

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

ТІТОВА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 621.37:639

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
ПІДВИЩЕННЯ РЕПРОДУКТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ОСЕТРОВИХ
ПРИ ЇХ ПРОМИСЛОВОМУ ВІДТВОРЕННІ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Павлов Сергій Володимирович,
Вінницький національний технічний університет,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Косуліна Наталія Геннадіївна,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
завідувач кафедри біомедичної інженерії та
теоретичної електротехніки;

доктор технічних наук, професор
Аврунін Олег Григорович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
завідувач кафедри біомедичної інженерії;

доктор технічних наук, доцент
Філатова Ганна Євгенівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки
та програмування.

Захист відбудеться «___»_____2019 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «___»_____2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Д. Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. В останні роки за даними Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО) кількість людей, що страждають хронічним недоїданням, постійно збільшується починаючи з 2014 року та досягло 815 млн. людей у 2017 році. Це пов'язано з ситуацією що склалася у зв'язку з недостатнім забезпеченням продуктами харчування населення.

Становище, яке складається, в багатьох випадках стає критичним: посилюється засуха, вичерпуються запаси води та корисних копалин, гостро відчувається нестача харчування у багатьох країнах, які розвиваються, погіршується стан ґрунту, водного та повітряного басейнів, ускладнюється боротьба з шкідниками сільськогосподарських культур, порушується тепловий та енергетичний баланс.

Україна є аграрно-промисловою країною з виходами в акваторії Азовського та Чорного морів та великою кількістю річок та озер. Згідно даних Державної служби статистики України вилов водних біоресурсів склав: 2000 рік – 350 тис.т, 2010 рік – 218 тис.т, 2017 – 92 тис.т. Ситуація катастрофічна.

Останніми роками в зв'язку зі значним зменшенням у світовому океані запасів риби, а відповідно і обсягів її вилову, все більшого поширення набуває розвиток різних форм аквакультури. Як повідомляється в новій спільній доповіді Світового банку, Продовольчої і сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО) і Міжнародного науково-дослідного інституту продовольчої політики до 2030 року дві третини світового виробництва риби припадає на рибні господарства. За даними «Всесвітнього фонду дикої природи» за останні 20 років чисельність осетрових тільки Каспійського басейну скоротилася в 38,5 разів. У зв'язку з цим все більшої та особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на збереження цих видів.

У 60-ті роки бере початок розвиток індустріального рибництва, так як в цей період почали функціонувати басейнові та садкові господарства, що використовують воду з різним рівнем температур (холодноводне і тепловодне рибництво), в яких вирощувалися райдужна форель, короп, осетрові і сігові риби. У 80-і роки в експериментальному режимі було побудовано спеціальні установки із замкнутим циклом водопостачання, що дозволило перетворити рибоводні господарства в індустріальні цехи з контрольованими умовами середовища проживання риб, приступити до цілорічного вирощування риби та розмістити рибоводні заводи в межах міста.

Цілком зрозуміло, що всі типи рибоводних господарств були побудовані і функціонували з використанням розроблених методів, способів, біотехніки і біотехнології вирощування різних видів риби або використання природних ресурсів тих чи інших водойм. До кінця 70-х років результатом наукових робіт були методи, способи, рекомендації, керівництва та біотехніки з розведення та вирощування риб. Вперше в рибництві поняття «технологія» було введено в результаті впровадження в економіку країни комплексно-цільового методу

розробки і впровадження науково-технічних досягнень. На жаль, за впровадженням в рибицтво поняття «технологія» не було ніяких змін, як в комплексності проведених досліджень, так і в кінцевих результатах виконаних науково-дослідних, дослідно-конструкторських і проектних робіт.

З одного боку, активно розвивалися нові напрямки рибицтва, пов'язані з рибоводно-біологічними розробками, а з іншого - їх організаційно-технічна складова залишалася на низькому рівні, значно відстаючи від сучасних напрацювань вітчизняного промислового комплексу і зарубіжних аналогів. Повна зневага ресурсного забезпечення призводила до того, що ресурсомісткість виробленої продукції на кілька порядків перевищувала таку ж з кращих аналогів, а трудомісткість виробництва не йшла ні в яке порівняння з витратами праці на рибоводних господарствах в інших країнах. Такий стан справ - основна причина вкрай слабкої інноваційної діяльності в області аквакультури, хоча сам напрямок в світовій економіці в даний час відноситься до найбільш швидко розвиваючої галузі виробництва продуктів харчування.

В даний час зростає розуміння того, що біологічні ресурси біосфери в умовах антропогенного впливу потребують не тільки охорони, а й відновлення їх чисельності в основних експлуатованих водних екосистемах, насамперед в їх штучному відтворенні. Штучне відтворення риб забезпечує не тільки збереження і збільшення рибних запасів, а й поліпшення структури біогідроценозів і більш раціональне використання продукційних можливостей водойм, що є, безумовно, одним з важелів розвитку керованого рибного господарства.

В даний час для підвищення ефективності в аквакультурі використовуються різноманітні технології, а саме: різні фармакологічні добавки для стимулювання зростання, зміна складу кормів, низькоінтенсивне лазерне випромінювання, гелій-неонові лазери, щільність посадки, зміна температурного режиму, насичення киснем води, та інші. Це дає можливість підвищити вихід мальків з ікри, їх здатність до виживання, харчові показники від 5 до 15 відсотків. Однак, дані методики мають певні недоліки, пов'язані з тим, що в деяких випадках негативно відображається на якості потомства, пригнічуючий вплив, висока ціна, громіздкість обладнання, фармакологічне стимулювання зростання риби не завжди корисне організму людини. Також слід зазначити відсутність математичних моделей, що описують процеси які відбуваються в ікрі та мальках в результаті зовнішніх впливів. Саме це дозволить визначити параметри даних впливів та підвищити їх ефективність.

Існує цілий спектр задач, що потребують свого розвитку, які стосуються подальшої розробки технологій, методів і засобів для оптимізації інкубаційного процесу, вирощування личинок в умовах інтенсивної аквакультури за рахунок поліпшення температурно-кисневого режиму і освітленості, раціональної щільності посадки, якості води та підвищення рибоводно-біологічних якостей та здоров'я плідників.

Таким чином, все вищезазначене сприяло виникненню критичної сукупності об'єктивних і суб'єктивних умов і факторів, що відображають

технічні і біологічні аспекти репродуктивних процесів рибного господарства і формуванню науково-технічної проблеми, яка разом з своєю актуальністю потребує вирішення і за змістом включає в себе питання щодо найбільш прийнятних режимів періодичності (кратності) впливу на біооб'єкти, прямого контролю і моніторингу кількісних показників інкубаційного процесу – параметрів і структури води в апаратах Вейса, температурно-кисневих показників інкубації, режимів опромінення «день/ніч» з різними рівнями яскравості і часу, складу кольорової гама джерела випромінювання та штучної автоматичної системи вибору параметрів оптичного (лазерного і світлодіодного) впливу тощо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проводилось згідно з напрямком досліджень Вінницького національного технічного університету та Міністерства науки і освіти України за наведеними держбюджетними темами, де здобувач був виконавцем: «Розробка неінвазивних оптико-електронних систем поляризаційної томографії фазово-неоднорідних біологічних об'єктів» (ДР № 0112U001368); «Система автоматизованої багатофункціональної лазерної поляриметрії плівок плазми крові людини для діагностики патологічних змін молочних залоз» (ДР № 016U004709); госпдоговірних тем, які пов'язані з відтворенням водних живих ресурсів що проводились Інститутом рибного господарства та екології моря (ІРЕМ), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів: «Лов азовських риб для формування ремонтно-маточних стад в умовах науково-виробничої рибоводної ділянки ІРЕМ»; «Біотехнічне забезпечення рибогосподарської меліорації прибережних акваторій Азовського моря з метою підвищення їх рибопродуктивності».

