

УДК 636.087:637.52:004.738.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.23>

КАЛЬКУЛЯТОР РЕЦЕПТІВ КОРМІВ ДЛЯ РИБ – ПРАКТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ГОДІВЛІ

Борщенко В.В. – д.с.-г.н., професор,
професор кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0002-0710-5628

Обертюх Ю.В. – к.с.-г.н., с.н.с.,
провідний науковий співробітник,
Інститут кормів та сільського господарства Поділля
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-4821-1398

Вербельчук С.П. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0002-1136-5617

Вербельчук Т.В. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0001-7334-4507

Кобернюк В.В. – к.с.-г.н.,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0001-7037-8269

Лавринюк О.О. – к.с.-г.н.,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0003-3145-3689

Збалансована годівля є одним із ключових факторів забезпечення високої продуктивності, здоров'я та біологічного благополуччя об'єктів аквакультури. Для вирішення складних завдань нормування годівлі та оптимізації складу комбікормів був розроблений інноваційний застосунок «Калькулятор рецептів кормів для риб», створений науковцями Поліського національного університету у середовищі Microsoft Excel. Цей інструмент є практичним і доступним рішенням для підготовки рецептур повноцінних комбікормів, які максимально відповідають специфічним потребам риб у поживних речовинах, енергії, вітамінах та мінералах.

Структура програми складається з трьох взаємопов'язаних вкладок: «Корми», «Норми» та «Раціон». Вкладка «Корми» містить детальну базу даних про поживну цінність понад 240 видів кормової сировини за 56 показниками, яку користувач може коригувати відповідно до результатів лабораторних досліджень та наявності локальної сировини. База «Норми» включає 44 стандарти потреб для різних видів риб на різних етапах росту та розвитку, що забезпечує точне підбирання параметрів годівлі. Вкладка «Раціон» дозволяє здійснювати оперативні розрахунки та формувати оптимальні рецепти кормів у реальному часі.



Ключовою особливістю калькулятора є використання симплекс-методу для автоматичної оптимізації рецептур, що дає змогу знаходити оптимальний баланс інгредієнтів із мінімальними витратами, враховуючи біодоступність амінокислот, мінералів та вітамінів. Програма виступає доступною та надійною альтернативою дорогому спеціалізованому програмному забезпеченню, що робить її корисною для рибоводів, нутриціоністів, фермерів, а також для освітнього процесу при підготовці студентів аграрних спеціальностей.

Використання «Калькулятора рецептів кормів для риб» сприяє раціоналізації витрат на корми, які складають основну частку собівартості продукції, підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню сталого розвитку риборівництва. Інструмент дозволяє впроваджувати сучасні підходи до годівлі та нутриційного менеджменту, підвищуючи конкурентоспроможність підприємств аквакультури та ефективність управління ресурсами.

Ключові слова: рецепти кормів, риби, аквакультура, годівля, поживність сировини, норми годівлі, оптимізація, симплекс-метод.

Borshchenko V.V., Obertukh Yu.V., Verbelchuk S.P., Verbelchuk T.V., Koberniuk V.V., Lavryniuk O.O. Fish feed recipe calculator – a practical tool for feeding optimization

Balanced feeding is one of the key factors in ensuring high productivity, health, and biological well-being of aquaculture objects. To solve the complex tasks of feed rationing and optimizing the composition of compound feed, an innovative application called “Fish Feed Recipe Calculator” was developed by scientists at Polissia National University in Microsoft Excel environment. This tool is a practical and affordable solution for preparing recipes for complete compound feeds that best meet the specific needs of fish in nutrients, energy, vitamins, and minerals.

The program consists of three interconnected tabs: «Feed», «Norm», and «Ration». The «Feed» tab contains a detailed database on the nutritional value of more than 240 types of feed raw materials according to 56 indicators, which the user can adjust according to the results of laboratory tests and the availability of local raw materials. The «Norms» database includes 44 standards for different fish species at different stages of growth and development, ensuring accurate selection of feeding parameters. The «Ration» tab allows you to make quick calculations and form optimal feed recipes in real time.

The key feature of the calculator is the use of the simplex method for automatic optimization of recipes, which allows you to find the optimal balance of ingredients at minimum cost, taking into account the bioavailability of amino acids, minerals, and vitamins. The program is an affordable and reliable alternative to expensive specialized software, which makes it useful for fish farmers, nutritionists, farmers, as well as for the educational process in the preparation of students of agricultural specialties.

Using the «Fish Feed Recipe Calculator» helps to rationalize the cost of feed, which makes up the main share of the cost of production, increase production efficiency and ensure sustainable development of fish farming. The tool allows for the implementation of modern approaches to feeding and nutritional management, increasing the competitiveness of aquaculture enterprises and the efficiency of resource management.

Key words: feed recipes, fish, aquaculture, feeding, raw material nutritional value, feeding rates, optimization, simplex method.

Актуальність теми дослідження. За останні десятиліття світове виробництво риби та інших водних організмів демонструє стійку тенденцію до зростання: якщо на початку 2000-х років воно становило близько 140 млн т, то за останніми оцінками перевищує 190 млн т, причому значна частка приросту забезпечується розвитком аквакультури. Виробництво високоцінних, інтенсивно вирощуваних видів, таких як креветки та лосось, також значно збільшилося, але більш вражаючим було збільшення виробництва менш цінних прісноводних видів, таких як короп, сом та тилапія, які зараз складають понад три чверті світового виробництва риби [13, 20]. Зростання сектору прісноводних риб зумовлене більшим використанням повноцінних кормів, оскільки виробництво стало більш інтенсивним для кращого використання прісноводних ресурсів. Приблизно 63 % світового виробництва

кормів для риб використовується для виробництва прісноводних видів низького трофічного рівня [15].

Світове виробництво кормів для риб також відповідно зросло в чотири рази, що вимагає від виробників кормів використання екологічно чистих та нових кормових інгредієнтів як альтернативи рибному борошну та риб'ячому жиру [16, 17]. Харчова цінність альтернативних кормових інгредієнтів, як правило, нижча, ніж у рибного борошна або риб'ячого жиру, через вміст необхідних поживних речовин, антинутриєнтів, або погано засвоюваних компонентів, що створює проблеми для розробників рецептур та виробників кормів для риб [21]. Враховуючи очікування, що виробництво аквакультури продовжуватиме зростати, потреба в передових знаннях про живлення риб, щоб забезпечити точне складання рецептів комбікормів, використовуючи стійкі та нові альтернативні кормові інгредієнти, ще ніколи не була такою великою.

Постановка проблеми. Аквакультура створює унікальні проблеми, з якими не стикаються виробники наземних тварин, включаючи управління кормами. Перш за все, це проблема забезпечення кормами риб. На відміну від наземної худоби та птиці, де необмежений доступ до кормів є поширеним явищем, риба та креветки не годуються самостійно. Годівля повинна активно керуватися для досягнення ефективного росту, запобігання втратам корму та підтримки якості води [5]. Управління кормами включає визначення відповідних рівнів годівлі та частоти годування, а також використання систем та методів доставки корму, які відповідають харчовій поведінці кожного виду, що вирощується. Рівень годівлі зазвичай базується на годівлі певного відсотка біомаси ставка або загону, але для цього потрібні точні оцінки кількості риб та їхньої середньої ваги у великому ставку або загоні, який може містити до ста тисяч особин, більшість з яких не видно фермеру [7]. Годівля великої популяції риб до видимого насичення практично неможливе і призведе до зниження ефективності корму (FE), збільшення витрат корму та впливу на здоров'я риб через забруднення води. Недогодівля може призвести до втрати продуктивності риб та збільшення варіацій розмірів через різницю в доступі до корму; великі, агресивні особини перемагають менших, менш агресивних особин у боротьбі за кормові гранули [3]. У будь-якому випадку економічні показники ферми знижуються. Враховуючи, що корм становить 50-60 % експлуатаційних витрат на вирощування риби, методи годівлі та управління кормами є такими ж важливими, як і якість кормів, для успіху виробників аквакультури [3]. Корм найвищої якості не здатний забезпечити виробничі показники, зокрема інтенсивний ріст, за умови неналежної організації годівлі; водночас ефективне управління годівлею не компенсує застосування низькоякісних кормів. На корми та стратегії годівлі, що використовуються в аквакультурі, впливають багато абіотичних та біотичних факторів. З абіотичних факторів найважливішою є температура води. Види аквакультури є пойкилотермними, тому метаболічна активність та споживання корму зростають із температурою води до верхньої теплової межі, після чого споживання корму зменшується. Таким чином, для даного виду та враховуючи її розмір – температура води є основним фактором, що визначає рівень та частоту годівлі. Інші абіотичні фактори також впливають на харчову активність вирощуваних водних видів і включають фотоперіод, методи утримання, вміст поживних речовин та енергії в кормі, а також інші характеристики корму, такі як щільність гранул, стабільність обробки та стабільність води. Біотичні фактори, що диктують методи годування, включають види, харчову поведінку та добові ритми годування, стадію життєвого циклу, щільність вирощування, а у деяких

