



УДК 636.98.085.55 : 678.027.3

Б.В. ЄГОРОВ, д-р техн. наук, професор, А.О. КОЧЕТОВА, канд. техн. наук, доцент,
О.Є. ВОЄЦЬКА, канд. техн. наук, доцент, Л.В. ФІГУРСЬКА, магістр, В.І. ЖУРБЕНКО, інженер
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ ДЛЯ ЗОЛОТИХ РИБОК

У статті наведено результати дослідження впливу складу сировини у рецептах комбікормів та варіанту підготовки компонентів на ефективність процесу екструдювання. Визначено зміни фізичних властивостей зерноsumішей та комбікормів в процесі екструдювання. Встановлено, що на ефективність екструдювання та технологічні властивості подрібнених екструдатів зерноsumішей впливає варіант підготовки зернобобових культур. На екструдювання розсипного комбікорму витрачається в залежності від складу рецепта на 20–25 % енергії менше, ніж на екструдювання зерноsumішей в цьому рецепті.

Ключеві слова: екструдювання, ефективність, зерноsumіші, комбікорми, фізичні властивості.

In article results of research of influence of structure of raw materials in recipes of mixed fodders and a variant of preparation of components on efficiency of process extrusion are resulted. Changes of physicommechanical properties of grain mixes and mixed fodders in process extrusion are defined. It is established, that efficiency extrusion and technological properties is influenced by a variant of preparation of leguminous cultures. On extrusion mixed fodders it is spent depending on recipe structure for 20-25 % of energy less, than on extrusion grain mixes.

Keywords: extrusion, efficiency, grain mixes, mixed fodders, physicommechanical properties.

Науковими дослідженнями встановлено, а практичним досвідом підтверджена ефективність застосування спеціальних методів підготовки не тільки зернових і бобових культур, але і готової продукції. Із багаточисельних спеціальних методів підготовки у теперішній час найбільшою ефективністю характеризується екструдювання і експандування. Завдяки даним методам підвищується не тільки перетравність поживних речовин, але й безпечність використання готової продукції, внаслідок знезараження, покращується смак та запах, знижуються наявність у сировині та готовій продукції токсичних і антипоживних речовин, змінюється колір тощо [1-4].

Відомо, що ефективність будь-якого процесу можна оцінити за наступними показниками:

- продуктивністю, кг/год;
- питомими енерговитратами на процес, кВт·год/кг;
- якісними показниками (для екструдювання – це коефіцієнт розширення).

Але екструдювання – це достатньо складний багатофакторний процес, на ефективність якого впливають, по-перше, вид зернової, бобової культури чи іншої сировини та їх технологічні властивості, по-друге, конструктивно-кінематичні параметри обладнання, по-третє, технологічні фактори керівної дії, за допомогою яких можна ефективно керувати процесом в цілому.

До першої групи факторів слід віднести масовий вміст вологи у продукті, його об'ємну масу, вид культури, її стан (ціла чи подрібнена), твердість, міцність, хімічний склад продукту, його структуру, геометричні розміри та ін.

До другої групи факторів відносять геометричну форму робочих органів екструдера, стан поверхні, крок гвинта, робочий зазор, частоту обертання шнека, кількість шнеків, ступінь зміни вільного об'єму витків, тривалість обробки тощо.

До третьої групи факторів відносять об'єм вве-

деної вологи та спосіб її введення (пара, вода), температуру обробки, надлишковий тиск у робочій зоні екструдера, діаметр отвору фільтри та ін. [5].

Екструдювання зернової сировини відрізняється від екструдювання багатокомпонентної суміші, яку являє собою комбікорм, при чому одночасне визначення усіх трьох груп факторів – справа надто важка.

Мета роботи полягала в дослідженні впливу складу сировини у рецептах комбікормів та варіанту підготовки компонентів на ефективність процесу екструдювання.

Для вирішення поставленої мети за допомогою програми оптимізації рецептів комбікормів «Корм Оптима Експерт» розраховано 6 рецептів комбікормів для акваріумних золотих рибок *Carassius auratus auratus*, з яких № 1, 2, 3 – для молоді віком від 2-х місяців до 1-го року та № 4, 5, 6 – для рибок від 1-го року та старше [6].

У табл.1 наведені вміст сировини за групами та поживна цінність комбікормів для золотих рибок.