Мета і задачі роботи - мета роботи полягає в створенні нової комплексної технології підвищення продуктивності штучного розведення риби на основі розроблення методів, моделей, та технічних рішень, пов'язаних з використанням впливу низькоінтенсивного світлодіодного опромінення на рибоводно-біологічні і господарсько-корисні якості посадкового матеріалу при вирощуванні осетрових і білого амура.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі низькоенергетичні електромагнітні та оптичні технології управління технологічними процесами в рибництві; визначити їх переваги і недоліки; підтвердити актуальність дисертаційного дослідження.

2. Дослідити вплив КВЧ, світлодіодного і лазерного випромінювання на процес штучного відтворення риби та визначити за критерієм ефективності найбільш адекватний з них.

3. Розробити концептуально-структурну термодинамічну модель дослідження динаміки температурного балансу при інкубації ікри за рахунок перенесення теплової енергії через зону реологічного переходу.

4. Удосконалити математичну модель впливу оптичного випромінювання для дослідження механізмів і закономірностей дії фізичних

полів на запліднену ікру осетрових і білого амура.

5. Удосконалити метод кластероутворення води для інкубаційних апаратів для визначення її спектру та зміни фази зовнішнього випромінювання на переході «повітря-вода» при формуванні програми зовнішніх впливів на біооб'єкт

6. Удосконалити підсистему підтримки прийняття рішень для отримання рекомендованого рішення шляхом введення нових модулів конфігурування ППР та оцінки ефективності прийнятих рішень, які працюють при підтримці автономної бази знань критеріїв оцінки рішень.

7. Розробити математичну модель на нечітких множинах для оцінювання якості ікри в підсистемі підтримки прийняття рішень.

8. Розробити низькоінтенсивну світлодіодну технологію підвищення репродуктивної здатності осетрових при їх промисловому відтворенні з урахуванням вимог та особливостей біотехнічних технологій на принципах системного підходу.

9. Модифікувати конструкцію і систему управління інкубаційним апаратом Вейса шляхом розширення апаратного забезпечення технології за рахунок модуля оптичного випромінювання, розробленого на основі кольорової світлодіодної матриці або стрічки для комбінованого впливу на ікру осетрових і білого амура.

10. Запропонувати методіку розрахунку ефективності функціонування низькоінтенсивної світлодіодної технології та оцінити результати її апробації і впровадження.

Об'єкт дослідження – інкубаційний процес ікри осетрових і білого амура.

Предмет дослідження – модель, метод, оптико-електронна технологія оптимізації інкубаційного процесу при штучному відтворенні осетрових і білого амура.

Методи дослідження. В дисертаційній роботі для отримання основних наукових і практичних результатів були використані такі методи: теорії взаємодії лазерного випромінювання з біооб'єктом – для дослідження впливу електромагнітного та оптичного випромінювання на біооб'єкти; комп'ютерного моделювання та оптичної поляриметрії – для побудови автоматизованої системи і низькоінтенсивної технології; математичної статистики – для оброблення результатів експериментів; теорії інформаційних технологій – для створення оптико-електронної технології низькоінтенсивного впливу; теорії моделювання – для побудови математичних та інформаційних моделей; теорії інформаційних систем – для розробки автоматизованої системи управління біооб'єктами.

Наукова новизна одержаних результатів:

– Вдосконалено методи дослідження впливу квазімонохромного випромінювання на ікру, в частині визначення ефектів різних частот впливу, зумовлених власними резонансами біосистем, які підтвердили неоднозначність твердження щодо швидкої адаптації ікри до дії впливу та встановили

залежність стимулюючого ефекту низькоінтенсивного світлодіодного випромінювання від поляризації, інтенсивності, часу і режимів випромінювання.

– Вперше аналітично описано моделювання взаємодії надвисокочастотного електромагнітного випромінювання з ікрою риби з урахуванням його інтенсивності та частотного діапазону, а також будови ікринки.

– Розроблено математичну модель енерго-масоперенесення в біологічному організмі на основі функції ядра інтегральної імпульсної дельта-функції Дірака, яка представлена системою рішень, ліва частина яких описує процес конвекційно-кондуктивного перенесення з часом θ , а права – процес стоку результату реологічного перетворення з часом t , що виключає парадокс про безмежність швидкості перенесення при дослідженні реальних процесів енерго-масоперенесення в біологічному організмі.

– Вперше розроблено структурно-функціональну організацію підготовчого етапу низькоенергетичної світлодіодної технології вирощування осетрових і білого амура двома паралельними складовими – виробничою і біологічною, що дозволило, виділивши базові функціональні елементи кожної з них, забезпечити, тим самим, визначення, встановлення і підтримку ефективного температурного, кисневого, світлового режимів всього процесу відтворення.

– Вдосконалено структура і зміст інформаційного забезпечення технології управління шляхом її концентрації і введенням нових модулів конфігурування ППР, оцінки ефективності прийнятих рішень та їх корекції, які функціонують при підтримці автономної бази знань критеріїв оцінки рішень і забезпечують оператора рекомендованими рішеннями щодо корекції алгоритму управління процесом вирощування осетрових та білого амура.

– Набула подальшого розвитку конструкція і система управління інкубаційним апаратом Вейса шляхом розширення апаратного забезпечення технології за рахунок модуля оптичного випромінювання, розробленого на основі кольорової світлодіодної матриці або стрічки для комбінованого впливу на ікру.

– Вперше розроблена система контролю якості води за рахунок удосконалення методу кластероутворення води для інкубаційних апаратів з метою визначення її спектру та зміни фази зовнішнього випромінювання на переході «повітря-вода» при формуванні програми зовнішніх впливів на біооб'єкт.

– Вперше для задач оцінювання якості ікри осетрових на виході інкубаційного процесу, для реалізації зворотного зв'язку розроблено математичну модель на основі апарату нечіткої логіки, яка використовує в якості вхідних термів та ознак розміру ікринок, усереднене значення відтінку градації сірого кольору і значення рівня поглинання води ікрою, що дозволило оцінювати якість ікри за критеріями «низька», «нижче середнього», «середня», «вище середнього», «висока» за трьома категоріями: «відмінної якості»,

«доброї якості», «задовільної якості».

Практичне значення одержаних результатів:

– В процесі виконання досліджень було проведено аналіз існуючих систем і технологій для рибоводства України, який підтвердив актуальність дисертаційного дослідження, а виявлені недоліки зумовили необхідність створення нового класу ІТ – інформаційних низькоенергетичних квазімонохроматичних технологій для підвищення репродуктивної здатності осетрових, що досягається шляхом розроблення моделей, принципів, автоматизованої системи і світлодіодної технології для управління зазначеним процесом.

– Вперше розроблено низько енергетичну квазімонохроматичну світлодіодну технологію для підвищення репродуктивної здатності гідробіонтів в умовах рибогосподарського комплексу, як логічну послідовність підготовчого, інкубаційного та виробничого етапів, перший із яких представлено двокомпонентною структурою: технічною, що забезпечує, перш за все, параметричну і біологічну підготовку води для подачі в інкубаційні апарати Вейса і біологічною, безпосередньо пов'язаною із підготовкою ікри і забезпеченням їх життєздатності до подачі в апарат Вейса, що у сукупності з іншими інформаційними атрибутами технології дозволяє стверджувати, що створено новий клас риборозплідних технологій – низькоенергетичні світлодіодні технології для підвищення репродуктивної здатності гідробіонтів.

– Удосконалено процес кластероутворення води, результати якого підтвердили що вона є джерелом власного ЕМ випромінювання і складається з дипольної і кластерної складових, спектр яких необхідно враховувати в якості «зразкового» при підготовці води для її подачі в інкубаційний апарат Вейса, а параметри зовнішніх ЕМ впливів розраховувати з урахуванням зміни фази зовнішнього випромінювання на межі переходу «повітря-вода».

