

# З ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК 016:664.002.5

І. Р. Головач, Л. Ф. Карплюк, Б. Й. Сильвеструк  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електроприводу та комп’ютеризованих електромеханічних систем

## ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ГОЛОВНОГО ПРИВОДУ ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТУ DDS-30 (ДС-12)

© Головач І. Р., Карплюк Л. Ф., Сильвеструк Б. Й., 2017

*Проаналізовано основні елементи і види захисту електроприводу дифузійного апарату. Для захисту механічної частини дифузійного апарату запропоновано модернізовану схему диференційного захисту. Запропоновано методичку визначення основних параметрів та елементів систем захисту.*

*Ключові слова: захист електроприводу, дифузійний апарат, диференційний захист, сокостружкова суміш.*

**The article analyzes main elements and types of protection for electric drive of the diffusion apparatus. To protect the mechanical part of the diffusion apparatus, a modernized differential protection circuit is proposed. The method of determination of basic parameters and elements of protection systems is offered.**

**Keywords: protection of the electric drive, diffusion apparatus, differential protection, juicer mixture.**

### Постановка проблеми

Досвід експлуатації дифузійних апаратів цукрових заводів показує, що дрібна аварія екстрактора спричиняє багатогодинний простій заводу, а складна (пошкодження валів, підшипників, сит) може зупинити завод на кілька днів. Тому питання захисту головного приводу дифузійного апарату надзвичайно важливе і актуальне.

У статті автори намагалися зазначити основні елементи і види такого захисту. Отже, розглядаємо привод як комплекс, що складається з:

- а) двох послідовно ввімкнених електромоторів, керованих тиристорним регулятором;
- б) системи механічних передач в складі: клиноремінних передач (з яких верхня пара працює через диференційний шків), редукторів і ланцюгових передач;
- в) двох технологічних транспортних шнеків.

Привід дифузійного апарату, його навантаження, а особливо зміни величин навантаження використовуємо як технологічний давач перебігу процесу екстракції цукру з буряка в дифузійному апараті, покази якого надалі використовують для формування режимів роботи апарату [1]. Транспортні шнеки розглядаємо як інтегральний давач стану сокостружкової суміші в кориті апарату.

### Електромеханічні захисти приводу дифузійного апарату

У схемі електроприводу передбачено ряд захистів від аварійних ситуацій. Відповідно до конкретних умов розглядаємо визначення їх уставок.

1. Захист від коротких замикань в електромоторах і тиристорному регуляторі.

Величину уставки захисту слід виставляти з умови налагодження від величини обмеження максимальних струмів, спричинених навантаженнями під час пуску і завантаження апарату. Повернення захисту в робочий стан після деякого часу:

$$I_{к.з.} = 1.3-1.4 I_{\text{макс обмеження}}$$

2. Захист обмеження максимальних струмів електроприводу.

Величину уставки захисту слід виставляти за умови комутації на колекторах електромоторів.

$$I_{\text{макс обмеж}} = 2 I_{\text{ном.}}$$

3. Захист формування робочої характеристики під час пуску і розгону дифузійного апарату.

Під час визначення уставки цього захисту найперше слід брати до уваги механічний і особливо технологічний фактори. З погляду механіки бажано обмежити величину максимального робочого моменту (струму) на транспортних шнеках і передачах. З погляду технології необхідно мати достатню величину моменту на валу транспортних шнеків, щоб забезпечити пуск дифузійного апарату після зупинок, а особливо, щоб скоротити час завантаження з метою уникнення втрат цукру в жомі.

У системах електроприводу ми формуємо робочу характеристику для регулятора струму, як суму статичної складової моменту і динамічної, спричиненої розгоном (гальмуванням) при перехідних процесах. У нашому випадку власне розгін як зміна частоти обертання, суттєвої ролі не відіграє. По умовах технології необхідно плавно змінювати швидкість (відповідно продуктивності заводу). При цьому спостерігається короткочасне (10–15 с) зростання струму навантаження на 5–10 %  $I_{\text{ном.}}$ . Але суть в тому, що в цьому випадку слід розглядати динамічний процес з погляду технології. Так, з метою прискорення процесу завантаження дифузійного апарату, особливо під час пуску заводу, слід рух сокостружкової маси в кориті пригальмовувати, знижуючи рівень соку на ситі і змиваючи жом з черпального колеса [4]. Процес завантаження апарату, а отже зменшення втрат цукру, триває в певному діапазоні то скоріше, що більший струм, тобто сильніше пригальмовування сокостружкової суміші. Навантаження по величині струму при цьому можуть збільшуватись до значень 1.2–1.3  $I_{\text{ном.}}$

Особливо слід зважати на зростання струмів під час пуску дифузійного апарату після зупинки [3], коли вода з верхніх камер стекла вниз. Тому перед запуском слід подати барометричну воду з витратами 50–100 т/год протягом 3–5 хв. Неприпустимо прикривати подачу барометричної води під час роботи. Відсутність води під верхніми витками приведе до їх поломки, при цьому величина струму зросте незначно, а зусилля концентрується на локальному витку.

