



UDC 631.363

IMPROVEMENT OF THE FEED PREPARATION AND DISPENSING UNIT BY THE METHOD OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS-SYNTHESIS

I. Grabar, G. Vodyanitsky, I. Slyusarenko, V. Tymkiv

Article info

Received

23.03.2020

Accepted

30.04.2020

Zhytomyr
National
Agroecological
University
7, Staryi Blvd,
Zhytomyr,
10008, Ukraine

E-mail: ivan-
grabar@ukr.net;
grig40@
gmail.com;
inna.slyusarenko13
@gmail.com;
vvtymkiv@
gmail.com

Grabar, I., Vodyanitsky, G., Slyusarenko, I., Tymkiv, V. (2020). Improvement of the feed preparation and dispensing unit by the method of morphological analysis-synthesis. Scientific Horizons, 04 (89), 55–64. doi: 10.33249/2663-2144-2020-89-4-55-64.

The purpose and the initial need in the field of improvement of feed mixing units is to analyze and synthesize environmentally friendly design solutions suitable for use in design and development. It in the period of capture and improvement of the system istimeli and actual. For the first time, a functional analysis of the existing units of the world was carried out and a patent research was performed for a depth of 15 years, which is sufficient for the medium-term forecasting of this technical system. Justified classification features, expressed through functions and selected alternative design solutions that implement the classification features. This allowed the authors to effectively use the method of morphological analysis, which provided a search box 3981312 constructive solutions. Through careful analysis of existing methods of formalization of synthesis, the authors used the method of morphological synthesis with hierarchical grouping of features of the unit. To reduce the scope of work and reduce subjectivity, the authors used the classification of features offered by functional analysis. This made it possible to narrow down the synthesis search field to 48 solutions. Thus, an effective methodology for finding technical solutions of 1-3 levels that are patentable and the recommended parameters of feed and distribution units with low technogenic pressure on the environment are proposed. In further researches for formalization plan to use a clusteranalysis that will allow to group the great numbers of decisions after similarity and differences. It specify the substantial signs of decisions, that will provide todistinguish a decision.

Key words: forage preparation and dispensing unit, technical solution, formalization, classification features of the system, morphological model, alternative solution, functional analysis.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОРМОПРИГОТУВАЛЬНО-РОЗДАВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ МЕТОДОМ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ-СИНТЕЗУ

І. Г. Грабар, Г. П. Водяницький, І. П. Слюсаренко, В. В. Тимків

Житомирський національний агроєкологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Метою та нагальною потребою в області удосконалення кормоприготувально-роздавальних агрегатів є аналіз та синтез екологічнобезпечних конструктивних рішень, придатних до використання в проєктно-конструкторських розробках. Це у період опанування і удосконалення системи є своєчасним і актуальним. Вперше проведено функціональний аналіз існуючих агрегатів світу та виконано патентне дослідження на глибину 15 років, що достатньо для середньотермінового прогнозування даної технічної системи. Обґрунтовані класифікаційні ознаки, виражені через функції та вибрані

альтернативні конструктивні рішення, які реалізують класифікаційні ознаки. Це дозволило авторам ефективно використати метод морфологічного аналізу, який забезпечив пошукове поле 3981312 конструктивних рішень. Завдяки ретельному аналізу існуючих методів формалізації синтезу, автори використали метод морфологічного синтезу з ієрархічним групуванням ознак агрегату. Для зниження обсягу робіт і зменшення суб'єктивності, автори використали класифікацію функцій, запропоновану функціональним аналізом. Це дозволило звужити пошукове поле синтезу до 48 рішень. Таким чином, запропонована ефективна методика пошуку технічних рішень 1–3 рівнів, які є патентоспроможними, та рекомендовані параметри кормоприготувально-роздавальних агрегатів з низьким техногенним тиском на навколишнє природне середовище. У подальших дослідженнях для формалізації планується використати кластерний аналіз, що дозволить згрупувати множини рішень за подібністю та відмінностями. Це конкретизує суттєві ознаки рішень, що забезпечить виокремити патентноздатні рішення.

Ключові слова: кормоприготувально-роздавальний агрегат, формалізація, класифікаційні ознаки системи, морфологічна модель, альтернативне рішення, функціональний аналіз.

Вступ

Корми в структурі затрат на виробництво тваринницької продукції, складають: на молоко – 40...50 %, на яловичину – 50...55 %, на свинину – 55...70 %, а на продукцію птахівництва – 80...90 %. Ефективність кормів на 25...30 % вища, коли вони згодовуються в збалансованій суміші. Для приготування суміші в минулому, використовувався комплекс кормоприготувальних машин (подрібнювачі кормів з різними фізико-механічними властивостями та змішувачі), що монтувалися в спеціальному приміщенні – кормоцеху. Це збільшувало затрати на виробництво сумішок у 15...16 разів (Burlaka et al., 2017) у порівнянні із затратами, які мають місце тепер при приготуванні кормосумішок кормоприготувально-роздавальним агрегатом.

