну конструкцію, але замість ножа встановлюється перфорована трубка. Масло в циліндри механізмів 7 і 9 подається насосом (на схемі не показаний), який має індивідуальний двигун змінного струму. Перемикання руху ножа 8 і перфорованої трубки здійснюється поворотом триходового крана 14, встановленого на масляних комунікаціях.

Вал ротора центрифуги з'єднаний клинопасовою передачею з електродвигуном постійного струму, який встановлено в нижній частині шафи управління (рис. 1.а).

Напірний бак 15 використовується для приготування суспензії і подачі її в ротор центрифуги. Він обладнаний перемішувачем, показчиком рівня заповнення, патрубком для підведення води, патрубком для відведення суспензії і приладом для вимірювання температури.

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБОТИ

До пуску центрифуги:

- перевірити наявність заземлення корпусу центрифуги;
- перевірити наявність і цілісність огорожень рухомих частин установки;
- відкрити кришку 2 центрифуги і переконатися у відсутності сторонніх предметів у роторі, закрити кришку 2 і надійно закріпити її відкидними болтами;
- переконатися у відсутності заклинювання клинопасової передачі;

– перед пуском центрифуги попередити про це усіх, хто перебуває біля установки.

Увага! Вмикати установку можна тільки при закритій кришці. Відкривати кришку дозволяється тільки при повній зупинці ротора.

Під час роботи центрифуги:

– не дозволяється торкатися рухомих частин та їх огорожі;
– намагатися не розливати на підлогу рідину та суспензію;
– суворо дотримуватися порядку проведення роботи згідно з методикою;

– після закінчення роботи і вимикання всієї установки очистити робоче місце від вологи, бруду і сторонніх предметів, здати установку лаборанту;

– при будь-якому порушенні режиму роботи установки звертатися до викладача і лаборанта.

Категорично забороняється студентам самотійно ліквідувати несправності обладнання.

Таблиця 1 – Параметри робочих органів центрифуги

Внутрішній діаметр ротора $D = 0,35$ м	Діаметр ведучого шківа $D_m = 0,212$ м
Зовнішній діаметр ротора $D_n = 0,375$ м	Діаметр веденого шківа $D_\delta = 0,12$ м
Внутрішня довжина ротора $L = 0,165$ м	Діаметр вала у підшипниках $d = 0,05$ м
Зовнішня довжина ротора $L_n = 0,185$ м	Маса ротора $m_{р..ч} = 100$ кг 39,87

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОСНОВНІ ВИМІРЮВАННЯ

1. Приготування суспензії. Відповідно до одержаного завдання взяти m_n кілограмів перліту. Увімкнути тумблер «Вода» на шафі управління і подати в напірний бак 15 задану кількість води V_6 .

Увімкнути тумблер «Мішалка» та засипати в бак 15 зважену кількість перліту.

Для утворення суспензії проводити перемішування протягом п'яти хвилин, після чого зупинити перемішуючий пристрій і виміряти об'єм суспензії V_{cn} . Підготувати дві ємкості для фугату та осаду. Підставити під патрубок 11 ємкість для фугату.

2. Підготовка центрифуги до роботи. Відкрити кришку 2 і переконатися у відсутності сторонніх предметів у роторі. Закрити засувку на патрубку 12 приблизно на половину. Закрити кришку 2 на всі відкидні болти та відкрити повітряну витяжку 13. Перевірити, щоб гальмо 5 було відпущене.

3. Пуск центрифуги. Вивести реостат 16 у крайнє положення обертанням маховика проти годинникової стрілки. Увімкнути тумблер 17 ланцюга управління і натиснути кнопку «Пуск». Обертаючи маховик реостата 16 за годинниковою стрілкою задати необхідне значення напруги на вольтметрі тахогенератора 18, яка відповідає заданому числу обертів електродвигуна привода центрифуги. Графік залежності числа обертів двигуна від напруги зображений на рис. 2. Одночасно з вмиканням кнопки «Пуск» запустити секундомір і стежити за показами амперметра 19 і вольтметра 20.

Час з моменту вмикання кнопки «Пуск» до виходу двигуна на задане числа обертів є часом пускового періоду τ_n .

Потужність холостого ходу центрифуги розраховується за показами амперметра 19 і вольтметра 20.

4. Процес центрифугування. Одночасно з подачею суспензії до ротора запустити секундомір.

За амперметром 19 виміряти максимальне значення сили струму I_n , а за вольтметром 20 – максимальне значення напруги U_n . Визначити час їх досягнення τ_{nc} (без зупинки секундоміра). Після вста-

новлення значень сили струму і напруги виміряти робочу силу струму I_p і робочу напругу U_p .