Екструдювання зерноsumішей та комбікормів проводили на екструдері марки ЕЗ-150, обладнаного персональним комп'ютером із реєструючим пристроєм, який дозволяв фіксувати температуру екструдата на виході та силу струму через кожні 0,2 с. У вихідних і отриманих продуктах визначали масову частку вологи, об'ємну масу, кут насипного схилу, сипкість, середній розмір частинок, вирівненість (максимальна сума залишків на двох суміжних ситах).

Ефективність екструдювання оцінювали за такими показниками: продуктивністю екструдера, питомими витратами електроенергії та коефіцієнтом розширення.

На рис.1 представлена динаміка зміни фізичних властивостей (у відсотках до контролю) зерноsumішей та комбікормів в процесі екструдювання. За контроль були обрані значення відповідних показників до екструдювання.

Аналіз рис. 1 свідчить, що екструдювання зерно-



сумішей за рецептами № 1, 2 та 4, 5 викликає збільшення втрат масової частки вологи ніж у відповідних цим рецептам комбікормах. Втрати вологи у зерно-сумішах і комбікормах, вироблених за рецептами № 3 та № 6 однакові і складають у (%): рецепт № 3 – 37,3 (зерно-суміш та комбікорм), а у рецепті № 6 – 35,5 (зерно-суміш) та 35,05 (комбікорм).

Коливання кута насипного схилу після екструдуювання зерно-сумішей та комбікормів значно відрізняються. Так, у зерно-сумішах (рецепти № 1...3) підвищується на 7,7...9,3%, а у рецептах (№ 4...6) – від 0 до 60%. У вироблених комбікормах кут насипного схилу знижується від 2 до 14,5%, при чому, цей показник тим вищий, чим більше загальний та введений вміст жиру.

Об'ємна маса екструдатів зерно-сумішей та комбікормів знижується в порівнянні з показниками до екструдуювання, при чому, найбільші зміни визначені в рецептах № 1 та № 6 – 30,8% та 38,2%. В інших рецептах зниження за цим показником коливається від 10,6 до 23,0%. В комбікормах ці показники відповідно складають 20,2% (рецепт № 1) та 5% (рецепт № 6), а в інших рецептах від 5,3 до 9,7%.

Між кутом насипного схилу та сипкістю як у зерно-сумішах, так і комбікормах після екструдуювання визначена зворотна залежність, при чому, якщо кут насипного схилу в екструдованих зерно-сумішах після подрібнення збільшується, то сипкість відповідно зменшується, а в комбікормах, навпаки, кут насипного схилу зменшується, а сипкість підвищується.

Розмір частинок екструдата у зерно-сумішах коливається від 1,4 до 0,72 мм, а у комбікормах – від

0,86 до 0,36 мм, тобто в комбікормах цей показник значно нижче, ніж в зерно-сумішах.

Загальний вміст жиру, який складається із суми жиру в вихідній сировині та введеного до складу комбікормів, в комбікормах для рибок до 1-го року значно вище, ніж в комбікормах для рибок старшого віку, що обумовлено необхідністю забезпечення збалансованого співвідношення між протеїном і жиром, оскільки при недостатньому вмісті жиру енергія протеїну витрачається на перетравність поживних речовин та фізіологічні потреби організму, що недоцільно внаслідок дефіциту протеїну [7].