видів – соціальну взаємодію [20]. У природі риби та креветки еволюціонували, щоб використовувати широкий спектр середовищ існування та природних джерел їжі, що призвело до значних відмінностей в анатомії, фізіології травлення, харчовій поведінці та інших факторах, пов'язаних із годівлею. Враховуючи, що для виробництва продуктів харчування вирощується кілька сотень видів риб та креветок, було б замало сказати, що жоден єдиний протокол або метод годування не підходить для всіх видів та виробничих систем. Корми повинні відповідати таким характеристикам: тип (живі, свіжозаморожені або комбіновані), фізичні властивості (розмір частинок, тонкість помелу, щільність або питома вага), а також привабливість і смакові якості, що враховують потреби різних видів риб та їх вікових груп. Управління годівлею, зокрема визначення розміру раціону та частоти годівлі, повинно здійснюватися з урахуванням біологічних особливостей виду й стадії розвитку з метою забезпечення інтенсивного та ефективного росту, збереження здоров'я, високої якості продукції та економічної ефективності аквакультурного підприємства [3, 12, 15].

Таким чином, корми є ключовим елементом виробництва здорової, екологічно безпечної риби та продукції рибництва, що становить важливу складову продовольчої безпеки держави. Однак інформація, необхідна для розробки точних рецептів комбікормів, зокрема щодо потреб у основних поживних речовинах і чутливості до антинутрієнтів та сторонніх токсинів, відома лише для окремих видів риб, які вирощуються в умовах аквакультури [1, 6, 18]. Тому ґрунтовне розуміння фізіології живлення, технології виробництва та системи управління кормами є необхідною передумовою підвищення ефективності вирощування численних видів риб.

Важливе значення мають практичні аспекти науки про живлення, що забезпечують розробку точних кормових формул і вирішення завдань оптимізації годівлі об'єктів аквакультури, зокрема при складанні раціонів [1, 4, 8, 16].

Складання раціону здається простою справою, але на практиці це складний процес, що включає багато міркувань, що вимагають значних знань та досвіду. Розробники кормів вибирають дієтичні інгредієнти для поєднання в суміш, яка є смачною, гранульованою, поживною, недорогою та легкою у транспортуванні, зберіганні та використанні. Інгредієнти вибираються на основі вартості, доступності, хімічного складу, харчової цінності та простоти використання. Складання раціону передбачає вибір між розробкою недорогого корму, який може бути відносно неефективним, або високопродуктивного корму, який може бути відносно дорогим. Більшість розробників формулюють корми, щоб досягти золотієї середини між крайнощами, де висока продуктивність риби, така як виживання мальків, приріст ваги або виробництво ікринок, досягається за найменших витрат на одиницю продуктивності. Таким чином, мета виробництва є першим фактором, який необхідно враховувати при складанні корму. Складання раціону для риб передбачає вибір комбінації інгредієнтів, що призводить до суміші, що містить рівні необхідних поживних речовин, які відповідають або перевищують мінімальні потреби риби. Для цього необхідно знати потреби риби в поживних речовинах та вміст поживних речовин у інгредієнтах [2, 9-10, 14].

Швидкий огляд інформації про потреби в поживних речовинах, представленої для різних видів у NRC (2011) [19], показує, що наші знання про потреби в поживних речовинах більшості видів риби та креветок, що вирощуються, є неповними. Корми для видів риб, для яких потреби в поживних речовинах є неповними, розроблені таким чином, щоб містити рівні поживних речовин, подібні до тих, що потрібні спорідненим видам.

На відміну від інформації про потреби риби в поживних речовинах, вміст поживних речовин у інгредієнтах корму добре відомий і легкодоступний у таблицях складу корму. Однак значення, зазначені в таких таблицях, не є абсолютними. Швидше, вони є середніми значеннями кількох аналізів зразків кожного інгредієнта [21-22]. Окремі партії інгредієнтів зазвичай відрізняються за вмістом поживних речовин залежно від сезону або стадії зрілості під час збору врожаю, процедур, що використовуються для переробки сировини на кормовий продукт, та багатьох інших факторів. Методи хімічного аналізу також схильні до експериментальних похибок, зазвичай незначних, але тим не менш присутніх. Усереднення результатів кількох аналізів, теоретично, повинно зменшити похибку, пов'язану з мінливістю хімічного аналізу. Як наслідок, розробка корму, який містить точну кількість необхідних, лімітуючих поживних речовин на необхідних рівнях, є ризикованою практикою. Потреби в поживних речовинах, перелічені в різних джерелах, таких як NRC (2011) [19], є мінімальними, значеннями, визначеними в лабораторних умовах. Якщо рівень поживних речовин в одному або кількох інгредієнтах, що використовуються в кормі, нижчий за середні табличні значення, корм може неефективно працювати в реальних умовах. Щоб запобігти цьому, корми зазвичай розробляються таким чином, щоб містити рівні білка, амінокислот, енергії та інших необхідних поживних речовин вище мінімальних потреб. Наявність поживних речовин в інгредієнтах корму – це ще один аспект, який необхідно враховувати, під час розробки корму. Включення інформації про доступність поживних речовин у процес розробки корму є простим, але ця інформація є неповною. Такі фактори, як процедури, що використовуються для, виробництва інгредієнта та взаємодія з іншими дієтичними інгредієнтами, можуть зменшити доступність поживної речовини для риб, навіть якщо результати хімічного аналізу кормів показують, що в раціоні присутній достатній рівень. Прикладом зниження доступності поживних речовин, в результаті обробки, є зниження, яке відбувається, коли білкові добавки сушать, у присутності редуруючих цукрів. Аналіз амінокислот виміряє загальний вміст лізину, але рівень біодоступного лізину буде нижчим [4, 20].

Прикладом зниження доступності поживних речовин через взаємодію з іншими інгредієнтами раціону є доступність цинку в раціонах, що містять корми з високим вмістом золи, підвищений рівень кальцію та фосфору або підвищений рівень кальцію, фосфору та фітинової кислоти (Ketola, 1979; Hardy and Shearer, 1985; Richardson et al., 1985) [20]. Рівень цинку в раціоні в діапазоні потреби для форелі (15-30 ppm) буде достатнім у напівочищеному раціоні, але недостатнім у практичному раціоні, що містить рибне борошно з високим вмістом золи, або в напівочищеному раціоні, що містить підвищений рівень кальцію, фосфору та/або фітинової кислоти. Визначення доступності поживних речовин включає годування риб експериментальними раціонами та вимірювання таких параметрів, як засвоєваність, активність ферментів або насичення тканин поживними речовинами. Важливо враховувати значення доступності поживних речовин у процесі розробки корму. Для поживних речовин, доступність яких може змінюватися і для яких не існує надійних значень доступності, розумною практикою є формулювання корму на рівнях, що значно перевищують мінімальні потреби. Формулювання кормів передбачає припущення, і розробники кормів повинні знати про ці припущення, щоб уникнути несподіванок щодо їхньої продуктивності. Перше припущення, зроблене під час формулювання кормів, полягає в тому, що поживні речовини в інгредієнтах є взаємозамінними, тобто поживна речовина в одному інгредієнті

є взаємозамінною з такою ж поживною речовиною в іншому інгредієнті. Це припущення не завжди виправдане або навіть визнане. Однак це важливе припущення, яке дозволяє маніпулювати інгредієнтами в кормових формулах, оскільки ціни та їхня доступність змінюються. Розробники кормів повинні усвідомлювати, що вони роблять це припущення, щоб уникнути небезпеки. Друге припущення, зроблене під час формулювання кормів, полягає в тому, що рівень поживних речовин в інгредієнтах є адитивним, тобто вміст поживних речовин у кормі можна підсумувати з кількості кожної поживної речовини, що вноситься кожним інгредієнтом у кормі. З цього припущення виникає кілька проблем. Це припущення ґрунтується на відсутності взаємодій між інгредієнтами, коли вони поєднуються, що може знизити рівень необхідної поживної речовини. По-друге, обробка кормів може змінювати, інактивувати або руйнувати певні поживні речовини в кормових сумішах зі швидкістю, яка відрізняється між сумішами. Прогалини в знаннях сприяють цим невизначеностям. Незважаючи на ці прогалини в знаннях, корми для риб розробляються, виробляються та успішно використовуються для щоденного вирощування риби. Успішні рецептури кормів зазвичай містять достатньо можливостей для покриття будь-яких потенційних дефіцитів у задоволенні харчових потреб риби. Однак, оскільки рецептури кормів для м'ясоїдних видів переходять на набагато нижчі рівні рибного борошна, прогалини в знаннях, які раніше не були критичними, стають критичними. Іншими словами, високий рівень рибного борошна в кормах приховував прогалини в знаннях про харчування риб, які зараз критично важливо знати, оскільки корми переходять на вищі рівні альтернативних джерел білка, особливо рослинних білкових концентратів.