Таким чином, технічна система кормороздавач – змішувач – подрібнювач має технічні рішення, які виконують одночасно функції: подрібнення кормів з різними фізико-механічними властивостями, змішування компонентів кормів, дозування і розподіл кормосумішок та їх транспортування. Окрім цього, деякі модифікації цієї системи виконують функції завантаження компонентів у ємність (бункер).

Дана технічна система має складну структуру, схему та конструкцію, що обумовлює високу металомісткість на одиницю продуктивності $500...300 \frac{кг \times год}{т}$, високу енергоємність процесу – $0,30...0,25 \frac{т}{кВт \times год}$ та високу габаритність $3,0...2,5 \frac{м^3 \times год}{т}$ при,

відповідно, у кормоприготувально- роздавальному агрегаті з високим технічним рівнем:

$$107 \frac{кг \times год}{т}, 0,1 \frac{т}{кВт \times год} \text{ та } 1,3 \frac{м^3 \cdot год}{т}$$

(Burlaka et al., 2017).

Окрім того, вона має невисокі експлуатаційні властивості: працює тільки з об'ємними кормами, забезпечує невисоку гомогенність суміші різнофракційних компонентів та має критичні технологічні показники. Отже, дана технічна система має ресурси, які доцільно оцінити та використати. Зокрема удосконалена технічна система повинна задовольняти: ступеню подрібнення; ступеню рівномірності змішування та дозування суміші у годівниці.

Продуктивність системи має забезпечувати видачу сумішок за 1/3–1/2 години технологічній групі тварин, при високій надійності процесу, не нижче 98 %. Металомісткість та енергоємність процесу завантаження, зважування, подрібнення, транспортування, змішування та дозована видача кормосумішок має бути на рівні кращих світових зразків.

Значний теоретичний внесок у дослідження схем, структури, конструкції та оптимізації параметрів машин для приготування і роздавання кормів внесли наші вітчизняні науковці Кукта Г. М., Ревенко І. І., Ясенецький В. А., Гарькавий А. О. та інші. За минулий період вивчено та встановлено вплив кормів і навколишнього середовища на технологічні, конструктивні показники і параметри модульних універсальних агрегатів, які забезпечують приготування кормів та розподіл сумішок по фронту годівлі тварин.

Такі агрегати нині отримали широке розповсюдження в тваринництві у зв'язку з

їхньою простотою, надійністю та економічною доцільністю (Khmelovskiy & Potapova, 2018). Вони виготовляються в різних модифікаціях: причіпні та самохідні, з самозавантаженням та використанням простих завантажувальних пристроїв. Об'єм бункера цієї системи складає від 3 м³ до 80 м³ та задовольняє зоотехнічні вимоги для стада різної чисельності.

Відмінною їх якістю є різноманітне конструктивне виконання робочих органів з комплектуванням цієї технічної системи різними опціями. Найбільш розповсюдженими, до 80 % парку, є агрегати з вертикальним конічним шнеком та периферійно розставленими ножами (Khmelovskiy, 2018).

На європейському ринку нині присутні різні модифікації кормоприготувально-роздавальних агрегатів фірм: французької «Kuhn», німецької «Strautmann» і «Siloking», нідерландської «Triolet» і «Biga», італійської «Seko» і «Labrador» МТ, данської «Felder» та української «Брацлав», США «Joy Ior», шведської «DeLaval». Найбільш представницькими за об'ємом бункера є агрегати: до 99 м³ – 18 %, 10–14,9 м³ – 35 % і 15–19,9 м³ – 31 % (Burlaka et al., 2017).

У процесі використання даної системи відбувається її конструктивне та технологічне удосконалення. Зокрема, робочий орган шнек оптимізується, зокрема геометрія витка, встановлюються і удосконалюються ножі, їх технологічна обробка та монтаж на витку шнека (Izvekov, 2008). Поліпшується матеріал (пластмаса) та геометрія бункера, встановлюються регулюючі протирізальні пластини, модифікуються тензодатчики і встановлюється друкувальний пристрій до електронного вузла, поліпшується трансмісія (Filipov, 2008). Встановлюється індивідуальний електропривід до робочих органів (Demidovskiy, 2009).

Окрім того, патентами інших країн світу передбачається удосконалення редуктора, місця розташування вивантажувального лотка, який переноситься на задню стінку бункера, пропонується вертикальний шнек змішувача-подрібнювача, з кутом установки, в залежності від фізико-механічних властивостей подрібнюваних і змішуваних компонентів та інші технічні рішення (Izvekov, 2008).

За рахунок удосконалення робочого органу, конструктивної адаптації до важких умов, функціонування електронного принципу дозування кормів, високої надійності та простої

експлуатації, агрегат поліпшує основне відношення між ціною та якістю, чим забезпечує своє широке розповсюдження у виробництві.