Для визначення величини струму (моменту) під час роботи на регуляторі струму вирішальне значення має характеристика сировини. Так, під час перероблення буряка, вирощеного на поливних землях, спостерігається залягання стружки в кориті дифузійного апарату при його довготривалих зупинках. Також в нормальному процесі переробки у зв'язку з більшою питомою вагою стружки навантаження на приводі значно зростають. З цієї причини для приводу дифузії слід використовувати потужніші електродвигуни [7].

Отже, під час формування робочої характеристики регулятора струму тиристорного перетворювача уставку струму з погляду врахування вищенаведених факторів слід вибирати в діапазоні

$$I_{\text{рег струму роб}} = 1.2-1.4 I_{\text{ном.}}$$

4. Захист обмеження максимальних струмів перевантаження електроприводів (тепловий захист).

З метою уникнення перегріву електродвигунів довготривалими струмами навантаження їх захист відлагоджують на величину

$$I_{\text{тепл}} = 1.05 I_{\text{ном.}}$$

Цю величину можна спостерігати на виході мікросхеми інтегратора захисту як плавне збільшення напруги із досягненням струмом величини уставки.

5. Захист (обмеження) максимально випрямленої напруги  $U_d$  на виході силового регулятора.

Значення максимальної величини випрямленої напруги  $U_d$ , що живить електродвигуни дифузійного апарату, розглядають з двох аспектів; механічного і технологічного. Величина  $U_d$

обмежується мінімальним кутом відкривання силових тиристорів. З погляду механіки перевищення напруги на привідних двигунах слід обмежувати, щоб уникнути руйнування їхніх колекторів. Воночас є технологічні ситуації, коли обмеження частоти обертання приводить до неможливості досягнення максимальної продуктивності дифузійного апарату. Зниження частоти обертання шнеків збільшує час перебування стружки в апараті, а отже погіршує якість соку. За високих частот обертання шнеків сокостружкова суміш краще перемішується, у результаті зменшуються втрати цукру в жомі, а момент опору (струм) зменшується.

В аварійних ситуаціях, спричинених перевищенням температур, а особливо часом перебування стружки в апараті, виникає пливун сокостружкової суміші і припиняється вивантаження жому. Хоч це і крайня ситуація, але треба передбачити спосіб для її усунення. Це потребує крім таких мір, як зниження температур і підняття рівня на ситі, ще й максимальне підвищення частоти обертання транспортних шнеків. Отже, враховуючи всі спади напруги по ланках кола, потребу в максимальних обертах двигунів, можливе зменшення напруги змінного струму живлення силового регулятора, знаходимо верхню характеристику регулятора напруги;

$$U_{\text{dmax}} = R_{\text{лін}} \cdot I_{\text{ном}} + 2 \cdot (1.1 U_{\text{ном}} \text{ ел.моторів});$$

$$U_{\text{dmax}} = 0.02 \text{ Ом} \cdot 250 \text{ А} + 2 \cdot 240 \text{ В} = 485 \text{ В},$$

де  $R_{\text{лін}} = \rho \cdot L / S = 1 \sqrt{570 \text{ м} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \cdot 170 \sqrt{150 \text{ мм}^2}} = 0.02 \text{ Ом}$ ,  $L$  – сумарна довжина кабельної лінії,  $S$  – переріз кабельної лінії.

Оскільки приводи дифузійного апарату працюють в режимі, близькому до номінального, то пульсація струму, що може спричинити перегрів моторів під час роботи від тиристорного регулятора, незначна.

Налагоджуючи захисти, слід починати з позиції 1 і далі по порядку. Дані уставок захистів повинні бути затверджені актом.

При цьому передбачали, що як головний привід дифузійного апарату DDS-30 (ДС-12) використовуємо два послідовно включені електродвигуни [2, 5, 8, 9]; 55кВт, 1500 об/хв, 220 В, 255 А з незалежним збудженням 220 В.