Важливим інструментом оптимізації рецептур є лінійне програмування, що використовується для розрахунку кормів із мінімальною собівартістю за умови дотримання встановлених поживних обмежень. Метод базується на розв'язанні системи лінійних рівнянь і нерівностей, які описують технологічні та біологічні вимоги. Лінійне програмування використовується у розробці рецептур кормів для тварин вже понад 30 років і використовується майже виключно в сучасних рецептурах кормів у сільському господарстві сьогодні. У минулому лінійне програмування вимагало доступу до мейнфрейму та спеціалізованих знань у використанні мейнфреймів, тобто навичок програмування. Хоча фактичний час роботи комп'ютера, необхідний для отримання рецептури з найменшою вартістю, був коротким, час, необхідний для введення даних та налаштування, був тривалим. Для простих рецептур або для невеликих виробників кормів ручні розрахунки часто були більш практичними. Широка доступність мейнфреймів та використання віддалених терміналів, які можна підключити до мейнфрейму за допомогою модему (модулятор/демодулятор) та комерційної телефонної лінії, у поєднанні зі збереженими даними та програмуванням на комп'ютері, збільшили доступність лінійного програмування практично для кожного споживача [20].

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій розрахунок програм годівлі з мінімальною собівартістю може здійснюватися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення без необхідності глибоких знань у галузі програмування чи математичного моделювання. Сьогодні комп'ютери, що використовують програми для рецептур кормів, регулярно використовуються для розрахунку комбінації та рівнів інгредієнтів, які забезпечують бажаний вміст поживних речовин у раціоні за найменшими витратами. Програма рецептур повинна мати актуальні дані про вміст поживних речовин кожного інгредієнта корму, отримані з таблиць складу корму або з аналізів на самому заводі. Поточна ціна кожного

інгредієнта повинна бути введена в програму разом зі специфікаціями поживних речовин у рецептурі, що розраховується. Повинні бути встановлені обмеження на інгредієнти, тобто максимальний та мінімальний рівні, дозволені в рецептурі. На цьому моменті програмне забезпечення розраховує рецептуру.

Щоб проілюструвати, як результати лінійного програмування можуть допомогти дієтологу, в даній статті представлено особливості і принципи роботи з додатком «Калькулятор рецептів кормів для риб» на базі комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Метою дослідження є розробка калькулятора рецептів кормів для риб як сучасного практичного інструменту оптимізації годівлі в умовах аквакультури. Реалізація поставленої мети передбачає створення науково обґрунтованих, збалансованих кормових формул, які повною мірою відповідають фізіологічним потребам об'єктів аквакультури в енергії, протеїні, амінокислотах, ліпідах, мінеральних речовинах та вітамінах з урахуванням виду, віку та технологічної групи.

Повноцінна та збалансована годівля є визначальним чинником інтенсивного вирощування риб, оскільки частка поживних речовин, що надходять із природної кормової бази ставів або інших водойм, у більшості випадків є недостатньою для покриття їхніх загальних фізіологічних потреб. За умов інтенсивних технологій вирощування основним джерелом нутрієнтів виступають саме комбікорми. Крім того, ендогенний синтез окремих сполук у травному тракті риб має обмежене значення і не здатний компенсувати дефіцит есенціальних поживних речовин.

Отже, застосування програмних засобів оптимізації рецептур кормів є важливою передумовою підвищення продуктивності, збереження здоров'я риб та забезпечення економічної ефективності аквакультурного виробництва.

Матеріал та методика дослідження. Розроблено алгоритми розрахунку раціону для риб із врахуванням конкретних параметрів та критеріїв, що дозволяє оперативно реагувати на зміни у статусі тварин та вчасно усувати недоліки у їх годівлі на етапі оптимізації раціонів [2]. У межах дослідження було проаналізовано сучасні інформаційні ресурси, зокрема довідники поживної цінності кормів і норми годівлі риб [2-4; 18-22]. На базі програми *Microsoft Excel* створені алгоритми, які дозволяють точно встановити норму годівлі риб в залежності від виду, маси, температури оточуючого середовища тощо. Реалізовані алгоритмічні рішення передбачають адаптацію вхідних даних щодо поживної цінності інгредієнтів на основі результатів лабораторного контролю, що підвищує точність розрахунків [2, 14]. Оптимізація рецептур відбувається в автоматичному режимі шляхом застосування симплекс-методу та методу зведеного градієнта з урахуванням встановлених технологічних і біологічних обмежень.

Комп'ютерний додаток «Калькулятор рецептів кормів для риб» розроблено колективом кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури Поліського національного університету.

Результати досліджень. Робота в додатку «Калькулятор рецептів кормів для риб» – це додаткова спеціалізація та розширення можливостей користувачів у напрямку оптимізації живлення риб, оскільки дозволяє працювати з широким спектром кормових засобів, розраховувати рецепти кормів, проводити їх оцінку та корекцію. Слід наголосити, що додаток дає можливість саме правильно та обґрунтовано оцінювати раціони риб і, отже, користувач може мати можливість краще і більш усвідомлено контролювати технологічний процес виробництва продукції рибиництва.

Додаток «Калькулятор рецептів кормів для риб» є надійним та адаптивним інструментом, який дозволяє перетворити складний процес нормування годівлі

на чіткий, науково обґрунтований алгоритм, забезпечуючи високу продуктивність риби за прийнятної вартості раціону.

Особливості і принципи роботи з додатком «Калькулятор рецептів кормів для риб» на базі комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Переваги додатку. Відомо, що більшість витрат у рибництві – це витрати на корми. Тому виробники приділяють велику увагу можливості зменшення цих витрат. Цього можна досягти за рахунок раціоналізації споживання кормів та за рахунок зниження собівартості виробництва. Одним з елементів зменшення споживання кормів є правильне збалансування кормів.

Ефективний корм має бути збалансованим таким чином, щоб максимально відповідати фізіологічним потребам організму риб у поживних речовинах, забезпечуючи оптимальний ріст, здоров'я та продуктивність.

Мета виробника – отримати відповідний вміст і концентрацію поживних речовин у використовуваному кормі. Але проблема полягає у співвідношенні якості корму та його ціни. Досить просто створити відмінну їжу, використовуючи для цього високоякісні, хоча і дорогі, інгредієнти. Слід зазначити, що виробники кормів, прагнуть виробляти корми якомога економічніше. Таким чином, виникає конфлікт інтересів між виробниками кормів і виробниками продукції рибництва.

Найчастіше вирішити ці питання допомагають комп'ютерні програми для оптимізації рецептів кормів. Перевага програм полягає в тому, що вони дозволяють точно створити хороший рецепт, зберігаючи при цьому низьку собівартість корму.

Але є один нюанс – вартість самих програм. Ціни на них можуть коливатися від 1500 євро до 4000 євро за програму.

Крім того, існують обов'язкові щорічні платежі за оновлення та підтримку, що робить їх недоступними для середньостатистичного фермера або виробника кормів.

Саме тому був розроблений доступний інструмент – програма – «Калькулятор рецептів кормів для риб».

За допомогою цього інструменту ви можете: (1) розраховувати рецепти комбікормів та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД), збалансовуючи при цьому велику кількість (до 69) компонентів корму, таких як енергія, протеїн, загальні та перетравні амінокислоти, мінеральні компоненти, макро- та мікроелементи, а також вітаміни, ензими та інші складові корму; (2) створювати комплексні рецепти кормів, що містять необхідну кількість різних видів сировини; (3) знижувати витрати на виробництво кормів; (4) скорочувати час, необхідний для приготування рецептів комбікормів.