Метою та нагальною потребою в області удосконалення кормоприготувально-роздавального агрегату є аналіз та синтез придатних до використання у проєктних і конструкторських розробках варіантів структур та технічних рішень.

Матеріали та методи

Технічний прогрес обумовлюється науковими досягненнями у відповідній предметній області та потребі, яка виникла в означений період. Для задоволення потреби, інженер створює функцію, яка є основою синтезу функціональної структури технічної системи, що дає підстави використати закони природи, фізико-технічні ефекти для синтезу фізичних принципів дії.

На підставі фізичних принципів дії фахівці здійснюють технічний розв'язок завдань, який є основою для проєктування, конструювання і виготовлення технічної системи, яка має бути здатною виконувати функцію задовольняти потребу.

Біля 5 % технічних рішень є винаходами четвертого та п'ятого рівнів (Altshuller, 1989). Ці рішення вимагають великих інтелектуальних зусиль, високої концентрації та інсайту творців і забезпечують технічну революцію в предметній області. При цьому, 95 % технічних розв'язків є винаходами 1...3 рівнів, що націлені на подальше удосконалення технічної системи та їх ефективну експлуатацію. Технічні рішення 1–3 рівнів досягаються використанням комбінування відомих рішень предметної області, відповідно до законів комбінаторики. Найбільш розповсюдженим і ефективним методом, який базується на комбінаториці, є морфологічний аналіз та синтез технічних систем.

Основною перевагою цього методу є створення морфологічної множини поля технічних рішень певної предметної області, де присутній і потрібний технічне рішення, який задовольняє всі вимоги і критерії технічного завдання (Andreichykov & Andreichykova, 2014).

Недоліком цього методу є недостатня формалізація процесу вибору раціонального рішення, певна кількість несумісних комбінацій та їх невизначеність.

Сутність морфологічного аналізу полягає в тому, що будується багатоаспектна множина можливих розв'язків завдань, що є безліччю моделей, кожна із яких описує один бік функціонування, або один із етапів життєвого циклу технічної системи, яку ми удосконалюємо чи створюємо (Andreichykov & Andreichykova, 2014; Boltianskyi et al., 2018). Множина моделей може бути подана морфологічною таблицею у вигляді залежностей «альтернативи – ознаки (параметри)» чи «ознаки (параметри) – альтернативи».

Ознаками можуть бути: елемент структури (будови), функції, режим роботи, форма взаємодії, тобто параметри характеристики технічної системи, від яких залежить розв'язок завдань та досягнення цілі. Для нашого випадку доцільно в якості ознаки вибрати елемент структури, та, проаналізувавши сучасні кормо-приготувально-роздавальні агрегати та узагальнивши результати патентних досліджень даних систем, вибрати альтернативи (табл. 1) елементів структури, що забезпечують реалізацію функції.

Ознаки вибираємо значимі та суттєві на підставі виконаної оцінки та патентного дослідження. (Dereza & Boltianskyi, 2019).

Морфологічна модель може бути описана матрицею. І таблиця і матриця, для лаконічності, заповнюється ознаками, альтернативами та їх комбінаціями у кодованій формі. Морфологічна модель має рішення, яке також кодовано записуємо у буквеному чи цифровому вигляді та використовуємо знаки алгебри логіки. Завдяки морфологічному аналізу є висока ймовірність, що із множини рішень жоден не буде пропущено. Окрім того, правила аналізу дозволяють будь-який матеріальний носій функції розглядати як окрему технічну систему.

Морфологічний синтез є трудомістким і нині виконується велика пошукова робота дослідниками з його удосконалення (Odryn, 1986; Liashuk et al., 2017).

Пропонується велика кількість методів (рис. 1), які не є їх вичерпною класифікацією, тому вибір метода синтезу є етапом складним, відповідальним та непростим.