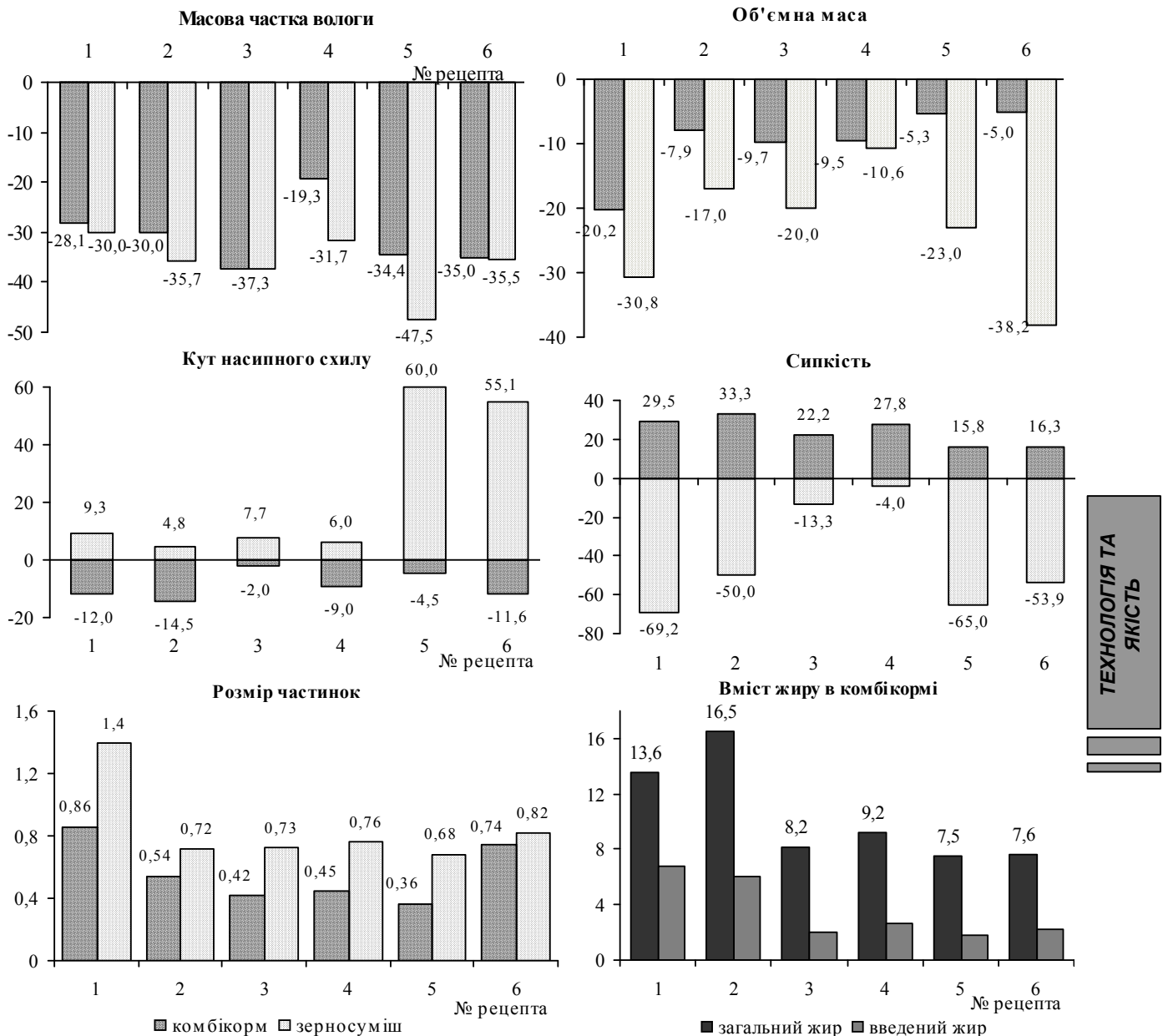
У табл. 2 наведена порівняльна оцінка ефективності екструдуювання зернобобових культур (ЗБК) за різними варіантами підготовки, а саме екструдуювання:

- кожної ЗБК окремо з наступним після подрібнення дозуванням та змішуванням згідно з рецептом;
- суміші цілого зерна ЗБК;
- подрібненої суміші ЗБК;
- попередньо зволоженої на 3% подрібненої суміші ЗБК та відволоженої для розподілу вологи протягом однієї години;
- суміші зернових культур без барвника;
- суміші бобових культур без барвника;
- суміші зернових культур із додаванням 3% спиртового розчину буряка для отримання червоного кольору та відволоженої протягом однієї години;
- суміші бобових культур із додаванням 3% спиртового розчину куркуми для отримання жовтого кольору та відволоженої протягом однієї години.