Одним із важливих аспектів сучасного годівельного менеджменту є доступність і ефективність програмних засобів для розробки раціонів риб. У цьому контексті виникає питання: які переваги має програма-калькулятор «Калькулятор рецептів кормів для риб» порівняно з більш дорогими комерційними аналогами? Основні переваги застосування полягають у наступному: (1) додавати та оновлювати поживну цінність сировини в базі даних; (2) створювати та оновлювати норми поживності для кормів; (3) також у вартість всіх програм оптимізації входить розробка інтерфейсу програми і системи захисту програми (ключ), який відкриває програму і автоматично є ліцензією, втрата якої автоматично означає повторну покупку програми; (4) програма «Калькулятор рецептів кормів для риб» має досить простий і зручний інтерфейс на базі *Microsoft Excel* і не потребує ключа для відкриття програми, що робить її доступною для клієнта; (5) з часом комп'ютерні

операційні системи застарівають, і на зміну Windows XP приходить версія 7 або 8, 10 і т.д. Але програми були розроблені, наприклад, тільки для XP, і тепер потрібно або купувати нову програму, або купувати оновлення, яке може коштувати від 30 до 100 % вартості нової програми. Однак Excel – це продукт Microsoft і підтримується будь-якими новішими версіями *Microsoft Office Excel*.

Які можливості має програма «Калькулятор рецептів кормів для риб»?

Сировинна база. Структурована база даних поживної цінності кормових інгредієнтів, що містить інформацію про близько 240 видів кормової сировини:

1. кожний кормовий засіб має близько 56 показників поживності, які можна налаштовувати, змінювати і видаляти;

2. до бази даних кормів можна додати ще близько 1000 видів сировини. Сировину можна копіювати та коригувати;

3. дані про кормові засоби беруться з професійних програм, а також із довідників кормів, зокрема: (1) Nutrient requirements of fish and shrimp, 2011. 392 pages DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>; (2) The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp – a training manual 1. The essential nutrients, 1987. fao.org/4/ab470e/AB470E00.htm#TOC; (3) Tables of composition and nutritional value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses and fish. D. Sauvant, J.-M. Perez, and G. Tran. 2004, 304 pp. та інших видань;

4. створена база стандартів потреб різних видів риб містить 44 стандарти, що охоплюють основні показники поживних речовин для різних вікових груп і технологічних категорій.

У базі стандартів потреб передбачено гнучке оновлення інформації шляхом коригування існуючих стандартів та додавання нових, що забезпечує її відповідність сучасним науковим даним та потребам аквакультурного виробництва. Ці стандарти взяті з нормативних довідників і рекомендацій для риб різної генетики, зокрема: (1) National Research Council (NRC) (1993) Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, 114 pp.; (2) Nutrient requirements of fish and shrimp, 2011. 392 pages DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>.

Таким чином, розрахунок рецептів кормів є звичною практикою у рибництві. Саме тому, щоб мати перспективи в цьому напрямі необхідно користуватися надійними математичними інструментами, які дозволяють оперативно складати рецепти кормів, виходячи з сучасних норм годівлі та показників поживної цінності кормів, а також оцінювати їх вплив на організм риб.

Додаток орієнтований на виробників продукції рибництва та виробників кормів початківців. За допомогою додатку також можна ефективніше призначати асортимент кормів та добавок, ілюструючи їхню необхідність клієнтам. Саме тому професійна дієтологічна консультація може значно підвищити рівень довіри до ваших послуг та забезпечити готовність клієнтів співпрацювати з вами та дотримуватися конкретних призначень.

Іншим можливим варіантом напрямком використання додатку є його використання у освітньому процесі для навчання студентів, інших зацікавлених осіб шляхом проведення різних майстер-класів зі складання раціонів.

Надіємося, що запропонований додаток стане професійним інструментом для спеціалістів рибного господарства, фахівців-нутриціоністів, студентів, а також інших категорій користувачів, які цікавляться питаннями оптимізації живлення риб.

Проконсультуватися щодо можливостей комп'ютерного додатку можна за контактним номером телефону: 097-87-44-064.

Складові частини додатку та принципи роботи з ним. Додаток створений на базі комп'ютерної програми *Excel*. Він складається з трьох окремих вкладок, або аркушів *Microsoft Excel*, а саме: «Корми», «Норми», «Раціон», як зазначено на рисунку 1.

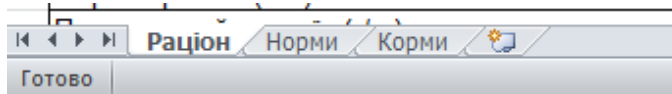


Рис. 1. Вкладка програми рецептів кормів для риб у середовищі *Microsoft Excel* (рисунок авторів)

Вкладка «Корми». Вкладка «Корми» містить базу даних поживної цінності біля 240 різних кормів і кормових добавок, оцінених за 56 показниками поживності. Поживність, наведених кормових засобів, переважно була взята з наступних літературних джерел: *Nutrient requirements of fish and shrimp, 2011*. Деяко було взято з *Nutrient requirements of fish, 1993*. Поживність деяких кормів із: <https://feedtables.com/content/chickpea-kabuli-type> та з багатьох інших джерел незначні правки.

За необхідності, дані поживної цінності кормових засобів можна коригувати, відповідно до побажань клієнта, який, можливо, орієнтується на власний досвід або має фактичні дані поживності кормів, які підтверджені результатами лабораторного аналізу. Вкладка «Корми» (рис. 2) має такий вигляд:

Корми і добавки	Ціна, грн./кг	СП (%)	ПЕ (ккал/кг)	ПЕ (ккал/кг СР) (лосось)	СП (%)	ПП (%)	СЖ (%)	Крохмаль (%)	СК (%)	Зола (%)	Аргінін (%)	Валін (%)	Гістидин (%)	Ізолей.
Аракісовий шрот	35	92	2983	3344	49	42,9	1,3	7,9	9,9	5,9	3,37	2,45	0,96	1,4
Бавоарський шрот, 41% СР	18	92	2519	3090	41,7	28,4	1,8	3	11,3	6,4	4,18	1,9	1,07	1,4
Віка, зерно	33	87,4	2330	2330	24,7	21,2	1,2	37,1	4,2	3,3	1,69	0,13	0,61	0,4
Водорості борошно	42	91	2500		8,9	7,6	1,6		3,9	17,3	0,1			
Горох обрушений, екструдований	38	90	2630	2630	25,3	22,2	1,4	46,2	6,9	3,3	1,87	0,98	0,54	0,4
Горох концентрат білка	188	90	4320	4320	55	48,5	2	0,4	0,3	6	4,83	2,35	1,3	2,2
Жито, зерно	12	86,7	1860	1860	8,5	6,7	1,2	53,7	2	1,8	0,43	0,42	0,18	0,4
Мелісса суха	64	94	2650	1440	9,6	7,9	0,8		6,2	12,5	0,06	0,15	0,04	0,2
Картопляний білок	125	93	4130	4130	81,1	71,5	2,7	0,1	1,3	0,5	4,02	5,33	1,77	4,4
Кукурудза жовта зубовидна	8,3	88	2842	1500	8,5	6,5	3,6	63,8	2,3	1,3	0,4	0,42	0,25	0,4
Кукурудзана барда зернова розчинна	6,8	91	3215	3030	27	22,1	9,3	11,2	9,1	6,4	1,1	1,33	0,65	1,1
Кукурудзана барда розчинна	6	90	3165	2490	27,6	22,6	8,5	11,1	4,6	7,5	1	1,5	0,6	1,1
Кукурудзане борошно	34	88	2893	3060	10,2	8,3	4,8	63,8	2,8	1,6	0,53	0,45	0,28	0,2
Кукурудзаний глютен, 60% СР	87	91	3187	4260	63,7	63,1	2,2	16	1,5	1,6	1,9	2,7	1,2	2,2
Кукурудзаний глютен кормовий	82	90	2711	4140	21,5	21,3	3	19,4	9,4	7	1,04	1,01	0,67	0,4
Кукурудзаний крохмаль желатинизований	62	90	3140	3140	0,4	0,24	0,4	85,5	0,1	0,1	0,017	0,017	0,011	0,0
Кунжутна макуха, віджата	79	94	2565	3330	42	33,8	7	1,7	8,5	12	4,31	1,8	0,94	1,1
Лінійний шрот	30	90	2674	2670	35	30,3	1,6	8,7	8,9	5,7	2,97	1,74	0,86	1,1
Льон білий соловий борошно	20	92	2484	3010	30,4	28,9	6,7	6,2	1,1	3,7	3,38	1,29	0,77	1,1
Льодернове борошно, 17% СР	30	92	1602	2190	17,1	14,4	2,8	2,8	24,1	9,8	0,77	0,98	0,23	0,2
Нут, зерно	22	87,3	2380	2380	18,6	15,7	5,5	43,8	3,4	2,9	1,54	0,75	0,47	0,2
Овес	8,5	90	2140	2140	11,2	9	5,4	36,8	10,6	2,6	0,7	0,56	0,2	0,2
Овес крупа	33	90	2030	2030	15,5	12,6	6,1	36,8	2,5	2	0,9	0,65	0,25	0,4
Львона дробина суха	7,8	92	2577	2770	23,1	19,8	6,4	6,3	13,7	3,7	1,09	1,14	0,51	0,4
Просо, зерно	13	90,6	2270	2270	12,9	10,6	5,1	58,2	6,7	3,6	0,48	0,7	0,28	0,4
Пшениця м'яка озима, зерно	8,5	86	2620	3030	10,8	9,7	1,7	59,4	2,8	2	0,55	0,49	0,25	0,2
Пшениця тверда червона озима, зерно	10	88	3110	3110	14,8	12,3	1,8	55,9	2,5	2,1	0,89	0,62	0,32	0,4
Пшениця болоньйо	11	88	2965	2120	11,7	10,7	1,2	61,4	1,3	0,4	0,66	0,53	0,31	0,2