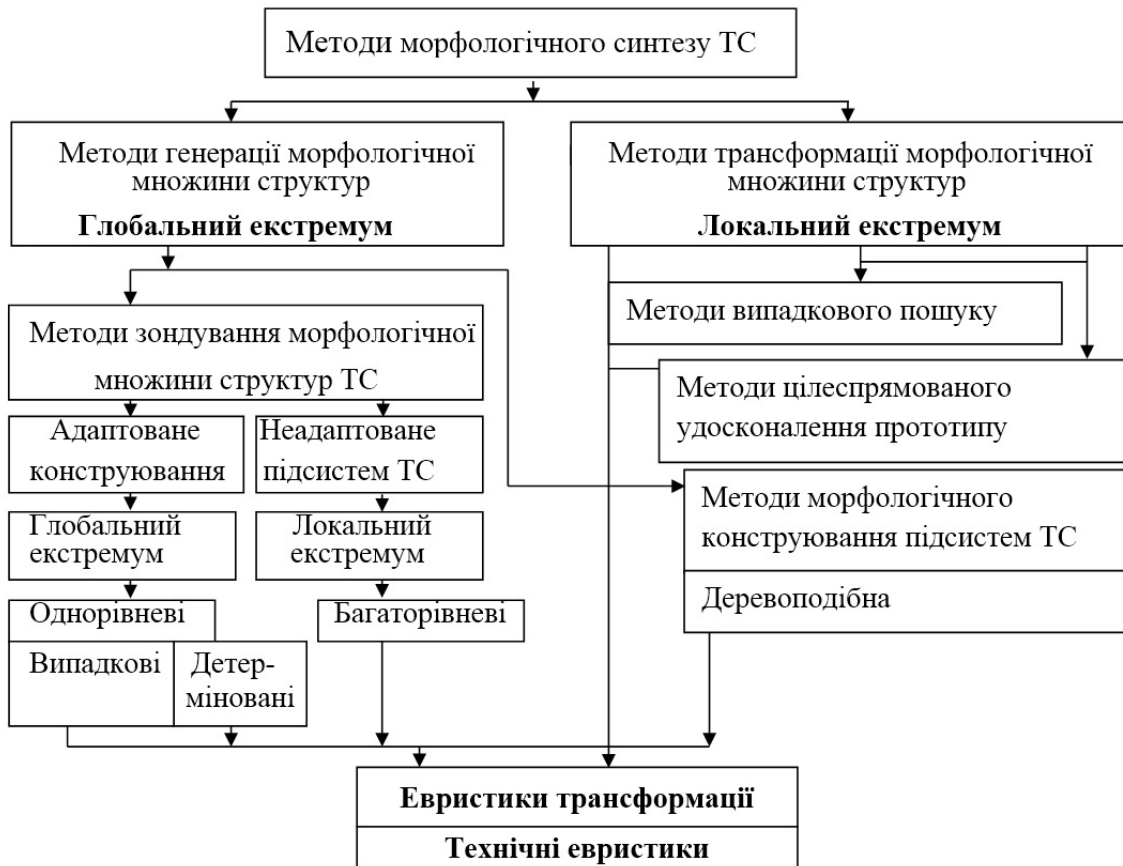


Рис. 1. Класифікація морфологічного синтезу множини структур технічної системи

Методи генерації морфологічної множини структур (рис. 1) використовуються, коли синтез технічної системи починається з нуля і результатом є технічне рішення – винахід (четвертого чи п'ятого рівнів) (Altshuller et al., 1989). В нашому випадку, при наявних аналогах, доцільні методи трансформації, зокрема методи цілеспрямованого удосконалення вибраних прототипів, з використанням методу синтезу ієрархічних груп (Liashuk et al., 2017).

Даний метод дозволяє компенсувати основний недолік морфологічного аналізу – недостатню формалізацію процесу вибору раціонального рішення, за рахунок методу аналізу ієрархій класифікаційних ознак морфоб'єкта та групування ієрархій, суттєво зменшується множина комбінацій. Другий недолік – несумісність комбінацій та їх невизначеність оцінюємо за допомогою побудови і аналізу альтернативних І-АБО-дерев. Для оцінки ефективності технічного рішення вибираємо критерії, використовуючи метод експертних оцінок (Andreichukov & Andreichukova, 2014; Boltianskyi et al., 2018).

$$M_{TC} = \left| \begin{array}{c} 1,1 \\ 1,2 \\ 1,3 \\ 1,4 \\ 1,5 \\ 1,6 \\ 2,1 \\ 2,2 \\ 2,3 \\ 2,4 \\ 2,5 \\ 2,6 \\ 2,7 \\ 2,8 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 3,1 \\ 3,2 \\ 3,3 \\ 3,4 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 4,1 \\ 4,2 \\ 4,3 \\ 4,4 \\ 4,5 \\ 4,6 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 5,1 \\ 5,2 \\ 5,3 \\ 5,4 \\ 5,5 \\ 5,6 \\ 5,7 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 6,1 \\ 6,2 \\ 6,3 \\ 6,4 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 7,1 \\ 7,2 \\ 7,3 \\ 7,4 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 8,1 \\ 8,2 \\ 8,3 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 9,1 \\ 9,2 \\ 9,3 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 10,1 \\ 10,2 \\ 10,3 \end{array} \right|$$

(1)

або в загальному вигляді:

$$M_{TC} = |M_1| \wedge |M_2| \wedge |M_3| \wedge |M_4| \wedge |M_5| \wedge |M_6| \wedge |M_7| \wedge |M_8| \wedge |M_9| \wedge |M_{10}|, \quad (2)$$

де M – множина альтернатив конструктивних вузлів реалізації функції;

\wedge – знак алгебри логіки, відношення до множини комбінацій альтернатив.

Множину морфологічних комбінацій оцінюємо за залежністю (Odryn, 1986; Andreichukov & Andreichukova, 2014).

$$N_{TC} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_m = \sum_{i=1}^m D_i, \quad (3)$$

де: k_m – кількість альтернатив i -тих конструктивних вузлів досліджуваної ТС; D_i – добуток кількості альтернатив i -тих вузлів; m – кількість альтернатив i -ої класифікаційної ознаки.