### Диференційний захист

До серйозної аварії екстрактора може привести втрата синхронності роботи транспортних шнеків, взаємного заходу одного на другий, зриву і скручування валів. Тому зусилля конструкторів і виробничників спрямовані на підтримку необхідної синхронності у роботі валів та захист системи на випадок втрати синхронності. Необхідно зауважити, що неможливо одночасно визначити безпечну межу несинхронності валів. Можна лише припустити, що безпечною межею повороту правого вала після аварійної зупинки лівого без ушкодження внутрішніх механізмів є кут  $20^{\circ}$ . Для запобігання аваріям, які спричиняють скручування валів, екстрактори обладнано пристроями для синхронізації роботи цих валів, які використовують визначення різниці потенціалів і захист від перенапруги. Функція диференційного захисту охоплює весь комплекс дифузійного апарату [7]: електропривід, механічні передачі, транспортні шнеки, перебіг технологічного процесу. Принцип дії захисту побудовано на порівнянні динаміки лівої і правої частин всього комплексу дифузійного апарату. Будучи з'єднаною наглухо в нижній частині, аналогічна система приводу має диференційний шків на верхній частині приводу. Тобто за послідовного з'єднання якорів привідних двигунів, що зумовлює однаковий струм через них, а отже, і однаковий обертовий момент, розподіл потужності між приводами, відповідно і частота обертання мають бути однакові за нормального безаварійного перебігу процесу. Хоч завдяки пружності передач і валів транспортних шнеків будуть незначні робочі коливання, тобто диференціал напруг на привідних електродвигунах. При аварійних ситуаціях виникають зміни навантаження однієї частини дифузійного апарату відносно другої паралельної, що позначиться на зміні гальмівного моменту, а отже, і частоти обертання внаслідок пружності системи. Відлагоджений від нормальних робочих коливань диференційний захист миттєво реагує на аварійні коливання диференціалу напруг на привідних двигунах і вимикає їх живлення, самоблокується і вмикає сигналізацію.

Величину струму в колі контролю диференціалу (рис. 1) можна розрахувати методом контурних струмів:

$$\begin{aligned} I_1 \cdot R_1 + (I_1 - I_2) \cdot R_{\text{дд}} &= U_1; \\ (I_2 - I_1) \cdot R_{\text{дд}} + I_2 \cdot R_2 &= U_2, \end{aligned}$$

де  $I_1 - I_2$  – струм у плечі диференціалу;  $U_1 - U_2$  – диференціал напруг на привідних електродвигунах;  $R_1, R_2$  – резистори моста порівняння;  $R_1 = R_2 = R$  за однакових електродвигунів.

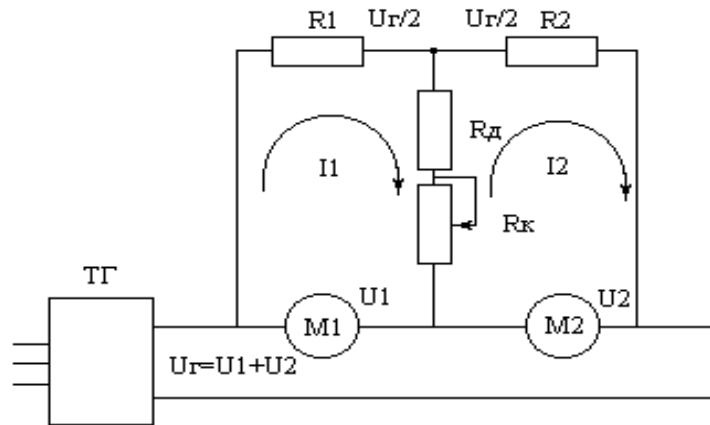


Рис. 1. Коло контролю диференційного захисту

Основний спадок напруги в контурі порівняння на резисторі плеча  $I_1 R$ , бо різниця струмів  $I_1 - I_2$  невелика, оскільки диференціал напруг  $U_1 - U_2$  відносно незначний. Отже, ми зацікавлені в використанні давача диференціала з якнайменшим струмом спрацьовування. Це дасть змогу зменшити струми  $I_1$  і  $I_2$ , а отже, і потужності резисторів  $R_1$  і  $R_2$ . Відповідними будуть і втрати електроенергії.

При цьому приймаємо діапазон корегування 1 : 2, тобто  $R_{\text{кор}} = R_{\text{вн д}}$ .