– Експериментальним шляхом було отримано базові критерії опромінення оборотної води, заплідненої ікри і вільних ембріонів в кольоровому діапазоні випромінювання 430-680 нм при потужностях опромінення 1,5-2,0 мВт/см², які визначаються: яскравістю і дозою опромінення, часом експозиції, площею і рівномірністю опромінення; плавними переходами від світла до темряви і навпаки, в т.ч. при зміні інтенсивності одного із кольорів або їх групи, що дозволяє оцінити цілісну реакцію ікри і визначити фізіологічні, морфологічні і біофізичні зміни в організмі майбутньої молоді.

– Розроблено методику комплексної оцінки ефективності та якості інформаційних систем і технологій, яку представлено сукупністю комбінованої методики оцінки техніко-економічних показників; розрахунку достовірності результатів досліджень та результатів інструментальних вимірювань психофізіологічних показників, що дозволило рекомендувати її для використання на передпроектному етапі (для вибору аналогів і прототипу) і на етапі виробництва – для отримання інформації, корисної для планування та управління промисловою реалізацією систем і технологій.

Окремі результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничий процес таких організацій:

- ПРАТ «Чернігіврибгосп» (акт впровадження від 27.05.2015 р.);
- Державне агентство рибного господарства, Інститут рибного господарства та екології моря (акт впровадження від 19.02.2016 р.).
- Методика розрахунку ефективності та якості функціонування низькоенергетичної фотонної технології з оцінкою достовірності отриманих результатів в умовах риборозплідного підприємства впроваджена в Державному агентстві рибного господарства, Інститут рибного господарства та екології моря (від 01.03.2016 р.)

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати даної дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. В роботах, підготовлених у співавторстві здобувачу належить наступне: в [2] розробила класифікацію первинних вимірювальних перетворювачів і здавачів, застосування якої забезпечило їх ефективний вибір; в [7] сформулювала принципи побудови і визначила вимоги до концепції проектування засобів і систем для світлової терапії; в [9] розробила блок-схему узагальненого алгоритму роботи системи управління низькоенергетичного світлодіодною технологією інкубації ікри осетрових; в [32] виконала моделювання динаміки фізіологічних параметрів тестоб'єктів при дії ЕМ випромінювання; в [11] розробила концептуально-структурну організацію автоматизованої системи управління ЕМ та фотонним випромінюванням; в [12] адаптувала стандартну методику розрахунку показників економічної ефективності для оцінювання інформаційних систем і технологій; в [13] розробила підготовчий та інкубаційний етапи низькоенергетичної фотонної технології вирощування посадкового матеріалу осетрових і білого амура; в [6] виконала аналіз та оцінку медико-технічних параметрів фотонних та магнітних матриць Коробова, що забезпечило їх адекватний вибір при лікуванні людей; в [5] дослідила проблему взаємодії лазерного та оптичного випромінювання з гідробіонтами і визначила напрям досліджень по її вирішенню; в [4] за результатами експериментів довела, що вплив ІЧ випромінювання на воду викликає перегрупування кластерів та їх укрупнення, що позитивно впливає на стабільність структури води; в [24] запропонувала модифіковану колбу Вейса з екраном і світловими RGB-стрічками; в [36] визначила експериментальним шляхом критерії опромінення оборотної води, заплідненої ікри і вільних ембріонів в кольоровому діапазоні випромінювання; в [31] запропонувала в режимі освітлення ікри «день-ніч» замінити стрибкоподібний перехід на плавний, в обох напрямках; в [34] запропонувала необхідність створення багатопараметричних мобільних систем моніторингу життєдіяльності; в [10] визначила, за результатами аналізу літературного контенту переваги риборозплідних технологій на основі надяскравих світлодіодів; в [35] дослідила залежність швидкості обміну речовин у молоді риби від зміни температурного поля середовища, що дозволило оптимізувати характер зв'язків між тривалістю інкубаційного періоду і температурою; в [14] сформулювала і визначила критерії

вибору світлодіодів для випромінювачів, які повинні випромінювати немонохроматичне або некогерентне, дифузне або змішане світло і характеризуватися потужністю і дозою, частотою і часом експозиції тощо.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження були викладені і пройшли обговорення на: II Міжнародній науково-практичній конференції «Техника и технологи: инновации и качество» (Беларусь, г. Барановичи, 2013 рік); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Київ, 2015); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Енергозбереження технологічних процесів в агропромисловому комплексі» (м. Мелітополь, 2015 рік); XXVI, XXVII, XXVIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», ВОТТП-2016, ВОТТП-2017, ВОТТП-2018 (м. Одеса, 2016-2018 роки); II Міжнародній технічній Internet конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2015 рік); XLV Міжнародній науково-практичній конференції «Применение лазеров в медицине» (Харків-Буковель, 2016 рік); XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики і моделювання» - ПІМ-2016 (Харків-Одеса, 2016 рік); XLVI Міжнародній науково-практичній конференції «Применение лазеров в медицине» (Харків, 2017 рік), II науково-практичній конференції «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи» - Державне космічне агентство України (м. Київ, 2018); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Київ, 2018).

Публікації. Результати роботи відображені в 42 опублікованих наукових працях, зокрема участь у колективній монографії, 22 статті у наукових фахових виданнях України та інших держав, з яких 8 статей у наукових періодичних виданнях інших держав (з них 3 індексуються міжнародною наукометричною базою даних Scopus), 1 патент на корисну модель України, 18 тез доповідей на конференціях різних рівнів.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 334 сторінки, з них: текст дисертації 277 сторінок, 75 рисунків до тексту, 10 рисунків на 10 сторінках, 27 таблиць до тексту, 230 найменувань використаних джерел та 6 додатків на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень, показано зв'язок роботи з науковими темами та планами. Сформульовано мету та задачі дослідження. Визначено наукову новизну та практичне значення досліджень, вказано особистий внесок здобувача. Також наведено відомості щодо апробації результатів дослідження, їх впровадження, публікації здобувача за темою дисертаційного дослідження, наведено структуру роботи.

У першому розділі виконано аналітичний аналіз стану з досліджуваної проблеми, а саме розглянуті методи, прилади, системи і технології для штучного опромінення гідробіонтів. Також врахована характеристика та особливості розвитку осетрових і білого амура. Детально розглянуто особливості впливу природних та штучних факторів на рибозплідний процес. Проаналізовано вплив електромагнітних випромінювань на водні живі організми. На відміну від радіочастотного оптичне випромінювання є дискретним, коли випромінювання електромагнітних хвиль відбувається окремими порціями – квантами.

Проаналізовані системи і технології для підвищення репродуктивної здатності гідробіонтів та виявлені їх переваги та недоліки. До переваг слід віднести, наприклад, можливість вибору довжини хвилі опромінення, відсутність високої напруги в джерелах живлення (для низькоінтенсивних світлодіодних технологій). До недоліків, які були виявлені в результаті аналізу, можна віднести такі – крайнє слабка інноваційна діяльність у галузі аквакультури, старі технічні засоби та стара організаційна база, та інші.

На базі огляду, аналізу і узагальнень досліджень, що проводяться в галузі електромагнітних інформаційних технологій для підвищення репродуктивної здатності гідробіонтів обґрунтовано напрям досліджень та визначено основні задачі.