Частина операцій аналізу та синтезу виконуємо інтуїтивно. Технічні розв'язки вибираємо ті, що є патентоздатними – мають світову новизну, суттєві відмінності та користь.

Результати досліджень та обговорення

Структура технічної системи, її раціональність є одним із самих важливих етапів життєвого циклу створення кормоприготувально-роздавального агрегату, зокрема оптимальності його конструкції. На підставі власного аналізу (Burlaka et al., 2017) та оцінки технічного рівня конструкцій даної системи на світовому ринку, нами створено узагальнену модель кормоприготувально-роздавального агрегату. Дана модель подана у вигляді табличної морфологічної моделі (табл. 1), де класифікаційні ознаки виражені функціонально, а альтернативами є важливі конструктивні вузли, які виконують зазначені функції. Альтернативи вибирали, що задовольняють вимоги завдання. У згорнутому вигляді морфологічна модель запишеться матрицею:

В даному випадку $N_{TC} = 3981312$ комбінацій. Таким чином, така кількість технічних розв'язків є занадто великою і вибрати раціональне рішення послідовним перебиранням неможливо. Тому раціональним є вибір та оцінку здійснювати на частині комбінацій з вагомими функціями і конструктивними вузлами. Таким чином, розв'язок загальної задачі ми заміняємо рішенням часткових завдань, що значно спрощує процес рішення. Для забезпечення однозначності функцій, їх класифікації тощо, використовуємо визначення, які прийняті у функціонально-вартісному аналізі і є об'єктивними (Moiseeva & Karpunin, 1988).

Таблиця 1. Морфологічна таблиця конструктивних ознак кормоприготувально-роздавального агрегату

1 – подрібнює та змішує кормові матеріали	2 – обмежує рух частинок кормів при подрібненні та змішуванні і транспортуванні їх для видачі тваринам	3 – транспортує кормові компоненти у бункер	4 – виводить сумішки з бункера	5 – трансформування різних видів енергії в механічну	6 – передає енергію на виконавчі органи	7 – зміна напрямку та швидкості руху	8 – фіксація кількості кормових матеріалів у бункері в довільний момент часу	9 – сприймання динамічних та гравітаційних навантажень і перетворення обертового руху руща у поступальний рух ТС	10 – сприймання динамічних та гравітаційних навантажень від складових ТС
1.1. Роторний, молотковий з швирилкою	2.1. Циліндричний горизонтальний нерухомий	3.1. Гравітаційний	4.1. Прутковий транспортер з пальцевим бігером-дозатором	5.1. Газовий двигун	6.1. Механічна	7.1. Керованими колесами	8.1. Підсумовуючий ваговий механізм	9.1. Одновісна колісна	10.1. – плоска
1.2. Роторний ножовий з швирилкою	2.2. Циліндричний вертикальний нерухомий	3.2. Фрезерний	4.2. Ланцюгово-планчастий транспортер з шнековим дозатором	5.2. Дизельний двигун	6.2. Гідролічна	7.2. Керованими мостами	8.2. Програмований ваговий пристрій зі збереженням даних декількох рецептів	9.2. Двовісна балансірна	10.2. – об'ємна
1.3. Шнек горизонтальний циліндричний з ножами	2.3. Зрізаний обернений конус нерухомий	3.3. Грейферний	4.3. Стрічковий транспортер з похилим планчастим	5.3. Інжекторний ДВЗ	6.3. Електрична	7.3. Багатоколісними опорами	8.3. Програмований ваговий пристрій зі збереженням даних декількох рецептів і передачею інформації на комп'ютер	9.3. Гусенична	10.3. – безрамна
1.4. Шнек конічний горизонтальний з ножами	2.4. Зрізаний обернений конус обертовий	3.4. Скрепером	4.4. Шнековий транспортер з варіатором частоти	5.4. Електричний акумуляторний	6.4. Пневматична	7.4. Зчленованою рамою			
1.5. Шнек циліндричний вертикальний з ножами	2.5. Зрізаний обернений конус з відкидною задньою стінкою		4.5. Ланцюгово-планчастий транспортер з дозуючою заслінкою	5.5. Електричний з тролієм					
1.6. Шнек конічний вертикальний з ножами	2.6. Циліндр вертикальний нерухомий з відкидною задньою стінкою		4.6. Шнековий з регульованим кроком	5.6. Електричний з кабелем					
	2.7. Зрізаний обернений конус з гнучкими боковими стінками			5.7. Електричний з геліоустановкою					
	2.8. Циліндричний вертикальний з коаксіальними стінками								

Метод морфологічного аналізу та синтезу з ієрархічним групуванням функціональних ознак досліджуваного об'єкту передбачає поділ їх ознак і альтернативних вузлів, на три рівні, в залежності

від вагомості функцій. За вагомістю функції поділимо: I-го рівня – це головна функція; II-го рівня – це основні функції; III-го рівня – це допоміжні та другорядні (додаткові) функції (Moiseeva & Karpunin, 1988).