Знаходимо струм у колі давача диференціалу

$$I_{\text{д}} = \frac{(U_1 - U_2)_{\text{мін}}}{R + 2 \cdot (R_{\text{ВНД}} + R_{\text{кор}})} = \frac{(U_1 - U_2)_{\text{мін}}}{R + 4 \cdot R_{\text{ВНД}}}.$$

Визначаємо межу резистора в плечі порівняння

$$R \leq \frac{(U_1 - U_2)_{\text{мін}}}{I_{\text{д}}} - 4 \cdot R_{\text{ВНД}}.$$

За формулою визначено обмеження параметрів давача. Отже, струм у колі диференційного захисту залежить від різниці напруг і параметрів кола моста, а особливо від опору давача. У сучасніших схемах як давач застосовують електронну схему з підсиленням де  $R_{\text{д}} \rightarrow 0$ .

У випадку зміни параметрів давача його струму спрацьовування і вхідного опору може виникнути необхідність перерахунку резисторів порівняльного моста  $R_1, R_2$ . Отже, користуючись формулою значення струму і знаючи діапазон уставок диференціалу напруг і його мінімальне значення, можемо розрахувати решту параметрів.

Відповідно потужність резистора плеча порівняння

$$P_{\text{пл}} = \frac{U_{\text{ном ел.дв}}^2}{0.75 \cdot R}, \text{ де } 0.75 - \text{коефіцієнт запасу.}$$

Звідси висновок: слід як давач (чутливий орган) диференціалу напруг застосовувати мікросхему – операційний підсилювач струму. При цьому втрати потужності на мосту диференційного захисту будуть мінімальними. Тепер у схемі захисту встановлено дифреле  $I_{\text{д}}=7$  мА  $R_{\text{вн}}=2$  кОм.

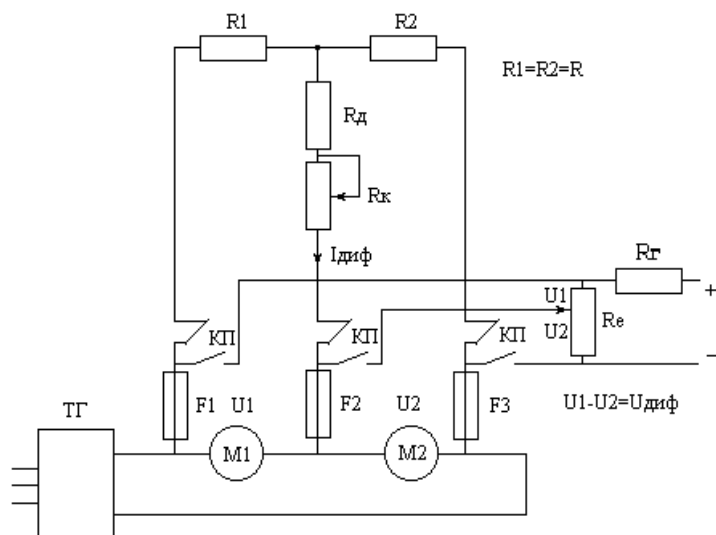


Рис. 2. Схема диференційного захисту

ного захисту застосовувати спрощену дволінійну схему імітатора диференціалу, що відповідає  $U_2=0$ .  $U_{\text{диф}}=U_1-U_2=U_1$ . Також передбачити стаціонарний вольтметр  $V_d$  на виході імітатора для налагодження і перевірки диференційного захисту;

г) усунути реостат у колі збудження одного з привідних двигунів. Застосування такого реостату спричиняє несумісність регульовальних характеристик, особливо у разі коливань напруги збудження, коли один двигун у зоні насичення, а другий – на лінійній частині характеристики. Під час роботи приводу на різнохідних характеристиках виникають збільшені коливання диференціалу напруг у робочих режимах, що спричиняє до необхідності закріплення уставки диференційного захисту і зниження його чутливості. Крім того, частково ослаблюється обертовий момент приводу;

д) застосувати налагоджувальний резистор  $R_{\text{нал}}$  для налагодження параметрів моста під параметри привідних електродвигунів.