Другий розділ присвячено математичному моделюванню взаємодії надвисокочастотного електромагнітного випромінювання з ікрою риби. Як відомо, змінне електричне поле викликає переміщення клітин, що мають поверхневий заряд. Механізм руху полягає у взаємодії наведеного дипольного моменту з зовнішнім полем. Дипольний момент для такої частки записується у вигляді:

$$D = \frac{\omega^2 \varepsilon_0^2 A_1 + j\omega \varepsilon_0 B_1 + C_1}{\omega^2 \varepsilon_0^2 A_2 + j\omega \varepsilon_0 B_2 + C_2}, \quad (1)$$

де j – уявна одиниця; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота; f – частота падаючого випромінювання.

Параметри $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ визначаються незалежними від частоти значеннями провідності і діелектричної проникності зовнішньої і внутрішньої середовищ та оболонки що розділяє:

$$A_1 = \frac{\varepsilon_e \varepsilon_i}{r} + \frac{C(\varepsilon_e - \varepsilon_i)}{\varepsilon_0}$$

$$A_2 = -2 \frac{\varepsilon_e \varepsilon_i}{r} - \frac{C(2\varepsilon_e + \varepsilon_i)}{\varepsilon_0}$$

$$B_1 = \frac{C(\sigma_i - \sigma_e)}{\varepsilon_0}$$

$$B_2 = \frac{C(\sigma_i + 2\sigma_e)}{\varepsilon_0}$$

де $r, C, \rho, \varepsilon_e, \varepsilon_i, \sigma_e, \sigma_i$, та ε_0 позначають радіус клітини, ємність мембрани, питому провідність мембрани, діелектричні проникності зовнішньої і внутрішньої середовищ клітини, провідності її зовнішнього і внутрішнього середовища і абсолютну діелектричну проникність вакууму, відповідно.

$$C_1 = \rho(\sigma_i - \sigma_e) - \frac{\sigma_i \sigma_e}{r}$$

$$C_2 = \rho(\sigma_i + 2\sigma_e) + \frac{2\sigma_i \sigma_e}{r}, \quad (2)$$

Нас буде цікавити питання позитивного впливу електромагнітних полів оптичного діапазону на розвиток ікринок риб. Природно, що для досягнення зазначеного вище результату необхідно знати, яким чином електромагнітне поле розподіляється всередині кожної ікринки, щоб визначити його напруженість, частоту і інші параметри з метою отримання необхідного ефекту. Так як експериментальне дослідження розподілу електромагнітних полів всередині ікринки провести практично неможливо, постає питання про вирішення цього завдання теоретичними методами.

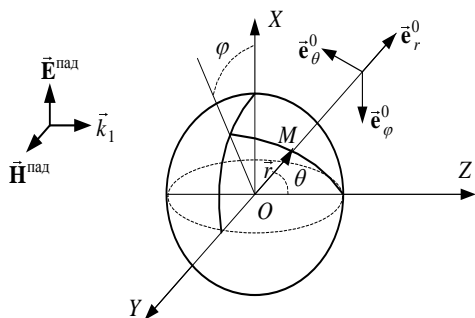
З точки зору електродинаміки завдання подібного типу зводяться до задач розсіювання і проникнення всередину електромагнітного поля на діелектричних тілах, з втратами або без них. З огляду на форму ікринок риб, як розсіювача в даному випадку можна взяти тіло у вигляді шаруватої сфери.

Штучне опромінення ікри риби електромагнітними полями може суттєво впливати на її розвиток. Як і у випадку з іншими біологічними об'єктами дане опромінення може бути СВЧ діапазону, вкрай високочастотного діапазону і світлового діапазону, в основі опису яких лежать одні й ті ж рівняння Максвелла. При цьому даний вплив може мати як позитивний, так і негативний характер. Все залежить від біотропних параметрів випромінювання: частоти, інтенсивності, поляризації, тривалості і т.п. У зв'язку з цим, необхідно, очевидно, досліджувати математичну модель, яка описує розподіл електромагнітних полів всередині ікринок з урахуванням зазначених параметрів. Модель повинна враховувати не тільки характеристики падаючого поля, а й електрофізичні та геометричні характеристики самих ікринок.

Припустимо, що центр сфери збігається з центром декартової системи координат. Плоска хвиля поширюється в позитивному напрямку осі OZ , та її електричний вектор орієнтований паралельно осі OX (рис. 1). Середовище, в якому знаходиться опромінюваний об'єкт, однорідне і характеризується

діелектричною та магнітною проникністю ϵ_0 та $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Ал}}{\text{л}}$.

Отже, нехай на сферичну ікринку падає світлова хвиля, довжина якої менше розмірів сфери приблизно на три порядки.



Для вирішення завдання розкладемо падаюче поле по векторним сферичним хвильовим функціям. Тоді використання сферичної системи координат (r, φ, θ) надасть можливість отримати рішення у вигляді:

Рис. 1. Схема падіння електромагнітної хвилі на сферичну ікринку.

$$\begin{aligned}\vec{E}^{\text{пад}} &= E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{no}^+ - i \vec{N}_{ne}^+); \\ \vec{H}^{\text{вв}} &= -\frac{k_0 E_0}{\mu_0 \omega} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (\vec{M}_{ne}^+ + i \vec{N}_{no}^+),\end{aligned}\quad (3)$$

де E_0 – амплітуда електричної складової падаючого поля; ω – кутова частота випромінювання; $k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ – хвильове число для середовища поширення падаючої хвилі.

Нарешті, внутрішнє поле визначається виразами:

$$\begin{cases} \vec{E} = E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \vec{M}_{no}^+ - i b_n \vec{N}_{ne}^+); \\ \vec{H} = -\frac{k}{\omega \mu_0} E_0 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n \vec{M}_{ne}^+ + i a_n \vec{N}_{no}^+). \end{cases} \quad (4)$$

де $k = \omega \sqrt{\varepsilon \cdot \mu_0}$ – хвильове число для середовища всередині об'єкта; ε – діелектрична проникність матеріалу об'єкта;

Спрощуючи завдання обчисленням лише першої, найбільш істотною для практичних питань гармоніки, отримуємо розрахункові формули для внутрішніх полів:

$$\begin{cases} \vec{E} = \frac{3}{2} i E_0 (a_1 \vec{M}_{1o}^+ - i b_1 \vec{N}_{1e}^+); \\ \vec{H} = -i \frac{3k}{2\omega \mu_0} E_0 (b_1 \vec{M}_{1e}^+ + i a_1 \vec{N}_{1o}^+), \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{де } a_1 = \sqrt{\frac{k_0}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_0 a) + a_1^{\text{дв}} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_0 a)}{J_{\frac{3}{2}}(k a)}, \quad (6)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{k_0}{k}} \frac{J_{\frac{3}{2}}(k_0 a) + b_1^{\text{дв}} H_{\frac{3}{2}}^{(2)}(k_0 a)}{J_{\frac{3}{2}}(k a)}, \quad (7)$$

Однак при знаходженні електромагнітних полів в біологічних об'єктах сферичної форми як ікринки необхідно враховувати, що це сферіди зі змінною діелектричною проникністю. У першому наближенні можна вважати, що вони мають тільки радіальною неоднорідністю, тобто $\varepsilon = \varepsilon(r)$. Тому виникає задача про визначення внутрішніх полів в неоднорідних сферах. Отже, припустимо, що всередині сфери, що розсіює $\varepsilon = \varepsilon(r)$ $\mu = \mu_0$. Для вирішення завдання про дифракції плоскої електромагнітної хвилі на неоднорідній сфері може бути використаний так званий «метод поперечних перетинів». Суть цього методу полягає в тому, що поле усередині даного об'єкту представляється у вигляді рядів за власними векторними функціями, що утворені на основі мембранних функцій поперечного перерізу. У розглянутій задачі «поперечні перетини» переходять в повні сфери, а мембранні функції - в кульові функції. Визначення виразів для коефіцієнтів розкладання шуканих полів і є рішенням даного завдання.