До функцій I-го рівня відносимо такі, що визначають призначення, сутність та якість і продуктивність системи при задоволенні потреби, заради якої синтезується система. Це функції 1, 2 (табл. 1).

До функцій II-го рівня відносимо такі, що є провідними у забезпеченні реалізації головної

функції. Вони є провідними в роботоздатності системи та здійснюють приймання, перетворення і видачу результату (матеріалу, енергії чи інформації). Це функції 3, 4, 5, 6 (табл. 1).

До функцій III-го рівня відносимо другорядні та допоміжні. Другорядні функції відображають побічні цілі синтезу системи та сприяють головній функції, а допоміжні – сприяють реалізації основних функцій. Це функції 7, 8, 9, 10 (табл. 1).

В такому випадку згорнута морфологічна модель запишеться в матричному вигляді:

$$M'_{TC} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \\ 1.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \\ 2.5 \\ 2.6 \\ 2.7 \\ 2.8 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \\ 4.4 \\ 4.5 \\ 4.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \\ 5.5 \\ 5.6 \\ 5.7 \\ 5.8 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Таким чином, маємо зменшену кількість комбінацій, завдяки застосуванню методу синтезу ієрархічних груп морфологічним аналізом. Кількість комбінацій запишеться залежністю:

$$N_{TC}^{IZ} = \sum_{z=1}^l \sum_{j=1}^n D, \quad (5)$$

де: n – кількість альтернатив певного рівня; z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів, $l=3$.

В даному випадку $N_{TC}^{IZ} = 924$ комбінацій, що зменшило їхню кількість у 4309 разів. Проте і ця кількість комбінацій є також великою. Для подальшого зменшення кількості оцінюваних комбінацій розчленуємо кожний із ієрархічних

рівнів на підгрупи. Так, альтернативи першого рівня морфологічної моделі розчленуються на дві підгрупи (I і II), а другого рівня – на чотири підгрупи (I, II, III, IV) і третього рівня на чотири підгрупи (I, II, III, IV).

Тоді кількість комбінацій визначиться:

$$N_{TC}^{IIZ} = \sum_{x=1}^q \sum_{z=1}^l \sum_{i=1}^m D, \quad (6)$$

де: x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня; q – кількість підгруп у певному ієрархічному рівні.

Морфологічна модель у матричному вигляді запишеться

$$M_{TC}^{IIZ} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \\ 1.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \\ 2.5 \\ 2.6 \\ 2.7 \\ 2.8 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \\ 3.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \\ 4.4 \\ 4.5 \\ 4.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \\ 5.5 \\ 5.6 \\ 5.7 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Кількість комбінацій за розчленованими ієрархічними групами $N_{TC}^{IIZ} = 48$.

Таким чином, використовуючи метод синтезу ієрархічних груп морфологічним аналізом з розчленуванням ієрархічних рівнів на підгрупи, кількість комбінацій оцінювання альтернатив

таблиці 1 складає 48. В порівнянні з класичним методом морфологічного аналізу кількість комбінацій скоротилась у 82944 разів (Odryn, 1986; Andreichykov & Andreichykova, 2014). Таку кількість варіантів ТС можна оцінити за критеріями завдання, методом попарного порівняння (Moiseeva & Karpunin, 1988).