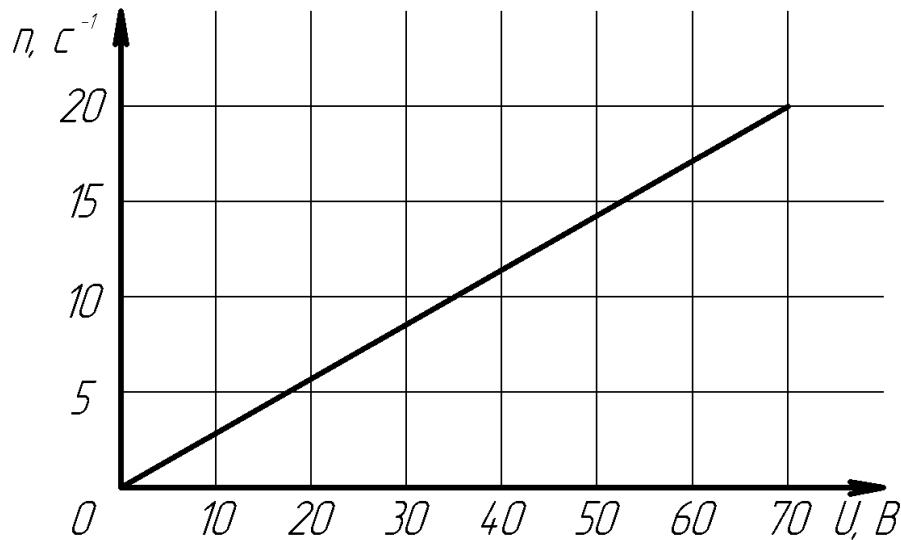


Рис. 2. – Залежність частоти обертання електродвигуна від напруги, що виробляється техногенератором

Уважно стежити за рівнем суспензії в напірному баці 15. Як тільки суспензія вийде з напірного бака необхідно підставити ємкість під патрубок 11. В ній зібрати і виміряти об'єм фугату V , який вийшов з цього моменту до кінця процесу центрифугування.

Виміряти тривалість центрифугування τ_u , від моменту подачі суспензії до центрифуги до кінця виходу фугату.

5. Об'єм осаду. Зменшити число обертів електродвигуна до 5...6 1/с. Увімкнути тумблер «Маслонасос», і коли тиск масла підніметься до 0,4 МПа, відкрити лоток 3, під який підставити ємкість для осаду і за допомогою триходового крана увімкнути механізм 7 для зрізання осаду. Одночасно виміряти тривалість зрізання осаду $\tau_{зр}$ (час від підведення до відведення ножа).

6. Зупинка центрифуги. Вимкнути всі електродвигуни і після зупинки ротора центрифуги 4 відкрити кришку 2. Витерти центрифугу всередині та зовні, осад здати лаборанту, вилити фугат.

Прибрати робоче місце.

За результатами проведено дослідження занести до протоколів лабораторної роботи наступні дані: час холостого пуску τ_x , с; час пуску τ_n , с; час центрифугування τ_u , с; час зрізання осаду τ_{zp} , с; час промивання τ_{np} , с; об'єм води $V_в$, м³; об'єм суспензії V_{cn} , м³; робочий об'єм ротора центрифуги V_p , м³; об'єм фугату V_ϕ , м³; маса твердої фази $m_{тв}$, кг; температура суспензії t_c , °С; частота обертання електродвигуна n , 1/с; напруги при пуску U_n , холостому U_x , і робочому U_p ході, В; сили струму при пуску I_n , холостому I_x , і робочому I_p ході, А.

6. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Повний час циклу центрифугування, с:

$$\tau = \tau_u + \tau_{zp} + \tau_n.$$

2. Частота обертання ротора центрифуги, 1/с:

$$n_p = n_o \frac{D_m}{D_o}.$$

3. Фактор розділення

$$F_r = \frac{2D(\pi n_p)^2}{g},$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с².

4. Об'єм твердої фази, м³:

$$V_{тв} = V_{cn} - V_в.$$

5. Площа поверхні фільтрації в барабані центрифуги, м²:

$$F = \pi DL.$$

6. Швидкість фільтрації у центрифугі, м/с:

$$C = \frac{V_{cn}}{F\tau}.$$

7. Продуктивність центрифуги, м³/с:

– по суспензії

$$Q_{cn} = \frac{V_{cn}}{\tau};$$

– по фугату

$$Q_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{\tau};$$

– по осаду

$$Q_{oc} = \frac{V_{oc}}{\tau},$$

де V_{oc} – об'єм утвореного осаду, м³:

$$V_{oc} = V_{cn} - V_{\phi}.$$

8. Ступінь заповнення ротора:

$$\varphi = \frac{V_3}{V_p}.$$

9. Маса суспензії, кг:

$$m_{cn} = m_{\epsilon} + m_{m\epsilon},$$

де m_{ϵ} – маса води, кг:

$$m_{\epsilon} = \rho_{\epsilon} V_{\epsilon},$$

ρ_{ϵ} – густина води, кг/м³; V_{ϵ} – об'єм води, м³.