Рис. 2. Візуальне зображення вкладки «Корми» (рисунок авторів)

Вкладка «Корми» містить дані про 56 показників, а саме: Ціна, грн./кг, СП (%), ПЕ (ккал/кг), ПЕ (ккал/кг СР) (лосось), СП (%), ПП (%), СЖ (%), Крохмаль (%), СК (%), Зола (%), Аргінін (%), Валін (%), Гістидин (%), Ізолейцин (%), Лейцин (%), Лізін (%), Метіонін (%), Цистин (%), Фенілаланін (%), Тирозин (%), Треонін (%), Триптофан (%), Лінолева кислота (%), α -ліноленова кислота (%), Ейкозапентаєнова + докозагексаєнова кислота (%), Са (%), Р (%), Р (%) доступний, Mg (%), К (%), Na (%), Cl (%), S (%), Cu (мг/кг), Fe (мг/кг), Mn (мг/кг), Zn

(мг/кг), Se (мг/кг), I (мг/кг), Co (мг/кг), Cr (мг/кг), Mo (мг/кг), Тіамін В₁ (мг/кг), Рибофлавін В₂ (мг/кг), Ніацин В₃, РР (мг/кг), Холін В₄ (мг/кг), Пантотенова кислота В₅ (мг/кг), Піридоксин В₆ (мг/кг), Біотин В₇, Н (мг/кг), Фолієва кислота В₉ (мг/кг), Кобаломін В₁₂ (мг/кг), Вітамін С (мг/кг), Інозитол В₈ (мг/кг), α-токоферол Е (мг/кг), Ретинол А (мг/кг), Холекальциферол D (мг/кг), Менадіон, К (мг/кг), Астаксантин, (мг/кг).

Вкладка «Норми». Норми годівлі риб та креветок також є складовими частинами додатку. Вони орієнтовані на такі промислові види риб та креветок, враховуючи стадії росту та розвитку і містять наступні стандарти або категорії:

Короп: Престартер (0,2-1,0 г); Стартер – однолітки (1,0-50 г); Прегровер – однорічки (50-250 г); Гровер: дволітки (250-500 г); Фінішер (500-1500 г). Плідник: Гровер 30% СП (ставок); Гровер 25% СП (ставок); Гровер 18% СП (ставок); Гровер 12% СП (ставок).

Білий амур: Стартер (<2 г); Прегровер (2-150 г); Гровер (150> г).

Канальний сомик: Стартер (1-5 г); Прегровер (5-25 г); Гровер (25-50 г); Гровер (50-100 г); Гровер (100> г).

Тіляпія: Престартер (<0,5 г); Стартер (0,5-20 г); Прегровер (20-200 г); Гровер (200-600 г); Фінішер (600> г) – плідник.

Форель райдужна: Престартер (0,2-2 г); Стартер (2-15 г); Прегровер (15-40 г); Гровер (40-200 г); Гровер (200> г).

Всеїдні види риб: Престартер (0-0,5 г); Стартер (0,5-10 г); Прегровер (10-50 г); Гровер (50+ г) – плідник (1 кг+).

Хижі види риб: Престартер (0-0,5 г); Стартер (0,5-10 г); Прегровер (10-50 г); Гровер (50+ г) – плідник (1 кг+).

Креветки: личинка, післяличинкова стадія, пізня післяличинкова стадія (25 днів): Стартер (1-10 г); Гровер (10+ г); плідник (10+ г).

Вкладка «Норми» (рис. 3) має такий вигляд:

Показник	ПЕ (ккал/кг) (короп)	ПЕ (ккал/кг) (форель)	СП (%) (мін)	ПП (%) (мін)	СЖ (%) (мін)	Крохмаль (%) (макс)	СК (%) (макс)	Аргінін (%)	Валін (%)	Гістидин (%)	Ізолейцин (%)	Лейцин (%)	Ліз
Стартер (0,5-20 г)	2900		35	30,6	9	30	5	1,3	1,7	1,1	1,1	2,1	
Прегровер (20-200 г)	2750		30	26,3	8	32	7	1,2	1,4	1	1	1,8	
Гровер (200-600 г)	2650		28	24,5	7	38	7	1,1	1,3	0,9	0,9	1,7	
Фінішер (600> г)	2900		30	26,3	8	36	8	1,2	1,4	1	1	1,8	
Плідник	2800		32	28	10	32	9	1,2	1,5	1	1	1,9	
Форель райдужна													
Престартер (0,2-2 г)		4300	54	49,3	15	11	1	2,4	1,9	1,15	1,8	2,15	
Стартер (2-15 г)		4500	50	44,7	17	12	2	2,3	1,7	1,05	1,5	2	
Прегровер (15-40 г)		4800	44	39,4	25	13	2,5	2	1,5	0,95	1,3	1,75	
Гровер (40-200 г)		5000	40	35,8	28	15	3	1,8	1,4	0,85	1,2	1,6	
Гровер (200> г)		5200	38	34	32	16	3	1,7	1,3	0,8	1,1	1,5	
Всеїдні види риб													
Престартер (0-0,5 г)	3889		42	36,8	8	30	1,5	1,81	1,4	0,78	1,18	2,15	
Стартер (0,5-10 г)	3611		39	34,1	7	35	2	1,68	1,3	0,71	1,09	1,99	
Прегровер (10-50 г)	3426		37	32,4	7	40	3	1,59	1,23	0,67	1,04	1,89	
Гровер (50+ г)	3241		35	30,6	6	40	4	1,51	1,16	0,64	0,98	1,79	
Плідник (1 кг+)	3426		37	32,4	5	40	4	1,59	1,23	0,67	1,04	1,89	
Хижі види риб													
Престартер (0-0,5 г)	5652	52	46,5	16	15	1	2,24	1,73	0,95	1,46	2,66		
Стартер (0,5-10 г)	5326	49	43,8	14	20	1,5	2,11	1,63	0,89	1,37	2,5		
Прегровер (10-50 г)	5109	47	42	14	25	2	2,02	1,56	0,85	1,32	2,4		
Гровер (50+ г)	4891	45	40,3	12	25	2,5	1,94	1,5	0,82	1,26	2,3		
Плідник (1 кг+)	5109	47	42	10	25	2,5	2,02	1,56	0,85	1,32	2,4		
Креветки													
Повітряний	4895		55	47,1	14	15	1	2,09	1,64	0,95	1,31	2,69	

Рис. 3. Візуальне зображення вкладки «Норми» (рисунок авторів)

У додатку норми годівлі для кожного стандарту розраховуються на основі концентрації поживних і біологічно активних речовин, що припадають на 1 кг

сухої речовини кінцевого кормового раціону, забезпечуючи науково обґрунтоване визначення потреб риб у поживних компонентах.