Таблиця 1

Вміст сировини (%) за групами та поживна цінність рецептів комбікормів

Групи сировини	Сировина	Вікова група рибок	
		від 2-х місяців до 1-го року	від 1-го року та старше
Зернобобові та олійні культури	Екструдовані кукурудза, пшениця, овес та ячмінь лущений, горох, соя, ріпак, пшениця проросла	7,5...21,0	23,0...44,0
Шроти	Соевий, соняшниковий	–	3...6
Кормові продукти харчових виробництв	Мука рибна, м'ясо-кісткова, дріжджі	34,4...51,9	25,9...26,4
Субпродукти та морепродукти	Обрізки яловичі, серце яловиче, кілька, мука крилева, водоростева, спіруліна	14,1...21,5	12,2...18,0
Харчові продукти	Крупа перлова, манна, морква сушена, крохмаль картопляний, мука пшенична 1-го гатунку, порошок гірчичний	5,0...32,9	12,6...28,9
Рідкі компоненти	Олія соняшникова, льняна, риб'ячий жир	2,6...6,8	1,0...2,2
Премікс	На основі дріжджів на основі висівок	1,0	1,0
Інші компоненти	Барвники, ароматизатори, підсилювачі смаку та аромату, поверхнево активні речовини (ПАР)	0,5	0,5
Поживна цінність			
Обмінна енергія, МДж/100 г		1,22...1,32	1,15...1,25
Сирий протеїн, %		30,0...38,0	25,1...26,3
Сирий жир, %		8,2...16,5	7,6...9,2
Сира клітковина, %		1,5	2,1...3,2
Крохмаль, %		3,5...24,0	21,0...28,0
Сира зола, %		4,1...11,0	3,1...6,6



1, 2, 3 – зерноsumіші і комбікорми для акваріумних рибок віком від 2-х місяців до 1-го року;
4, 5, 6 – віком від 1-го року і старше

Рис. 1. Зміни фізичних показників зерноsumішей і комбікормів, загального та введеного жиру (%) в процесі екструдювання.

Усі дослідження виконані за рецептом комбікорму, в якому вміст зернових та бобових культур найбільший (45%).

Аналіз рис. 1 свідчить, що екструдювання зерноsumішей за рецептами № 1, 2 та 4, 5 викликає збільшення втрат масової частки вологи ніж у відповідних цим рецептам комбікормах. Втрати вологи у зерноsumішах і комбікормах, вироблених за рецептами № 3 та № 6 однакові і складають у (%): рецепт № 3 – 37,3 (зерноsumіш та комбікорм), а у рецепті № 6 – 35,5 (зерноsumіш) та 35,05 (комбікорм).

Коливання кута насипного схилу після екструдювання зерноsumішей та комбікормів значно відрізняються. Так, у зерноsumішах (рецепти № 1...3) підвищується на 7,7...9,3%, а у рецептах (№ 4...6) – від 0 до 60%. У вироблених комбікормах кут насипного схилу знижується від 2 до 14,5%, при чому, цей пока-

зник тим вищий, чим більше загальний та введений вміст жиру.

Об'ємна маса екструдатів зерноsumішей та комбікормів знижується в порівнянні з показниками до екструдювання, при чому, найбільші зміни визначені в рецептах № 1 та № 6 – 30,8% та 38,2%. В інших рецептах зниження за цим показником коливається від 10,6 до 23,0%. В комбікормах ці показники відповідно складають 20,2% (рецепт № 1) та 5% (рецепт № 6), а в інших рецептах від 5,3 до 9,7%.

Між кутом насипного схилу та сипкістю як у зерноsumішах, так і комбікормах після екструдювання визначена зворотна залежність, при чому, якщо кут насипного схилу в екструдованих зерноsumішах після подрібнення збільшується, то сипкість відповідно зменшується, а в комбікормах, навпаки, кут насипного схилу зменшується, а сипкість підвищується.



Таблиця 2

Порівняльна оцінка ефективності екструдування ЗБК підготовлених за різними варіантами