10. Маса фугату, кг:

$$m_{\phi} = V_{\phi} \rho_{\epsilon}.$$

11. Маса осаду, кг:

$$m_{oc} = m_{cn} - m_{\phi}.$$

12. Маса води в осаді, кг:

$$m_{eo} = m_{oc} - m_n.$$

13. Відносна вологість осаду:

$$W = \frac{m_{eo}}{m_{oc}}.$$

14. Маса твердої фази, віднесена до 1 м³ фугату, кг/м³:

$$q = \frac{m_{m\phi}}{V_{\phi}}.$$

15. Товщина шару осаду, м:

$$h_{oc} = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \frac{V_{oc}}{\pi L}}.$$

16. Середній питомий опір осаду, м/кг:

$$\alpha_{cp} = \left(\frac{Q_{cn}}{Q} - 1\right) \frac{\rho_{\phi} \omega^2 \nu F}{2Q\mu q},$$

де μ – в'язкість рідкої фази, Па·с.

17. Опір фільтруючої перегородки, віднесений до одиниці в'язкості:

$$\beta = \frac{\rho_{\phi} \omega^2 V_{cn} D}{2\mu Q} - \alpha_{cp} q \frac{V_{\phi}}{F}.$$

18. Реальна потужність двигуна при пуску:

$$N_{nd} = I_n U_n,$$

де I_n – максимальне значення сили струму, А; U_n – максимальне значення напруги, В.

19. Реальна потужність холостого ходу:

$$N_x = I_x U_x,$$

де I_x – значення сили струму при холостому ході, А і U_x – значення напруги при холостому ході, В.

20. Теоретичне значення потужності, яка витрачається на подолання інерції ротора, Вт:

$$N_p = \frac{\omega^2 I_p}{2\tau_n},$$

де I_p – момент інерції ротора ($I_p = 1,1345$, кг·м²); $\omega = 2\pi n$ – кутова швидкість, рад/с; τ_n – час пускового періоду, с.

22. Теоретичне значення потужності, яка витрачається на подолання інерції суспензії, Вт:

$$N_{cn} = \frac{m_{cn} (\pi D n_p)^2}{2\tau_{nc}}.$$

23. Допустимий ексцентриситет центра тяжіння ротора, м:

$$[e] = 0,002 \frac{D}{2}.$$

24. Відцентрована сила, що діє на ротор, Н:

$$C_u = (m_{ep} + m_3) \omega^2 [e],$$

де m_3 – маса суспензії в об'ємі V_3 , кг:

$$m_3 = V_3 \rho_{cn}.$$

25. Теоретичне значення потужності, яка витрачається на подолання тертя в підшипниках, Вт:

$$N_{nid} = (m_{ep} g + m_3 g + C_u) f \pi d n_p,$$

де f – коефіцієнт тертя у підшипниках ($f = 0,08$).

26. Теоретичне значення потужності, яка витрачається на тертя ротора центрифуги по повітрю, Вт:

$$N_{нов} = 6,8 \cdot 10^{-3} \rho_{нов} \omega^3 L \left[\left(\frac{D_M}{2} \right)^4 + \left(\frac{D_0}{2} \right)^4 \right],$$

де $\rho_{нов}$ – густина повітря при температурі проведення дослідів, кг/м³;

D_0 – діаметр внутрішнього шару суспензії, м:

$$D_0 = \sqrt{D^2 - \frac{4V_3}{\pi L}}.$$

27. Теоретичне значення потужності в пусковий період, Вт:

$$N_{nt} = N_p + N_{cn} + N_{nid} + N_{нов}.$$

28. Теоретична потужність при центрифугуванні, Вт:

$$N_m = N_{cn} + N_{nid} + N_{нов}.$$

29. Тиск суспензії, Па:

$$P = \rho_s \frac{\omega^2}{2} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 \right].$$

7. АНАЛІЗ ТА ВИСНОВКИ

1. Провести порівняння теоретичних і дійсних витрат потужності та пояснити відмінності між ними. Виконати розрахунок похибок.

2. Побудувати графік залежності вологості осаду W від часу τ .

3. Побудувати графік залежності продуктивності від часу центрифугування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Часть 1. – М.: Химия, 1995. – 400 с.

2. Методика технологического расчета центрифуг РТМ 26-01-10-74.

3. Соколов В.И. Современне промышленные центрифуги. – М.: Машиностроение, 1967. – 523 с.

4. Шкоропад Д.Е. Центрифуги для химических производств. – М.: Машиностроение, 1978. – 246 с.