Враховуючи, що основний внесок в процеси, що відбуваються в біооб'єкті, робить перша гармоніка внутрішнього поля, обчислимо її величину. Компоненти полів першої гармоніки мають такий вигляд:

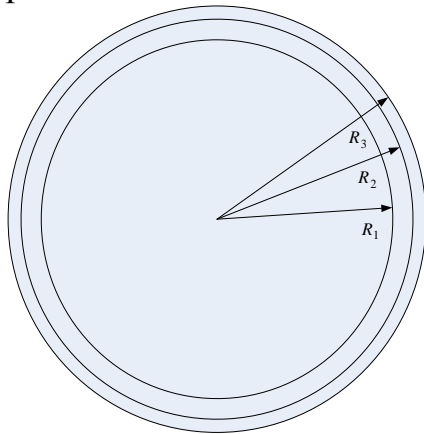
$$\left\{ \begin{array}{l} E_r = \frac{e_{l11}}{2r} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta \cos \varphi; \\ E_\varphi = -\frac{e_{g11}}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta \cos \varphi; \\ E_\theta = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} (e_{g11} \cos \theta \cos \varphi - e_{c11} \sin \varphi), \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_r = \frac{h_{l11}}{2r} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta \sin \varphi; \\ H_\varphi = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} (h_{g11} \cos \varphi - h_{c11} \cos \theta \sin \varphi); \\ H_\theta = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} (h_{g11} \cos \theta \sin \varphi + h_{c11} \cos \varphi). \end{array} \right. \quad (9)$$

У всіх розглянутих вище задачах наведені остаточні формули для розрахунку внутрішніх полів лише для першої гармоніки. Як вже було сказано, цього буває достатньо в переважній більшості випадків. Однак якщо необхідно досліджувати процеси, пов'язані з резонансними явищами, використовуються результати для гармонік з більш високими номерами. З цією метою в загальні вирази необхідно підставити номери відповідних гармонік і отримати необхідні для розрахунків поля.

При розсіянні монохроматичних полів їх амплітуди і частоти є константами. Якщо ж падаюча хвиля має деяку модуляцію, то E , H та ω замінюються відповідними функціями часу.

Для розрахунків будемо використовувати наступні вихідні дані: біологічний об'єкт являє собою квілку. діаметральний переріз якої зображено на рис. 2:



Спрощену модель ікринки можна представити у вигляді тришарового кулі. Перша область, яка знаходиться в діапазоні відстаней від центру $[0, R_1)$, відповідає зародковому диску, його відносна діелектрична проникність в червоному діапазоні довжин світлових хвиль 630–760 нм дорівнює $17,6+29i$. Друга область, яка перебуває в діапазоні відстаней від центру $[R_1, R_2)$, відповідає внутрішній оболонці, її відносна діелектрична проникність дорівнює $23+13i$.

Рис. 2. Поперечний переріз моделі ікринки.

Третя область, що знаходиться в діапазоні відстаней від центру $[R_2, R_3]$, відповідає зовнішній оболонці, її відносна діелектрична проникність в розглянутому діапазоні довжин світлових хвиль дорівнює $3,1+1,1i$.

Відносна магнітна проникність усіх верств дорівнює 1. Величини радіусів ікринки взяті з літературних джерел. Всі наведені величини є усередненими. Розрахунки виконані на основі отриманих виразів (5)–(9).

На всіх наведених нижче графіках побудовані залежності електричного і магнітного полів від радіуса. Нуль відповідає центру сфери. Амплітуди внутрішнього електричного і магнітного полів дані в відносних одиницях, максимальні їх значення рівні 1. Для переведення їх до конкретних значень на

кожному графіку проти лінії, що позначає напруженості електричного або магнітного поля, дані поправочні коефіцієнти. Крім того, тут і всюди в подальшому напруженість падаючого електричного поля дорівнює одиниці. Таким чином, отримані результати легко застосувати до будь-якого конкретного випадку, множивши наведені в розрахунках величини на справжню напруженість і поправочний коефіцієнт. Довжина падаючої на ікринку хвилі бралася рівною 635 нм.

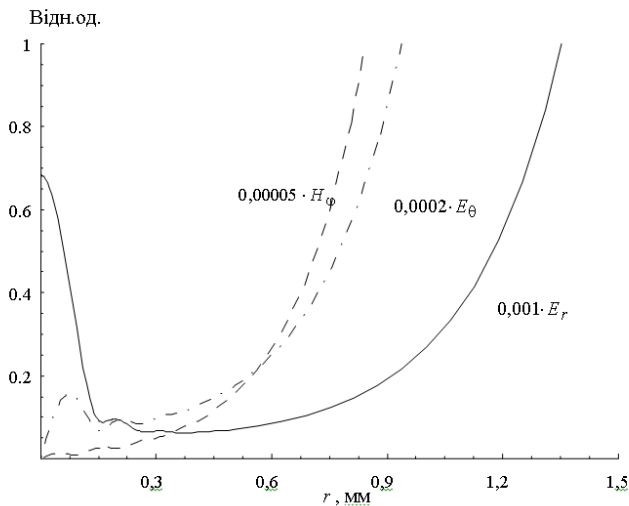


Рис. 3. Структура електромагнітного поля в однорідному біологічному об'єкті сферичної форми

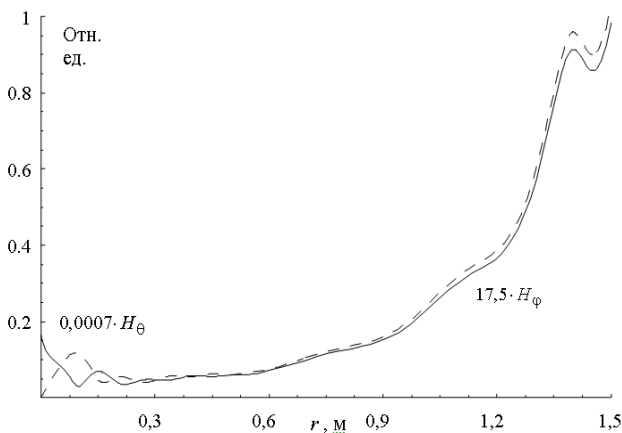


Рис. 4. Структура електромагнітного поля (E_r, E_φ) в поперечному перерізі ікринки

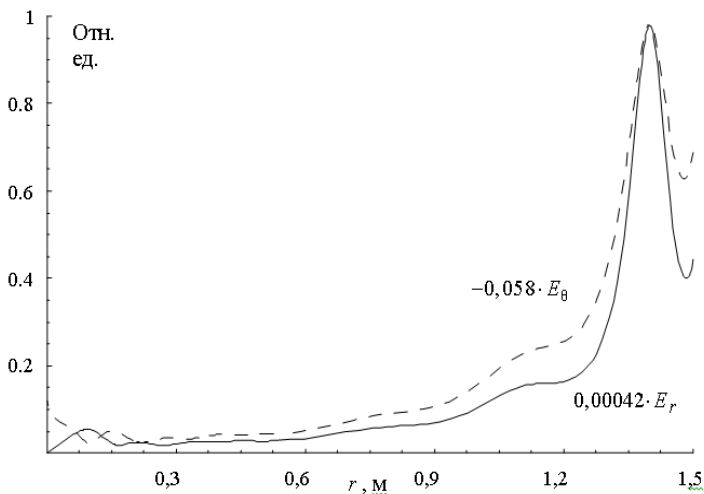


Рис. 5. Структура електромагнітного поля (H_φ, H_θ) в поперечному перерізі ікринки

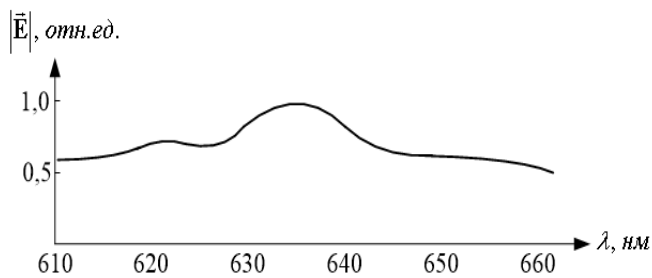


Рис. 6. Залежність амплітуди внутрішньої електричної складової низькоенергетичного ЕМП від частоти падаючого на ікрину поля

Для отримання обґрунтування вибору частоти опромінення було проведено розрахунок залежності амплітуди електричної складової електромагнітного поля всередині ікринки з урахуванням її неоднорідної структури. Частота падаючого поля бралася мінливою в діапазоні 610-660 *нм*. Результати розрахунків представлені на рис. 6.