В основі норм використовувались дані з наступного літературного джерела: Nutrient requirements of fish and shrimp, 2011 [19]. Дещо було взято з Nutrient requirements of fish, 1993. Норми для всеїдних і хижих риб та креветок використовувалась інформація з публікації: The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp – a training manual 1. The essential nutrients, 1987 (рис. 9, 10) fao.org/4/ab470e/AB470E00.htm#ТОС.

Потреби в енергії та поживних речовинах, представлені в цьому додатку, були визначені переважно для риби за оптимальних умов росту та відображають рівні, що впливають на максимальну швидкість росту. Розмір риби, метаболічна функція, управління та фактори навколишнього середовища мають незначний або значний вплив на рівень поживних речовин у раціоні для оптимальної продуктивності. Таким чином, ці дані є приблизними та слід використовувати з обережністю. Крім того, ці дані про потреби були визначені для раціонів, що містять хімічно визначені та очищені, легкозасвоювані інгредієнти; отже, дані відображають майже 100-відсоткову засвоюваність для риби. Під час розробки раціонів із натуральних інгредієнтів слід враховувати біодоступність поживних речовин, втрати під час обробки та зберігання, а також вартість. Якщо потреби в енергії та поживних речовинах у раціоні невідомі для певного виду, можна дискретно замінити їх потребами, встановленими для спорідненого виду. Загалом, слід очікувати відмінностей між тепловодними та холодноводними видами риб, а також між прісноводними та солоноводними. Зі збільшенням кількості інформації про потреби в поживних речовинах різних видів, норми поживних речовин для конкретних потреб можуть бути уточнені, і комерційні корми будуть ставати більш економічно ефективними.

Вкладка «Норми» містить дані про 56 показників, а саме: ПЕ (ккал/кг) (короп), ПЕ (ккал/кг) (форель), СП (%) (min), ПП (%) (min), СЖ (%) (min). Крохмаль (%) (max), СК (%) (max), Аргінін (%), Валін (%), Гістидин (%), Ізолейцин (%), Лейцин (%), Лізин (%), Метіонін (%), Цистин (%), Фенілаланін (%), Тирозин (%), Треонін (%), Триптофан (%), Лінолева (%), Ліноленова (%), Ейкозапентаєнова + докозагексаєнова кислота (%), Са (%), Р (%), Mg (%), К (%), Na (%), Cl (%), Cu (мг/кг), Fe (мг/кг), Mn (мг/кг), Zn (мг/кг), Se (мг/кг), I (мг/кг), Co (мг/кг), Cr (мг/кг), Тіамін В₁ (мг/кг), Рибофлавін В₂ (мг/кг), Ніацин, В₃, РР (мг/кг), Холін В₄ (мг/кг), Пантотенова кислота В₅ (мг/кг), Піридоксин В₆ (мг/кг), Біотин В₇ (мг/кг), Фолієва кислота В₉ (мг/кг), Кобаломін В₁₂ (мг/кг), Вітамін С (мг/кг), Інозитол В₈ (мг/кг), α-токоферол Е (мг/кг), Ретинол А (мг/кг), Холекальциферол D (мг/кг), Менадїон К (мг/кг), Астаксантин, (мг/кг).

Після вибору норми годівлі конкретного стандарту, переходимо до власне складання раціону.

Вкладка «Раціон» або розрахунок рибних раціонів. Вкладка «Раціон» (рис. 4) має наступний вигляд:

У цій вкладці відбувається власне процес складання рецепту корму, за визначеними алгоритмами. Тут є можливість: 1) встановити і відкоригувати норми годівлі конкретного стандарту або категорії риб, відповідно до їх виду, маси, статі; 2) вибрати і підібрати необхідну кількість кормів, провести корекцію кількості корму. Маємо можливість коригувати кількісний і якісний склад кормів, відповідно до наших можливостей і наявних кормових засобів.

Корми і добавки	Вміст компонентів (г/кг)	Маса кормів (кг)	Вартість, грн.	СР (г)	СР (%)	ПЕ (ккал)	ПЕ (ккал) (посось)	СП (г) (min)	ПП (г) (min)
1 Соя повножирова, екструдована	217,4	43,48	730,5	195,7	21,94	828	931	76,5	68,7
2 Соевий шрот, 44% СП	250,0	50,00	750,0	222,5	24,95	681	768	110,0	103,8
3 Кукурудзяна барда розчинна	250,0	50,00	300,0	225,0	25,23	791	623	69,0	56,5
4 Пшениця м'яка озима, зерно	215,4	43,08	366,2	185,2	20,77	564	653	23,3	20,9
5 Дріжджі пивні, сухі	49,8	9,96	268,8	46,3	5,19	146	175	21,2	19,1
6 Монокальцій фосфат Са(Н ₂ Р ₀) ₂	17,4	3,48	149,6	17,1	1,92				
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Всього	1000,0	200,00	2565,1	891,9	100	3011	3149	300,0	269,0
Стартер (0,5-10 г)	1000	200,00 кг		890		3611		390	341

Рис. 4. Візуальне зображення вкладки «Раціон» (рисунок авторів)

Таким чином спочатку можна оптимізувати рецепт комбікорму для певної категорії або стандарту потреби риб, а потім вже проводити розрахунки необхідної кількості корму, яку треба згодувати риbam. Слід зазначити, що при розрахунку рецепту корму у клітинку D19 необхідно ввести якусь довільну кількість комбікорму наприклад 200 кг. Саме тому завдання можна виконати й у зворотному порядку: спочатку можна розрахувати скільки потрібно корму, а вже потім скласти рецепт комбікорму вже заданої або відомої кількості.

За результатами вибору норм годівлі й підібраних кормів відбувається автоматична калькуляція раціону (табл. 1), яка відображається на екрані.

Сирий протеїн зазвичай є першою поживною речовиною, що розглядається, а рівень енергії в раціоні коригується для забезпечення оптимального співвідношення. Білок має бути збалансований за незамінними амінокислотами.

Кількість вуглеводів у раціоні залежить від виду риби, залежно від їхньої здатності використовувати його як джерело енергії та вимог до обробки. Тип і концентрація ліпідів, що використовуються в раціоні, підбираються для задоволення потреб у незамінних жирних кислотах (НЖК) та енергії. Потреби у вітамінах здебільшого забезпечуються за допомогою введення в комбікорм додаткового преміксу – через невизначеність щодо вмісту та біодоступності вітамінів у кормах.

Мінеральний вміст кормів є більш стабільним, тому мінеральні добавки зазвичай вносяться на основі складу основних інгредієнтів. Надмірне збагачення лабільних поживних речовин в оброблених рибних кормах необхідне як фактор безпеки.

Амінокислоти, деякі вітаміни та неорганічні поживні речовини відносно стійкі до нагрівання, вологи та окислення, які відбуваються за нормальних умов обробки та зберігання. Однак деякі вітаміни піддаються деяким втратам і повинні використовуватися понад потребу.

Для розробки раціонів із мінімальними витратами для риб та інших харчових тварин зазвичай використовується метод лінійного програмування з найменшими витратами. Необхідно мати таку інформацію: потреби тварини в поживних речовинах; біодоступні поживні речовини та енергетичний вміст інгредієнтів; мінімальні та максимальні обмеження щодо концентрацій різних інгредієнтів; і вартість інгредієнтів. Біодоступність поживних речовин для риб із різних кормів

повинна бути відома, щоб робити комп'ютеризовані заміни між інгредієнтами. Ці значення часто досить різняться між рибами та кормами. Наприклад, добре відомо, що холодноводні риби не використовують вуглеводи як джерела енергії так само, як і тепловодні види; засвоюваність фосфору для риб менша, ніж для худоби, особливо для риб без шлункової секреції в травному тракті; а лізин у бавовняному шроті менш засвоюваний, ніж лізин у соєвому шроті.