Показник	Окреме екструдування кожної культури (розрахункова суміш ЗБК)	Суміш цілого зерна ЗБК	Подрібнена суміш ЗБК	Подрібнена і зволожена на 3% суміш ЗБК	Суміш зернових культур без барвника	Суміш бобових культур без барвника	Розрахункова суміш окремого екструдування ЗБК без барвника	Суміш зернових культур з барвником	Суміш бобових культур з барвником	Розрахункова суміш окремого екструдування ЗБК з барвником
1. Ефективність процесу екструдування										
Продуктивність, Q, кг/год	69,0	69,8	93,0	99,0	80,4	52,8	73,1	143,0	66,7	117,
Питомі витрати електроенергії, N _{пит} , кВт·год/кг	0,03	0,01	0,12	0,01	0,04	0,01	0,03	0,004	0,04	0,02
Коефіцієнт розширення	1,4	1,0	1,1	1,1	1,05	1,4	1,13	1,0	1,5	1,2
2. Технологічні показники якості подрібнених екструдатів зерноsumішей										
Вирівненість, %	63,0	60,9	68,2	54,0	49,5	62,9	54,0	49,5	62,8	53,9
Середній розмір частинок, мм	0,74	0,80	0,90	0,90	0,73	0,75	0,74	0,90	0,80	0,90
Сипкість, см/с	7,1	4,6	4,6	6,3	2,4	8,1	4,4	9,5	7,9	9,0
Кут насипного схилу, град	45,0	40,0	45,0	35,0	45,0	40,0	43,4	40,0	45,0	41,7
Об'ємна маса, кг/м ³	464,0	602,0	659,0	659,0	560,0	500,0	540,2	660,0	601,0	640,5

Розмір частинок екструдата у зерноsumішах коливається від 1,4 до 0,72 мм, а у комбікормах – від 0,86 до 0,36 мм, тобто в комбікормах цей показник значно нижче, ніж в зерноsumішах.

Загальний вміст жиру, який складається із суми жиру в вихідній сировині та введеного до складу комбікормів, в комбікормах для рибок до 1-го року значно вище, ніж в комбікормах для рибок старшого віку, що обумовлено необхідністю забезпечення збалансованого співвідношення між протеїном і жиром, оскільки при недостатньому вмісті жиру енергія протеїну витрачається на перетравність поживних речовин та фізіологічні потреби організму, що недоцільно внаслідок дефіциту протеїну [7].

У табл. 2 наведена порівняльна оцінка ефективності екструдування зернобобових культур (ЗБК) за різними варіантами підготовки, а саме екструдування:

– кожної ЗБК окремо з наступним після подрібнення дозуванням та змішуванням згідно з рецептом;

– суміші цілого зерна ЗБК;

– подрібненої суміші ЗБК;

– попередньо зволоженої на 3% подрібненої суміші ЗБК та відволоженої для розподілу вологи протягом однієї години;

– суміші зернових культур без барвника;

– суміші бобових культур без барвника;

– суміші зернових культур із додаванням 3% спиртового розчину буряка для отримання червоного кольору та відволоженої протягом однієї години;

– суміші бобових культур із додаванням 3% спиртового розчину куркуми для отримання жовтого кольору та відволоженої протягом однієї години.

Усі дослідження виконані за рецептом комбікорму, в якому вміст зернових та бобових культур найбільший (45%).

Із аналізу табл. 2 видно, що на ефективність процесу екструдування впливають як технологічні властивості зернової та бобової сировини, так і режимні параметри, при яких проходив процес екструдування.

При встановленому режимі (температура продукту на виході із екструдера (110...115°C) ефективність процесу обумовлюється прийнятим варіантом підготовки зерноsumішей.

З досліджених варіантів перевагу слід віддати варіанту екструдування кожної культури окремо. Хоча продуктивність екструдера в даному випадку нижче, але витрати електроенергії невисокі, коефіцієнт розширення та комплекс технологічних показників в цьому варіанті вище ніж в інших.

Найбільші енерговитрати зафіксовано у подрібненої суміші ЗБК. Не дивлячись на те, що продуктивність екструдера при цьому варіанті вища ніж у варіантах 1 та 2, але високі витрати електроенергії, низький коефіцієнт розширення та висока об'ємна маса продукту знижують його перевагу.

У випадку виробництва плаваючих комбікормів необхідно екструдувати окремо суміш цілого зерна зернових чи бобових культур з наступним змішуванням подрібнених екструдатів згідно рецепта. При



виробництві комбікормів, які тонуть або зависають перевагу слід надавати подрібненим сумішам ЗБК або зволоженим на 3%.

При необхідності забарвлення комбікормів доцільно в попередні суміші зернових або бобових культур включати 3% від їх маси спиртові розчини барвників, при чому концентрацію рослинних пігментів слід збільшити не менш ніж у 2 рази (4–5%).

Доцільність застосування спиртових розчинів для забарвлення, на нашу думку, може сприяти зниженню електроенергії при екструдюванні, оскільки при взаємодії з біополімерами сировини вони утворюють слизи, які виконують роль мастила.