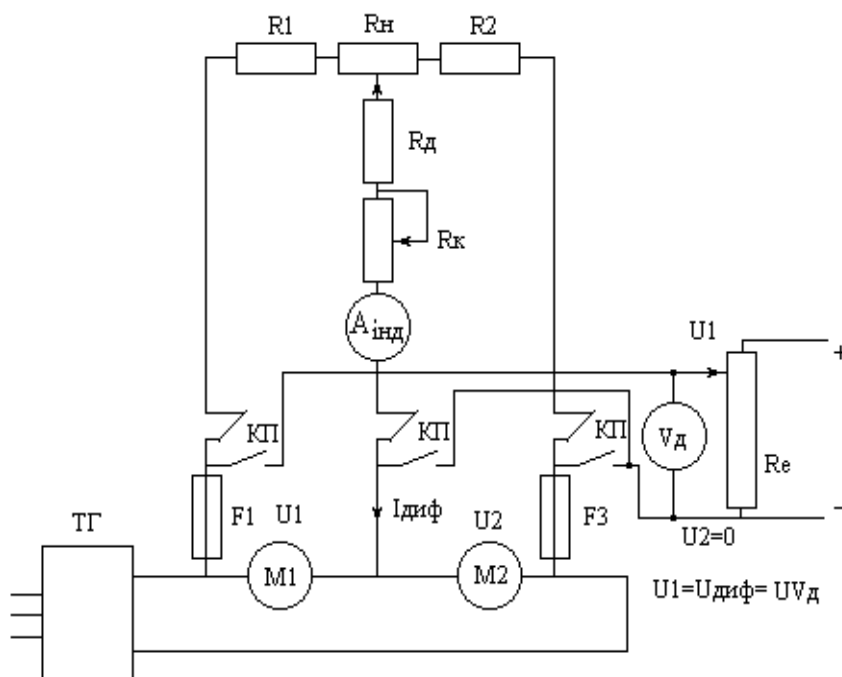


Рис. 3. Модернізована схема диференційного захисту

Втрати на мосту становлять 200 Вт. Резистори порівняльного моста  $R_1, R_2$  по 1кОм 100 ватт кожний. У ряді нових схем застосовують транзистори, що значно краще.

Вносяться пропозиції щодо змін до схеми диференційного захисту (рис. 2):

а) замкнути запобіжник F2 для запобігання відмові захисту під час його перегорання. Запобіжники F1 і F3 повністю захищають схему. За відмови одного з них захист спрацьовує;

б) послідовно з давачем ввімкнути амперметр-індикатор диференціалу;

в) як імітатор диференціалу для налагодження і перевірки диференційного захисту

Отже, модернізована схема диференційного захисту (рис.3) дасть змогу не лише спростити процес налагодження, але й користуючись індикатором диференціалу, контролювати привод дифузійного апарату в процесі роботи, особливо його механічну частину.

### **Індикація диференціалу дифузійного апарату DDS-30(ДС-12)**

Наявність амперметра-індикатора диференціалу полегшує роботу систем дифузійного апарату в процесі видобування соку, під час ремонту приводів апарату, а також полегшує налагодження і перевірку диференційного захисту.

Про нормальний стан роботи дифузійного апарату свідчить обов'язкове коливання диференціалу. Як правило, ці коливання кратні частоті обертання транспортних шнеків. За справного диференційного шківів (голковий підшипник і змашення) диференційний захист надійно захищає насамперед механічну частину дифузійного апарату. Під час роботи допустиме незначне відхилення диференціалу, що спричинене нерівномірним ковзанням текстурних передач і неповною відповідністю регулювальних характеристик привідних електродвигунів. Також впливають неоднакові відрізки силового кабелю в плечах схеми.

Для механічної частини дифузійного апарату диференційний захист є основним. Розглянемо можливі неполадки в роботі передач і транспортних шнеків і визначення їх за допомогою індикатора диференціалу.

### **Механічні причини**

1. Різкі відхилення індикатора диференціалу, що повторюються за аналогічних положень транспортних шнеків. Можуть бути спричинені тертям шнеків об корито дифузійного апарату. Із збільшенням частоти відхилень, кратній передаточному числу, можуть бути спричинені пошкодження на ланці передач.

2. Плавні відхилення індикатора диференціалу з плавним спадом можуть бути спричинені зачепленням транспортних шнеків між собою.

3. Відхилення індикатора, яке повторюється, може вказувати на недостатній натяг ланцюгових передач.

4. Плавне схиляння індикатора із збільшенням навантаження або його плавне наростання в часі, що не зникає, може бути спричинене ковзанням текстурних передач.

5. Стійке зміщення в часі диференціалу, що не зникає, може бути спричинене погіршенням (аж до відсутності) змашення механічних передач, особливо в редукторах.

### **Технологічні причини**

1. Схиляння диференціалу, що наростає, може бути спричиненим нерівномірним або неоднорідним заповненням паралельних частин дифузійного апарату.