Також на підставі отриманих виразів для внутрішніх полів побудована модель їх впливу на перенесення іонів крізь мембрани внутрішніх клітин зародка і інтенсифікації життєвих процесів. **Третій розділ** присвячено принципам побудови системи вимірювання хемілюмінесценції ікри осетрових риб. По-перше, зроблено порівняльний аналіз методів контролю відгуку біологічних об'єктів при впливі на них фізичних факторів. Біологічні об'єкти, в тому числі і ікра осетрових, носії великої різноманітності джерел інформації, що відбиває їх складну багатофункціональну структуру. Тому при дослідженні біологічних об'єктів важливе значення має вибір методів, які характеризують їх біологічну якість, як показник стану об'єкта в даний час. Таких методів для різних об'єктів, як тваринного, так і рослинного походження досить багато, і кожен з них з певним ступенем вірогідності може характеризувати морфофункціональний стан біологічного матеріалу.

За допомогою люмінесцентних методів можливо на цілих клітинах, тканинах і органах спостерігати за локальними змінами в біомембранах. На рис. 7 приведена схема, на якій відображені функціональні зв'язки методів, можливих для вимірювання відгуку біологічних систем рослинного і тваринного походження при впливі на них різних фізичних факторів.

При вивченні матеріалів, що стосуються особливостей люмінесцентних методів при впливі фізичних факторів на біооб'єкти (рибна ікра та ін.), найбільший інтерес представляють фактори, які є адекватними подразниками для ікри та інших біооб'єктів. Ними є: температура, дефіцит або надлишок вологи, сольовий склад водних розчинів, вплив сонячної радіації та ультрафіолету. Реакцію біологічних об'єктів на нагрівання або охолодження оцінюють або по зміні характеристик життєдіяльності під час зміни температури, або фіксують наслідок. В обох випадках люмінесцентний аналіз дозволяє спостерігати ранні зміни у функціонуванні біомембран, що передували появі видимих ознак пошкодження в біосистемі. Люмінесцентні методи дозволяють проводити непошкоджуючий контроль за змінами, що відбуваються в клітині на мембранному і молекулярному рівнях.

На підставі проведеного аналізу матеріалів, що стосуються особливостей люмінесценції при впливі фізичних факторів на біооб'єкти, можна зробити висновок, що люмінесцентні методи, засновані на взаємодії світла з речовиною,

є безконтактними, мають високу чутливість та безінерційність, дозволяють проводити кінетичні вимірювання.

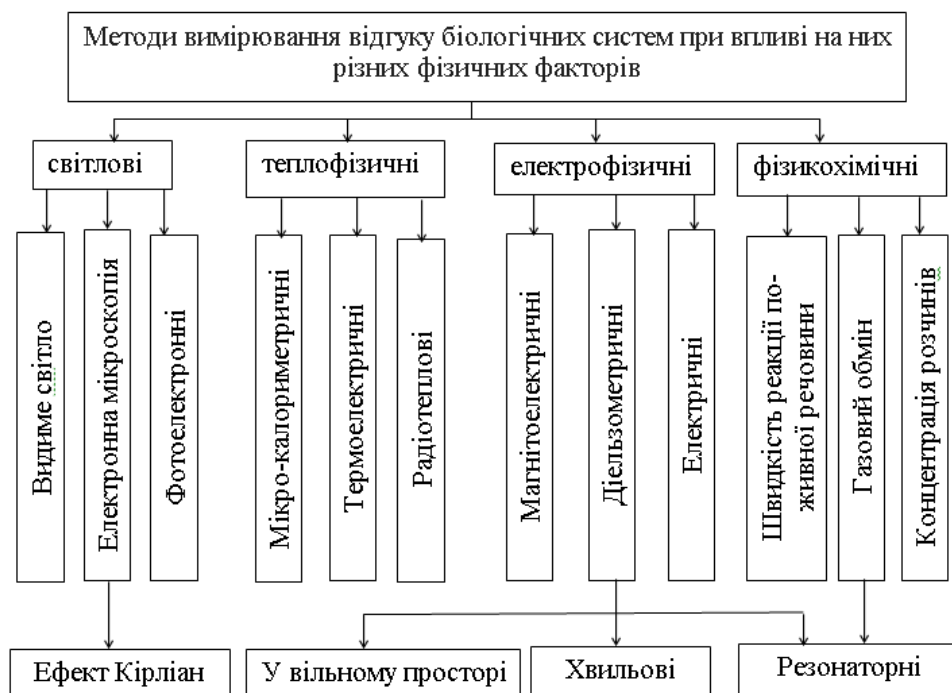


Рис.7. Функціональна схема методів вимірювання відгуку біологічних систем при впливі на них різних фізичних факторів.

Для повного уявлення про можливості біохемілюмінометрії в даний час були розглянуті основні етапи еволюції в області створення об'єктивних методів і засобів вимірювання надслабкого світіння. Застосування люмінесцентних методів контролю за зміною хемілюмінесценції ікри осетрових риб дозволить підвищити їх репродуктивність, пов'язану з опроміненням ікри випромінюванням в нанометровому діапазоні довжин хвиль.

Створення перших вітчизняних хемілюмінометрів із застосуванням фотоелектричного помножувача для фіксування слабких світлових потоків з інтенсивністю (10⁵-10⁶ квант/с) пов'язано з відкриттям Б.М. Тарусовим спонтанної сверхслабкої (10¹-10³ квант/с) біохемілюмінесценції живих тканин і клітин. Широке застосування методу хемілюмінесценції в медицині та біології призвело до створення серійної апаратури. Так, вітчизняний медичний хемілюмінометр МІЦ-01, дає можливість проводити кількісний вимір хемілюмінесценції різних біологічних і хімічних об'єктів. Описані прилади мають багато переваг, мають високу чутливість, незначними відхиленнями вимірюваних величин від їх середніх значень, дозволяють робити точний статистичний аналіз експериментальних даних. Головним недоліком численних установок є те, що жодна з розглянутих пристроїв не дозволяє спостерігати як спонтанну біохемілюмінесценцію, так і індуквану різними фізичними факторами, проводити вимірювання в реальному масштабі часу при безпосередньому впливі електромагнітних факторів на біологічні об'єкти, а

також відсутність уніфікації, єдиної метрології, можливості періодичного контролю чутливості установок. Тому необхідно провести теоретичні і експериментальні дослідження для створення пристрою, що забезпечує вимір біохемілюмінесценції ікри осетрових риб в процесі їх технологічної обробки світлодіодним випромінюванням.

Застосування фізичних чинників (світло, ЕМП, лазер) з кожним роком знаходить все більше застосування при штучному розведенні осетрових риб. Тому розробка методики технічних пристроїв, що дозволяють контролювати стан біологічних об'єктів (ікра осетрових риб) в момент опромінення і після нього, є головним фактором при розробці сучасних технологій по підвищенню репродуктивної здатності осетрових.