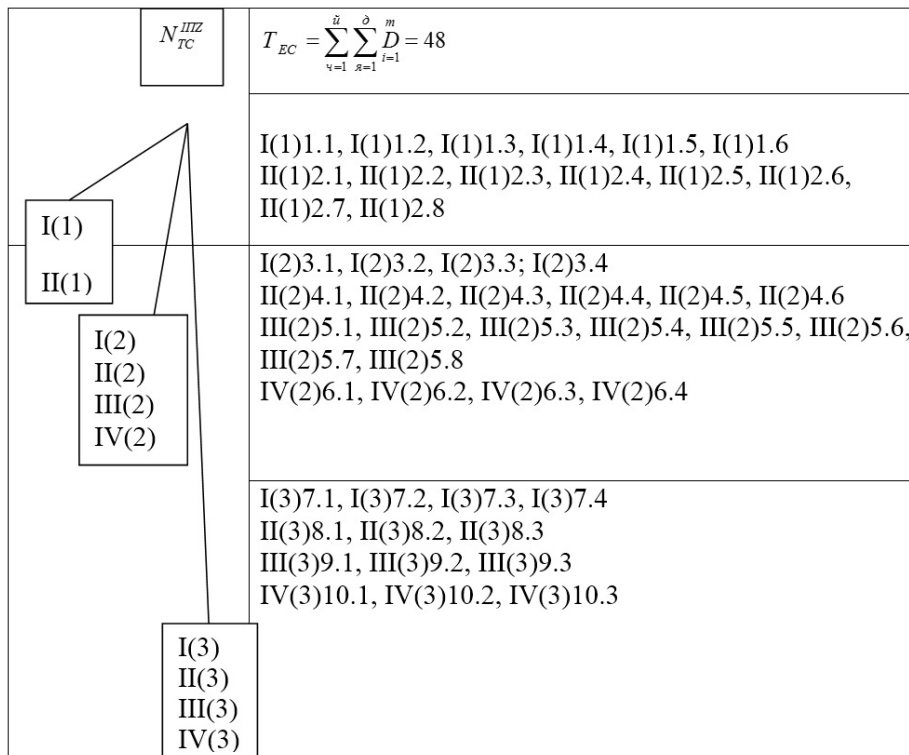


Рис. 2. Морфологічна модель кормоприготувально-роздавального агрегату:

I ...IV – підгрупи першого, другого і третього рівнів; (1) ... (3) – номери рівнів;

1.1 ... 1.6, ... 10.1 ... 10.3 – альтернативи в закодованій формі.

Таким чином, отримано 48 часткових рішень, які аналізуємо на кожному альтернативному рівні. Відбираємо ті, що відповідають критеріям енергомісткості, металомісткості та габаритності і компонуємо технічну систему. При цьому, критерієм вибору раціональної комбінації альтернатив на третьому рівні є економічна доцільність. Ті рішення, які є патентоздатними, готуємо заявки на вітчизняний патент.

Для виявлення патентоздатних технічних рішень проводимо кластерний аналіз морфологічної множини, визначаємо опірний кластер, відносно якого виконуємо оцінку збіжності кластерів (Andreichukov & Andreichukova, 2014). З числа кластерів найбільшої розбіжності виявляємо технічні рішення, які мають відмінні ознаки новизни, суттєвих ознак та промислової придатності.

За відомої структури ТС здійснюємо параметричний аналіз та синтез.

Об'єм бункера, м³:

$$V_6 = \frac{G_p}{\rho\beta}, \quad (8)$$

де: G_p – разова потреба в суміші технологічної групи тварин, кг; ρ – об'ємна маса

кормосуміші, кг/м³; β – коефіцієнт заповнення бункера, $\beta=0,75 \dots 1,0$.

Потрібна продуктивність, т/год.:

$$Q_n = 3,6q v_p, \quad (9)$$

де: q – погонна норма видачі корму кг/м; v_p – робоча швидкість кормороздавача, м/с.

Кількість ножів Z на робочому органі визначається за залежністю:

$$Z = \frac{v_{oc}}{bn}, \quad (10)$$

де: v_{oc} – осьова швидкість переміщення матеріалу, м/с; b – довжина частинок корму, м; n – частота обертання шнека, с⁻¹,

$$n = \frac{v_p}{2\pi R_c}, \quad (11)$$

де: v_p – швидкість різання, м/с; R_c – середній радіус шнека, м.

Крок розміщення ножів на робочому органі, м:

$$l = \frac{\sqrt{2gh}}{bz n}, \quad (12)$$

де: h – висота падіння частинки корму, м; g – прискорення земного тяжіння, м/с².

Кут установки поверхні витка шнека до площини, перпендикулярній осі шнека, що забезпечує самоочищення шнека:

$$\alpha > \arctg \left(\frac{fg - \left(\frac{\pi}{30}\right)^2 R}{\left(\frac{\pi}{30}\right)^2 Rf + g} \right), \quad (13)$$

де: f – коефіцієнт тертя кормосуміші по поверхні шнека; R – радіус шнека у певній точці, м.

Максимальна висота і ширина кормо-приготувально-роздавального агрегату обумовлюється габаритами архітектурно-планувальних рішень тваринницьких приміщень (Melnykov, 1978).

При відомому об'ємі бункера:

$$V_{\sigma} = B_{\sigma} H_{\sigma} L_{\sigma}, \quad (14)$$

$$\text{та } B_{\sigma} = B_n - 2\Delta B; H_{\sigma} = H_n - 2\Delta H, \quad (15)$$

де: B_{σ}, B_n – ширина кормороздавача і, відповідно, проходу (дверей), м; H_{σ}, H_n – висота кормороздавача і, відповідно, проходу (дверей), м; L_{σ} – довжина кормороздавача, м.

Таким чином, розрахунковий об'єм забезпечується довжиною кормороздавача:

$$L_{\sigma} = \frac{V_{\sigma}}{B_{\sigma} H_{\sigma}}. \quad (16)$$

На підставі оцінки технічного рівня параметри синтезованого нами кормоприготувально-роздавального агрегату мають бути такі: маса, кг – 5000...6000; потужність, кВт – 80...110; габарити, В×Н, м 2,4×2,8.