2. Різкі коливання диференціалу, особливо під час пуску дифузійного апарату, можуть бути спричинені зневодненням верхньої частини транспортних шнеків.

### **Електромеханічні причини**

1. Схиляння диференціалу за збільшення навантаження може бути спричинене неправильним узгодженням додаткових полюсів.

2. Різке збільшення диференціалу одночасно з зростанням струму якорів при пуску привода може бути спричинене обривом у колі збудження двигунів.

3. Плавне схиляння диференціалу, що повільно наростає в часі, може бути спричиненим іскрінням на колекторі одного з двигунів.

4. Пошкодження обмоток одного з двигунів (виткове замикання) зумовлює стійку величину диференціалу.

Слід пам'ятати, що диференційний захист не реагує на зростання навантаження на привод, а також на причини симетричних змін у режимах роботи. Для цього існують свої захисти.

### Налагодження диференційного захисту

Розглядається варіант схеми з внесеними вищепропонованими змінами і додатками. Отже, налагодження схеми диференційного захисту починається з вибору уставки диференціалу напруг захисту за якої він буде захищений від робочих коливань, особливо в процесі плавного запуску дифузійного апарату. Відповідно початково пропонується контрольна уставка диференціалу  $U_d=U_1-U_2=10-15$  В. Цю величину ми виставляємо на налагоджувальному імітаторі  $R_{\text{іміт}}$ , контролюючи її вольтметром  $V_d$ . У колі давача диференціала вводимо максимальний опір резистора  $R_k$ . Перемикаємо ключем КП схему диференційного захисту на імітатор диференціалу. Уточнюємо контрольну уставку на імітаторі і, виводячи резистор  $R_k$ , добиваємось спрацьовування диференційного захисту. Це стендова, а надалі контрольна частина налагодження. Контроль (перевірку) проводити щомісяця.

Основну частину налагодження схеми диференційного захисту проводять на працюючому дифузійному апараті. Саме тоді за допомогою резистора  $R_n$  збалансовуємо міст схеми  $R_1, R_2$  під параметри приводу. При цьому добиваємось коливань стрілки індикатора диференціала в зоні "0" з однаковим відхиленням в обидва боки. На шкалу індикатора наносять червоні зони, що відповідають величині спрацьовування диференційного захисту. Індикатор дає змогу точно визначити зону коливань диференціалу напруг під час роботи дифузійного апарату і так визначити мінімальне значення уставки диференційного захисту, що підвищує його чутливість. Під час роботи через зношення текстурних ременів і зміну їх ковзання можливе схилення зони коливань. Також схилення індикатора можливе під навантаженням внаслідок різних характеристик електродвигунів. Деяка різниця диференціала може виникнути, якщо довжини силового кабелю між плечами електродвигунів не компенсовані. Тому в одному плечі повинен бути довший відрізок кабелю, а в другому – коротший, а також перемичка між двигунами. Під час виробництва бажано встановити точну причину схилення індикатора, адже лише в крайньому випадку можливе корегування схеми резистором  $R_n$ .

1. Aksel Fons Johnsen. *New principles to improve the quality of cosettes and the efficiency with DDS diffusers.* / Aksel Fons Johnsen, Jesper Thomassen // *Zuckerind.* – 1990. – 115, № 3. – P. 190–195.
2. Белик В. Г. *Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов.* / Белик В. Г. – К.: Техніка, 1982. – 304 с.
3. Белостоцкий Л. Г. *Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства* / Белостоцкий Л. Г., Супрунчук В. В. – М.: 1985.–371 с.
4. Walerianczyk E. *Intensyfikowanie przebiegu procesu ekstrakcji prowadzonego w aparacie korytowym.* / Walerianczyk E // *Gazeta cukrownicza.* – 1998. – № 11. – С. 201–204.
5. Николаев А. П. *Процессы и аппараты пищевых производств. Примеры и задачи* / Николаев А. П. – К.: Вища школа, 1992. – 232 с.
6. Ладанюк А. П. *Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів [текст] монографія* / А. П. Ладанюк, О. А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В. В. Іващук, Д. О. Кроніковський, Д. А. Шумигай. – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408 с.
7. Власенко Л.О. *Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування* / Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк // *Східно-Європейський журнал передових технологій.* – 2010. – № 2/3(44). – С. 57–62.
8. Черевко О.І. *Процеси і апарати харчових виробництв : підручник* / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – Х. : ХДАТОХ, 2002. – 417 с.
9. Малержик І. Ф. *Процеси і апарати харчових виробництв : підручник* / за ред. проф. І. Ф. Малержика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.