З цією метою було розроблено і виготовлено технічний пристрій, за допомогою якого можна вимірювати як спонтанну так і індуковану різними фізичними факторами (світло, ЕМП, лазер) біохемілюмінесценцію. Розроблена система пов'язана з комп'ютером, що дає можливість відразу проводити обробку отриманої інформації. На рис.8 представлена функціональна схема установки. Вона містить: високовольтний блок живлення; вимірювальний перетворювач; підсилювальний блок; блок живлення; осцилограф; реєструючий пристрій; інтерфейсна плата; ПК; принтер.



Рис. 8. Функціональна схема установки

Для зручності порівняння ефективності різних методів реєстрації фотонів зведені в таблицю 1.

Таблиця 1. - Порівняння ефективності різних методів реєстрації фотонів

№ п/п	Метод	Умовне позначення	Ефективність
1	Метод рахунку фотонів	ФС	1
	Інтегрування заряду	ІЗ	0,67

2	Синхронне детектування	СД	0,5 (реєстрація в режимі рахунку) 0,33 (реєстрація інтеграцією) 0,07(узкополосна модуляція по першій гармоніці)
3	Струмовий	ТС	0,5

Порівняємо рахунковий і струмовий режими, користуючись поєднанням пуассоновського і біномного розподілу для рахункового режиму. Імовірність $P(n)$ досягнення n фотонами катода ФЕП представимо як:

$$P_n = \frac{\bar{n}^n e^{-\bar{n}}}{n!} \quad (10), \text{ де } \bar{n} \text{ частка падаючих на фотокатод фотонів або середня ефективність збирання.}$$

Імовірність вибивання n електронами x вторинних електронів:

$$P_n = \frac{\bar{n}^n e^{-\bar{n}}}{n!} a^x (1-a)^{n-x} \quad (11), \text{ де } a \text{ - квантовий вихід фотокатода.}$$

Вірогідність P_x вибивання x фотоелектронів середньою кількістю фотонів отримуємо як суму добутків двох попередніх ймовірностей:

$$P_x = \sum_{n=x}^{\infty} P_n P_{n,x} = \frac{e^{-\bar{n}} (a\bar{n})^x}{x!} \sum_{n=x}^{\infty} \frac{[n(1-a)]^{n-x}}{(n-x)!} = \frac{(a\bar{n}) e^{-\bar{n}a}}{x!} \quad (12)$$

Число імпульсів ФЕП за одиницю часу $N = \nu \sum_{x=1}^{\infty} P_x$, тобто дорівнює ймовірності вибивання фотоелектронів у всій області значень x , від 1 до ∞ :

$$N = \nu \sum_{x=1}^{\infty} P_x = \nu \sum_{x=1}^{\infty} \frac{(a\bar{n}) e^{-\bar{n}a}}{x!} = \nu (1 - e^{-\bar{n}a}) = \nu \left[\bar{n}a + \left(\frac{\bar{n}a}{2} \right)^2 + \dots \right], \quad (13)$$

де ν - кількість квантів джерела світла.

Для одноелектронного режиму рахунку ймовірності вибивання двох фотоелектронів з фотокатода одним фотоном $P_{x=2} < P_{x=1}$, де

$$P_{x=1} = \bar{n}a e^{-\bar{n}a}, \quad a P_{x=2} = \left(\frac{\bar{n}a}{2} \right)^2 e^{-\bar{n}a}$$

При слабкому світловому потоці і одноелектронної реєстрації становить дуже малу величину в порівнянні з $\bar{n}a$ та

$$N = \nu \bar{n}a \quad (14)$$

Для порівняння рахункового і струмового режиму реєстрації з точки зору чутливості реєстрації слабкого світлового потоку візьмемо середній ФЕП, в якому забезпечується одноелектронний режим і є наступні дані:

$$\bar{n} = 0,2; \quad a = 0,1; \quad \nu = 10^4 \text{ c}^{-1}; \quad K_{\text{уфз}} = 10^6; \quad I_T = 5,10^{-8} \text{ A}; \quad N_T = 20 \text{ имп / c.}$$

Тоді для режиму рахунку згідно (14) $N=200$ імп/с, а співвідношення сигнал / шум:

$$\frac{N}{\sqrt{N + N_T}} = \frac{200}{15} = 13 \quad (15)$$

Для струмового режиму корисний сигнал на виході ФЕП:

$$I_C = NK_V 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ А} \quad (16)$$

В цьому випадку корисний сигнал буде більш, ніж на три порядки нижче темного струму фотоприймача, і не може бути виділений.

Чутливість токового режиму в цьому випадку нижче чутливості рахункового більш, ніж в 1000 разів. Це важлива перевага режиму рахунку фотонів для випадку реєстрації гранично слабких світлових потоків характерно для біодосліджень.

Тому в розробляемій установці доцільно застосувати метод вимірювання вихідного сигналу фотоприймача - метод рахунку фотонів, що дозволить проводити ефективні вимірювання як спонтанної біохемілюмінесценції, так і індукованої випромінюванням світлових діодів ікри осетрових риб.

Одним з основних вимог що пред'являються до системи контролю вимірювання біохемілюмінесценції є правильний вибір фотоелектронного помножувача. Для цього слід звернути особливу увагу на величину інтенсивності індукованої біохемілюмінесценції і спектральну область, в якій відбувається випромінювання.

На підставі використання прийомів статистичної фізики та елементів теорії ймовірності виведені наступні принципові положення одноелектронного нормування:

1 - пуассоновський розподіл вихідних сигналів ФЕП є основою для виділення корисної інформації;

2 - підвищення амплітудного дозволу ФЕП можливо при великому діодному посиленні.

Як показує літературний аналіз, в сучасних фотопомножувачах коефіцієнт посилення доходить до 10^{10} ступеня, а інтегральна чутливість знаходиться в межах від 10 до 1000 А / лн та досягає при анодних напруженнях близько 1300 - 1500 В.

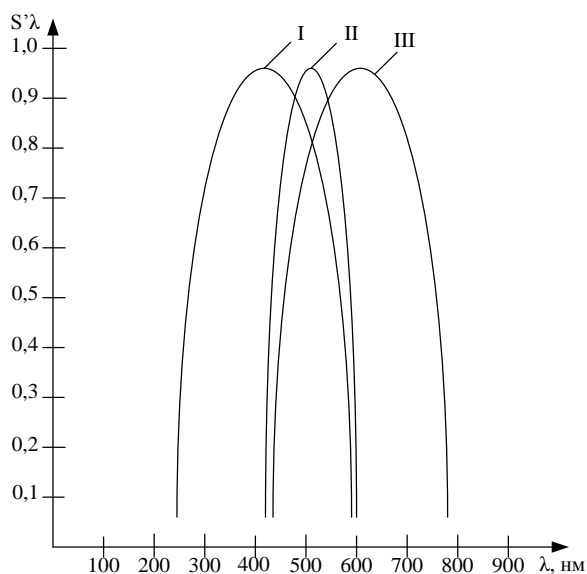


Рис. 17. Залежність відносної спектральної чутливості ФЕП-85 (I), ФЕП-79 (II), ФЕП-64 (III).

Тому можна зробити висновок, що для хемілюмінометрії застосовуються ті ФЕП, які мають пуассоновське амплітудне розподілення і мають максимальну спектральну чутливість в видимому і частково в інфрачервоному діапазоні спектру. Серед існуючих моделей слід зазначити мал шумливі ФЕП-79, ФЕП-85, ФЕП-71, ФЕП-64, ФЕП-1-30 і ФЕП-136 використовуються для реєстрації надслабкого світіння.

На підставі проведеного аналізу впливає, що для вимірювання хемілюмінесценції ікри осетрових риб необхідно застосовувати метод рахунку одиничних фотонів на основі використання фотоелектронного помножувача ФЕП-79.