Висновки

Вважаємо доцільним, при використанні методу морфологічного аналізу та синтезу з ієрархічним групуванням, класифікацію ієрархічних рівнів виконувати у відповідності до методології функціонального аналізу технічних систем, поділяючи функції на головну, основні, другорядні та допоміжні. Такий підхід забезпечує більш високу об'єктивність структурно-функціональних моделей та дозволяє формалізувати етап морфологічного синтезу і скоротити затрати часу і коштів.

На підставі виконаного аналізу, за даною методикою, автори отримали структури кормо-приготувально-роздавального агрегату, які є патентоздатними. Перспективним, з високим технічним рівнем є кормоприготувально-

роздавальні агрегати масою 5000...6000 кг., потужністю електроприводу 80...110 кВт та габаритами (В×Н) 2,4×2,8 м.

References

Altshuller, G. S., Zlotin, B. L., Zksman, A. V. & Filatov, V. I. (1989). Poisk novykh idey: ot ozareniya k tekhnologii [Poisk novykh ydei: ot ozareniya k tekhnologii]. Kishinev : Kartya Moldovonyaskie [in Russian].

Andreichykov, A. V. & Andreichykova, O. N. (2014). Sistemnyy analiz i sintez strategicheskikh resheniy v innovatike [Systems analysis and synthesis of strategicheskikh resheniy in innovatike]. Moskva : Lenand [in Russian].

Boltianskyi, B. V., Hvozdiev, O. V. & Dereza, S. V. (2018). Obhruntuvannia konstruktivnogo vykonannya zmishuvacha komponentiv kombikormiv na osnovi pobudovy yoho morfolohichnoi modeli [Substantiation of constructive performance of mixer of components of compound feeds on the basis of construction of its morphological model]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu, 18 (2), 155–163. doi: 10.31388/2078-0877-18-2-154-162 [in Ukrainian].

Burlaka, V. A., Vodianytskyi, H. P. & Tymkiv, V. V. (2017). Vyznachennia tekhnichnogo rivnia kormorozdavachiv-zmishuvachiv firm svitu [Determination of the technical level of feeders-mixers of firms of the world]. Tvarynnytstvo Ukrainy, 6, 14–19 [in Ukrainian].

Demydovskyi, D. V. (2009). Patent Ukrainy 52946. Kyiv: Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy [in Ukrainian].

Dereza, O. O. & Boltianskyi, B. V. (2019). Vyznachennia konstruktivnykh parametriv zmishuvacha-kormorozdavacha z vertykalnym bunkerom [Determination of design parameters of feed mixer with vertical hopper]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu, 19 (3), 46–56. doi: 10.31388/2078-0877-19-3-46-56 [in Ukrainian].

Filipov, V. H. (2008). Patent Ukrainy 33786. Kyiv: Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy [in Ukrainian].

Iasenetskyi, V. A., Ermolenko, V. O. & Harkavyi, A. O. (1989). Znyzhennia enerhoztrat u tvarynnytstvi ta kormovyrobnytstvi [Reduced energy consumption in livestock and feed]. Kyiv : Urozhai [in Ukrainian].

Izvekov, E. A. (2008). Patent Rossiyskoy Federatsii 2386246. Moskva : Federalnaya sluzhba

po intelektualnoy sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam [in Russian].

Khmelovskyi, V. S. & Potapova, S. I. (2018). Tekhnolohichni ta tekhnichni peredumovy pryhotuvannia yakisnoi kormosumishi dlia VRKh [Technological and technical prerequisites for the preparation of quality feed mix for cattle]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, 18 (2), 248–257. doi: 10.31388/2078-0877-18-2-247-256 [in Ukrainian].

Khmelovskyi, V. S. (2018). Analiz rukhu kormovoi sumishi v bunkeru kormopryhotovalnoho ahrehatu [Analysis of the feed mixture movement in the hopper of the feed unit]. Kyiv : TsNTU. doi: [https://doi.org/10.32515/2414 - 3820.2018.48 - 189-197](https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48-189-197) [in Ukrainian].

Liashuk, O. L., Holotenko, O. S., Klendii, V. M. & Dovbysh, A. P. (2017). Syntez konveieriv z

rozshyrenyimi tekhnolohichnyimi mozhlyvostyami [Synthesis of conveyors with advanced technological capabilities]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, 47 (2), 167–177 [in Ukrainian].

Melnikov, S. V. (1978). Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm [Mechanization and automation of livestock farms]. Leningrad : Kolos [in Russian].

Moyseyeva, N. K. & Karpunin, M. G. (1988). Osnovy teorii i praktiki FSA [Fundamentals of FSA theory and practice]. Moskva : Vysshaya shkola [in Russian].

Odrin, V. M. (1986). Morfologicheskii sintez sistem: postanovka zadachi, klassifikatsiya metodov, morfologicheskiye metody «konstruirovaniya» [Morphological synthesis of systems: problem statement, classification of methods, morphological methods of "designing"]. Kiyev [in Russian].