Таблиця 1

Результати оптимізації рецепту корму (розроблено авторами)

Показник	Міститься в 1 кг корму	Рекомендована норма (на 1 кг корму)	± до норми	% ± до норми	на 1 кг СР
Суша речовина (г/кг)	891.9	890	1.9	0.2	
Перетравна енергія (ккал/кг)	3011	3611	-600.0	-16.6	3376
Перетравна енергія, лосось (ккал/кг)	3149		3149		3530
Сирий протеїн (г/кг)	300.0	390	-90.0	-23.1	336
Перетравний протеїн (г/кг)	269.0	341	-72.0	-21.1	302
Сирий жир (г/кг)	68.3	70	-1.7	-2.4	77
Крохмаль (г/кг)	186.2	350	-163.8	-46.8	209
Сира клітковина (г/кг)	48.2	20	28.2	141.2	54
Зола (г/кг)	65.9		65.9		74
Аргінін (г/кг)	18.5	16.8	1.7	10.2	21
Вагін (г/кг)	15.6	13	2.5	20.4	18
Гістидин (г/кг)	7.6	7.1	0.5	6.9	9
Ізолейцин (г/кг)	13.4	10.9	2.5	22.8	15
Лейцин (г/кг)	22.9	19.9	3.0	15.2	26
Лізин (г/кг)	16.2	23.1	-6.9	-29.9	18
Метіонін (г/кг)	4.9	7.5	-2.6	-34.2	6
Цистин (г/кг)	5.3	2.7	2.6	95.4	6
Фенілаланін (г/кг)	15.2	11.3	3.9	34.6	17
Тирозин (г/кг)	11.1	9	2.1	23.0	12
Треонін (г/кг)	11.6	12.6	-1.0	-7.6	13
Триптофан (мг/кг)	3.6	2.3	1.3	57.7	4
Лінолева кислота (г/кг)	35.7	10	25.7	256.9	40
α-ліноленова кислота (г/кг)	3.1	10	-6.9	-68.8	3
Ейкозальєнтаєнова + докозагексаєнова кислота		5	-5.0	-100.0	
Са (г/кг)	4.6	25	-20.4	-81.4	5
Р (г/кг)	10.0	8	2.0	25.0	11
Р (г/кг) доступний	6.4	4.11	2.3	56.8	7
Mg (г/кг)	2.5	0.7	1.8	253.9	3
К (г/кг)	13.3		13.3		15
Na (г/кг)	0.8		0.8		1
Cl (г/кг)	0.8		0.8		1
S (г/кг)	3.1		3.1		3
Cu (г/кг)	11.4	5	6.4	127.3	13

Можуть бути встановлені обмеження на мінімальні або максимальні рівні концентрації певних інгредієнтів через їх вплив на виробничий процес та смакові якості або їх потенційний негативний вплив на продуктивність риб, якість м'яса або якість води. Наприклад, було виявлено, що рибне борошно та інші джерела тваринного білка корисні в раціонах сомів із причин, які не пояснюються на основі задоволення потреб в амінокислотах, тому зазвичай встановлюються мінімальні рівні. Граничні обмеження щодо кількості інгредієнтів у рецептах кормів наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Максимальна та мінімальна кількість введення кормів у кормосуміш, (%)

Корм	min	max
Рибне борошно		35
Сухе молоко		2
Кров'яне борошно		5
Кормові дріжджі	2	16
Соевий шрот	5	25
Ріпаковий шрот		3
Люпин солодкий		20
Люпин гіркий		10
Люцернове борошно		10
Горох кормовий		8
Соя повножирова		20
Пшениця	30	80
Кукурудза	10	25
Ячмінь		40
Овес		20
Жито		20
Пшеничні висівки		15
Зародки пшениці		5
Рисові висівки		10
Вапно гашене		1
Сіль кухонна		0,5
Крохмаль пшеничний		3
Жир риб'ячий	1	5
Олія соняшникова		5
Олія соєва		4

Якщо результати розрахунків не задовольняють клієнта, проводиться подальша корекція раціону, вибраними кормовими засобами, до моменту досягнення бажаного результату. Слід зазначити, що рецепт корму можна збалансувати за 56 показниками поживної цінності.

Оптимізація раціону відбувається симплекс-методом. На рисунку 5 наведено приклад встановлення обмежень:

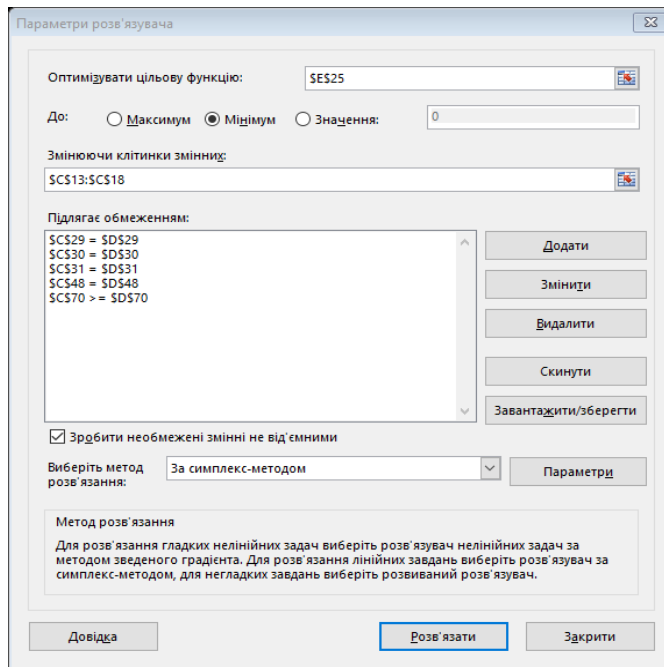


Рис. 5. Встановлення обмежень (рисунок авторів)

Для оптимізації раціону необхідно активізувати надбудову (файл → параметри → надбудови) пошук розв'язання. Зняти захист з аркуша. Перейти на вкладку ДАНІ → Аналіз → Розв'язувач. Оптимізований раціон редагують враховуючи наявну кількість кормів та їх поживність і смакові якості.

Додаткові опції вкладки «Раціон». Розрахунки кількості корму.

У вкладці «Раціон» також наведена інформація щодо розрахунку кількості необхідного корму для конкретної категорії або стандарту риб.

Дані, наведені в таблицях свідчать, що добова потреба в кормі залежить від цілого ряду чинників: маси риби, щільності посадки, температури у водоймі, вмісту сирого протеїну в кормі та ін.

На початку вкладки наведена добова потреба коропа при вирощуванні у ставку при температурі 20°C (рис. 6).

Добова потреба коропа в кормі при вирощуванні у ставку при 20°C			
Маса риби (г)	100	Щільність посадки риби (шт./га)	10000
Добова потреба у кормі	40	кг/га	Вміст протеїну в кормі 18 %

Рис. 6. Добова потреба коропа при вирощуванні у ставку при температурі 20°C (рисунок авторів)

Далі така ж інформація, але з урахуванням температури води. На рисунку 7, де є виділена кольором клітинка з температурою, ці дані можна використовувати для практичних розрахунків.

Добова потреба коропа в кормі залежно від температури при вирощуванні у ставку (2390-3107 ккал/кг)			
Маса риби (г)	100	Кількість риби (шт.)	1000
Температура води (°C)	20		
Добова потреба у кормі	4,7	кг	

Рис. 7. Добова потреба коропа залежно від температури (рисунок авторів)

Також можна визначити добову потребу в кормі: з урахуванням приросту маси, енергії на підтримку, енергії корму, потреби у протеїні (рис. 8).

Добова потреба у кормі	3,823	г/риба/добу	Перетравна енергія корму (ккал/кг)	3000
Вміст сирого протеїну в кормі	332	г/кг	ПП : СП × 100	85 %
Кількість корму на 100 кг риби	1,529	кг		
Коефіцієнт конверсії корму	1,554			
Співвідношення СП : ПЕ	0,111	г/ккал		
Загальна добова потреба у кормі	38,23	кг/добу	Кількість риби (шт.)	10000

Рис. 8. Добову потребу в кормі: з урахуванням приросту маси, енергії на підтримку, енергії корму, потреби у протеїні (рисунок авторів)

Корекція даних у виділених кольором клітинках не впливає на норми годівлі риби та на роботу вкладки зі складання рецепту корму. Це просто додаткова інформація, яку можна використовувати лише для визначення кількості необхідного корму, яку необхідно згодувати рибі конкретного стандарту або категорії. У виділені кольором клітинки можна вносити алометричні коефіцієнти, які входять у відповідні формули, і спостерігати за результатами розрахунків (рис. 9).

Слід зазначити, що в розрахунках можна використовувати алометричні коефіцієнти, яких у літературі є доволі багато. Тобто ми маємо орієнтуватися на такі коефіцієнти, які наявні в літературі і схожі до наших умов, або ж проводити додаткові дослідження з їх визначення.