На екструдювання розсипного комбікорму витрачається в залежності від складу рецепта на 20–25% енергії менше, ніж на екструдювання зерноsumішей в цьому рецепті.

Висновки.

Розроблено рецепти комбікормів для різних вікових груп золотих акваріумних рибок в тому числі три рецепти для молоді від 2-х місяців до 1-го року та від 1-го року та старше з використанням субпро-

дуктів 2-ої категорії та товарної риби (кільки), як природних зволожувачів.

Визначена поживна цінність комбікормів, яка свідчить що розроблені рецепти повністю забезпечують потреби акваріумних рибок в поживних та біологічно активних речовинах.

Досліджено вплив рецептури комбікормів на зміну фізичних показників якості як зернових сумішей, так і комбікормів після їх екструдювання та подрібнення. Визначена залежність між окремими показниками, які в найбільшій мірі характеризують технологічні властивості цих продуктів.

Встановлено, що ефективність екструдювання та технологічні властивості подрібнених екструдатів зерноsumішей можна змінювати в залежності від прийнятого варіанту підготовки ЗБК.

Використовуючи спиртові розчини природних барвників можна регулювати колір комбікорму.

На екструдювання готового комбікорму витрачається на 20–25% менше енергії в порівнянні з екструдюванням зернових сумішей при виробництві комбікормів для золотих рибок старше 1-го року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термопластическая экструзия: научные основы, технологии, оборудование. /Под ред. А.Н. Богатырева, В.П. Юрьева. – М.: Ступень, 1994. – 200 с.
2. Юрвев В.П., Карпов В.Г. Продукты пористой макроструктуры, полученные непрямым экспансированием крахмалсодержащего сырья – следующий шаг в экструзионной технологии. Часть 1// Хранение и переработка сельхозсырья. – №1. – 2000. – С. 18–23.
3. Жушман А.И. Экструзионная обработка крахмала и крахмалсодержащего сырья// А.И. Жушман, Е.К. Контелова, В.Г. Карпов //М.: ЦНИИТЭИ. Пищепром, серия крахмало-паточная пром-сть, 1980. – 36 с.
4. Егоров Б.В. Современные тенденции совершенствования технологий и оборудования для производства комбикормов// Зернові продукти і комбікорми. – 2007. – № 7 – С. 4–7.
5. Остапчук Н.В. Математическое моделирование процессов пищевых производств Н.В. Остапчук, В.Д. Каминский, Г.Н. Станкевич, В.П. Чучуй. – К.: Вища школа, 1992. – 175 с.
6. Панин И.Г., Грешников В.В. Руководство по эксплуатации программного комплекса «Корм Оптима Эксперт». – 1999–2008. – 300 с.
7. Лысенко В.М., Сазонова Т.И. Технические требования к комбикормам для разновозрастных рыб// Тезисы докладов Всесоюз. совещания по промышленному рыбководству и проблемам кормов, кормопроизводства и кормления рыб. – М., 1985. – С. 80–82.

Поступила 01.2010

Адреса для переписки:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039



УДК [664.723.023:627.325.5]-022.233

О.И. ГАПОНЮК, д-р техн. наук, профессор, Г.А. МОСИЕНКО, инженер, И.Н. БУЦЕНКО, инженер
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОРСКИХ ЗЕРНОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

В данной статье рассматриваются вопросы создания эффективных систем обеспыливания с использованием иерархической оптимизации их состава, структуры, параметров функционирования.

Ключевые слова: системы обеспыливания, транспортно-технологические линии, аспирационные установки.

The article under consideration regards the questions on creating of effective dedusting systems, by using the hierarchical optimization of their properties, structures and operational parameters.

Key words: dedusting systems, transport and technological lines, aspiration installations.

Критерии оптимизации. Аспирационная система (АС) считается оптимальной в том случае, если она обеспечивает отсутствие пылевыделения из неплотностей укрытий транспортно-технологических линий (ТТЛ) при минимально допустимых суммарных материальных затратах на ее изготовление, уста-

новку, а также функционирование, эксплуатацию и ремонт в течение избранного отрезка времени.

Под общим критерием оптимальности АС в работе принято достижение минимального значения суммарной стоимости материалов на ее изготовление, монтаж, функционирование и эксплуатацию в