Залежність між споживанням корму і масою риби = w × Жива маса (г) ^q				
Споживання корму	3,845	г/риба/добу	w	0,14
Споживання корму на 100 г риби (г)	1,54	%/доба	q	0,6

Жива маса (г)	0,1	0,25	0,3	0,5	0,7	1	10	100	500	1000	1500	2000
Споживання корму (г)	0,035	0,061	0,068	0,092	0,113	0,140	0,557	2,219	5,828	8,833	11,266	13,389
Споживання корму на 100 г риби (г)	35,17	24,38	22,66	18,47	16,15	14,00	5,57	2,22	1,17	0,88	0,75	0,67

Рис. 9. Використання алометричних коефіцієнтів у прогнозних розрахунках (рисунок авторів)

На рисунках 6 та 7 наведена інформація, яка стосується лише коропа. Інші розрахунки наведені для уявної риби. Тобто, алометричні коефіцієнти повинні бути відомі для конкретних умов, температури і виду риби. Щоб визначити ці коефіцієнти необхідно провести дослідження, або скористатися літературними джерелами в яких зазначено, що певний дослідник провів подібні дослідження за подібних умов, у тому числі й температурних. Саме тому ця інформація буде цікавою для студентів, щоб вони розуміли логіку розрахунків. Зазвичай кількість корму точно не визначають, а годують до насичення риби. При цьому може спостерігатися певний надлишок корму або недогодівля. У господарствах де вирощують

рибу спеціалісти приблизно знають витрату кормів наприклад за минулий рік (період) і приблизно задають відповідну кількість корму.

Споживання корму в залежності від температури та план годівлі коропа є скоріше демонстраційними матеріалами (рис. 10–11).

	t°C	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Короп										
	Споживання корму (%)	15	25	40	60	75	90	100	90	80
Канальний сомик										
	Споживання корму (%)	6	18	36	54	72	90	100	95	90
Тіляпія										
	Споживання корму (%)	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Форель райдужна										
	Споживання корму (%)	45	50	55	62	70	80	90	100	75
Форель райдужна										
	Споживання корму (%)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Форель райдужна										
	Споживання корму (%)	33	40	49	60	73	90	96	100	95

Рис. 10. Споживання корму в залежності від температури (рисунок авторів)

	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень
Цьоголітки		3%	24%	54%	19%
Дволітки	2%	15%	30%	40%	13%

Рис. 11. План годівлі коропа (рисунок авторів)

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі аналізу функціональних можливостей та принципів роботи додатка «Калькулятор рецептів кормів для риби», розробленого фахівцями Поліського національного університету, можна зробити такі висновки:

1. Інноваційність та доступність інструментарію. Додаток, створений на базі *Microsoft Excel*, є ефективною та бюджетною альтернативою дороговартісному спеціалізованому програмному забезпеченню. Він не потребує складних систем захисту (ключів) та залишається сумісним із більшістю сучасних операційних систем, що робить його доступним для середньостатистичного фермера, студента чи виробника-початківця.

2. Наукова обґрунтованість та масштабованість. Програма базується на фундаментальних світових стандартах (NRC, FAO) та пропонує вражаючу базу даних:

- Сировинна база: близько 240 видів інгредієнтів (з можливістю розширення до 1000) за 56 показниками якості.
- База нормативів: 44 стандарти потреби годівлі для основних промислових видів (короп, форель, тіляпія, сомик, креветки тощо), враховуючи стадії їх росту та умови утримання.

3. Технологічні переваги та оптимізація. Використання математичного апарату (метод лінійного програмування та симплекс-метод через надбудову «Пошук розв'язання») дозволяє користувачеві:

- Створювати максимально збалансовані раціони при мінімальній собівартості.
- Проводити гнучку корекцію складу компонентів залежно від фактичної наявності сировини та результатів лабораторних аналізів.
- Враховувати не лише поживність, а й специфічні обмеження інгредієнтів (смакові якості, антинутриційні фактори).

4. Комплексний підхід до годівлі. Додаток не обмежується лише складанням рецептури. Наявність додаткових опцій для розрахунку добової потреби в кормі (з урахуванням температури води, маси риби та алометричних коефіцієнтів) дозволяє повністю автоматизувати процес планування годівлі та мінімізувати втрати корму.

5. Практичне та освітнє значення. Програма є багатофункціональним інструментом, що може використовуватися:

- У виробництві: для оперативного управління технологічним процесом та підвищення економічної ефективності рибних господарств.
- В освітньому процесі: для навчання студентів і проведення майстер-класів із нутриціології риб.
- У консультуванні: як засіб підвищення рівня професійних дієтологічних послуг.

Перспективи подальших досліджень будуть пов'язані з розширенням бази даних кормів, додавання нових можливостей для коригування раціону, а також впровадження функції для автоматичного оновлення даних про корми через інтернет.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Біологічні основи годівлі риб / Тарасюк С. І., Дворецький А. І., Дерень О. В., Заярко О. І., Дніпропетровськ : Адверта, 2015. 189 с.
2. Калькулятор раціонів для сільськогосподарських тварин – ефективний інструмент удосконалення їх годівлі / В. Борщенко та ін. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2025. № 115. С. 117–128. DOI: <https://doi.org/10.37000/abbsl.2025.115.11>
3. Виробництво та реалізація товарної продукції аквакультури в Україні / Лавринюк О. О., Лісогурська Д. В., Вербельчук Т. В., Борщенко В. В. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2025. № 1 (17). С. 123–132. DOI: 10.32782/wba.2025.1.11
4. Аналіз сучасних тенденцій та перспектив розвитку годівлі риб в аквакультурі України / Лавринюк О.О., Матковська С.І., Вербельчук Т.В., Вербельчук С.П., Кобернюк В.В. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2025. № 2(18). С. 39–63. DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2025.2.3>
5. Годівля риб : підручник / І. М. Шерман та ін.; за ред. І. М. Шермана. Київ : Вища освіта, 2001. 269 с.
6. Годівля риб. Основи екологічно безпечного харчування: навч. посіб. / Т. М. Димань та ін. Київ : Лібра, 2006. 304 с.
7. Гринжевський М. В. Інтенсифікація виробництва продукції аквакультури у внутрішніх водоймах України. Київ : Світ, 2000. 188 с.
8. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів. Одеса : Друкарський дім, 2011. 448 с.
9. Єгоров Б. В., Фігурська Л. В. Аналіз технологічних способів виробництва комбікормів для риб. *Зернові продукти і комбікорми*. 2012. № 1. С. 35–42.
10. Єгоров Б. В., Фігурська Л. В. Особливості формування рецептів комбікормів для форелі. *Зернові продукти і комбікорми*. 2012. № 1. С. 13–18.
11. Желтов Ю. А., Федоренко В. А. Інструкція з нормативної годівлі риб у тепловодних господарствах. *Інтенсивне рибництво*. Київ : Аграрна наука, 1995. С. 17–42.
12. Інтенсивні технології в аквакультурі: навч. посіб. / Р. В. Кононенко та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 410 с.
13. Інтенсивні технології кормів та годівлі в тваринництві та аквакультурі: навч. посіб. / О. О. Лавринюк та ін. Житомир : Поліський національний університет, 2025. 180 с.
14. Калькулятор раціонів сільськогосподарських тварин: практ. посіб. / Ю. Обертюх та ін. Житомир : Поліський університет, 2025. 100 с.

15. Методи підвищення природної рибопродуктивності ставів / за ред. М. В. Гринжєвського. Київ : ІРГ УААН, 1998. 123 с.
16. Рекомендації з використання кормів для годівлі коропа / Ю. О. Желтов та ін. Київ : ІРГ УААН, 1999. 44 с.
17. Технологія кормів: навч. посіб. / М. М. Кривий та ін. Житомир : Полісся, 2020. 216 с.
18. Nutrient Requirements of Fish / National Research Council, Board on Agriculture, Subcommittee on Fish Nutrition. Washington, DC : National Academy Press, 1993. 114 p.
19. Nutrient requirements of fish and shrimp / National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Agriculture and Natural Resources, Committee on the Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington : National Academies Press, 2011. 392 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>
20. Fish Nutrition / (Eds.) Ronald W. Hardy, Sadasivam J. Kaushik. 4th Edition. USA : Academic Press, 2021. 924 p. DOI: 10.1016/C2018-0-03211-9
21. Tables of composition and nutritional value of feed materials: Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses and fish / (Eds.) D. Sauvant, J.-M. Perez, G. Tran. Netherlands : Wageningen Academic Publishers, 2004. 304 p.
22. Tacon A. G. J. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp : a training manual. 1: The essential nutrients. Brazil : FAO, 1987. URL: fao.org/4/ab470e/AB470E00.htm#TOC.

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026