У **четвертому розділі** розглянуті питання моделювання процесів перенесення теплової енергії через реологічні переходи та технологічне підґрунтя для створення світлодіодної технології для риборозплідного комплексу.

Характерною особливістю біологічних організмів є наявність температурного поля стабільного для нормального його стану. Риби відносяться до тварин зі змінною температурою тіла (зазвичай говорять «холоднокровні»), їх температура приблизно дорівнює температурі води. Будь-які відхилення від нормальної температури біологічного організму є ознакою про порушення роботи того чи іншого органу або біологічної системи. Швидкість обміну речовин риби залежить від температури, чим вона вища, тим інтенсивніше обмінні процеси.

Температура води протягом усього періоду інкубації повинна бути досить постійною. При значному підвищенні температури води вживають заходів по її охолодженню. При температурах, вище зазначених, інкубація проходить швидше, але личинки викльовуються недорозвиненими, менш життєздатними, що призводить до великих відходів.

Так як зміна температури є рушійною силою, то для біологічних організмів вона приводить, по-перше, до зміни швидкості масоперенесення та біохімічних процесів в об'єкті. Процеси передачі тепла та речовин у біологічних організмах є подібними.

Експериментальне вивчення перенесення тепла ускладнюється необхідністю виконувати вимірювання в біологічних організмах зі змінною температурою. При цьому на результати впливає залежність фізико-хімічних констант від температури. Для нерухомого середовища основним законом передачі тепла (молекулярною теплопровідністю або кондукцією) є закон Фур'є, згідно з яким тепловий потік пропорційний градієнту температури:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T \equiv -\lambda \frac{dT}{dy}, \quad (18)$$

де q - тепловий потік, тобто кількість тепла, яке передається через одиницю поверхні за одиницю часу; $\operatorname{grad} T$ - градієнт температури; λ - коефіцієнт теплопровідності.

Якщо причиною руху служить різниця температур, яка приводить до перенесення тепла в біологічних організмах, то приймається, що це є вільною або природною конвекцією. Якщо рух викликається зовнішніми силами, то процес носить назву вимушеної конвекції.

Для процесу передачі тепла вводять коефіцієнт температуропровідності a , який зв'язаний зі звичайним коефіцієнтом теплопровідності співвідношенням $a = \lambda / c_p \rho$. Рівняння теплопровідності в нерухомому середовищі має вигляд:

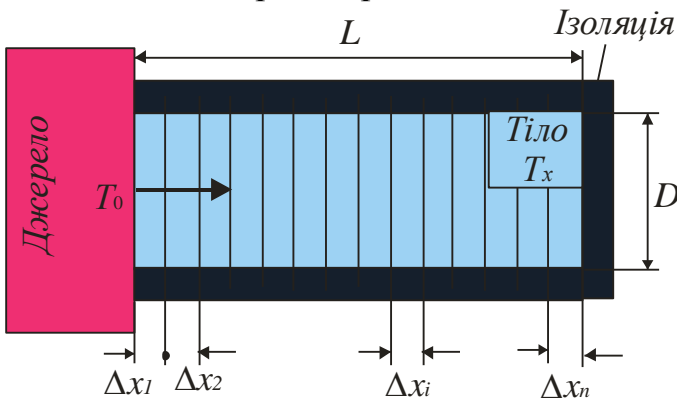
$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial \theta} = \text{div } \lambda \text{grad} T + q' \quad (19)$$

де q' — щільність джерел тепла, тобто кількість тепла, яка виділяється внаслідок хімічних реакцій в одиниці об'єму за одиницю часу; θ - час перенесення теплової енергії.

При стаціонарному режимі продукти біохімічної реакції в біоб'єкті розповсюджуються з постійною швидкістю v_0 . Для такого режиму теплоперенесення описується рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} - c_p \rho v_0 \frac{\partial T}{\partial \theta} + Q_z \exp(-E/RT_D) = 0 \quad (20)$$

де x – напрямок розповсюдження теплової енергії.



На рисунку 9 показано, що біологічний об'єкт являє собою умовний об'єкт з незмінним ізольованим зовнішнім середовищем, а неізольована частина це рідина, яка є джерелом тепла з температурою T_0 . Розділимо довжину нашого об'єкту на n умовних ділянок товщиною $\Delta x \rightarrow 0$.

Рис. 9. Схема реологічного переходу теплоти об'єкта з ізольованою поверхнею

Прийmemo, що на кожен наступну ділянку Δx_i теплота передається тільки після того, коли попередній прийме температуру джерела.

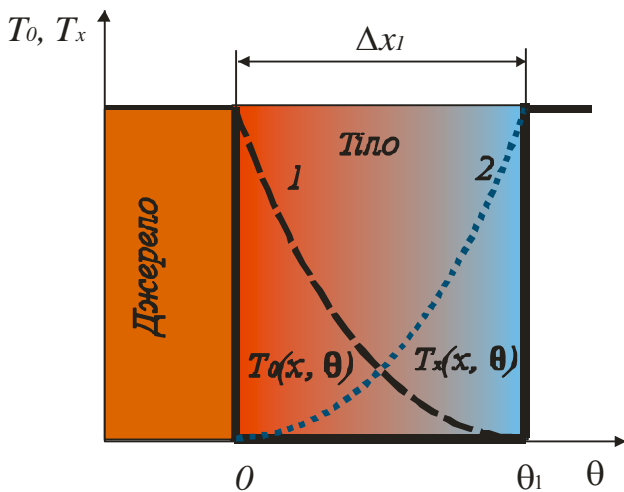
У кожному елементі такого тіла проходить процес реологічного перетворення (нагрівання), який може бути описаний рівнянням (20).

$$\tau_p \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial T}{\partial \theta} - \left(a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - v_0 \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{Q_z}{c_p \rho} \exp(-E/RT_P) \right) = 0$$

На першій ділянці $\Delta x \rightarrow dx$ має місце реологічне перенесення теплової енергії від джерела до першої ділянки (рис. 10, крива 1). За рахунок цього перенесення об'єкту акумулює тепло і нагрівається до температури $T_{x_1} = T_0$.

Процес нагріву ділянки $\Delta x_1 \rightarrow dx_1$ показаний на рис. 10, крива 2. Інтегральна імпульсна дельта-функція Дірака являє собою прямокутник шириною Δx_1 . Так як згідно з умовою задачі стік теплової енергії через поверхню є відсутнім, то для кожної ділянки Δx_i задача перенесення тепла та нагрівання біологічного об'єкту буде симетричною.

Таким чином, процес перенесення кількості тепла від джерела до ділянки 1 біологічного об'єкту описуватиметься диференціальним рівнянням типу (20).



Тому приймаючи, що $\partial\theta \approx dt$, рівняння (20) можна записати таким чином:

$$\tau_p \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial T}{\partial \theta} - \left(a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - v_0 \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{Qz}{c_p \rho} \exp(-E/RT_p) \right) = \gamma(t) \quad (21)$$

де $\gamma(t)$ - швидкість перенесення теплової енергії вздовж довжини об'єкта (стік теплової енергії).

Рис.10. Графіки незворотних реологічних перетворень (криві 1 і 2) та інтегральна імпульсна дельта-функція Дірака.

На теперішній час досить широке розповсюдження отримала чотиристадійна фізична модель, мотивована одностадійною хімічною реакцією (рис.11). Наприклад першим реологічним переходом може бути рухливість іонів і їх проникнення крізь мембрани клітин, що пов'язано зі ступенем переносу поживних речовин.

При багатостадійних реологічних хімічних перетвореннях проміжні продукти створюють нові реологічні перетворення. Для таких процесів характерним є те, що стоками можуть бути як проміжні продукти, так і кінцевий продукт багатостадійного хімічного перетворення.

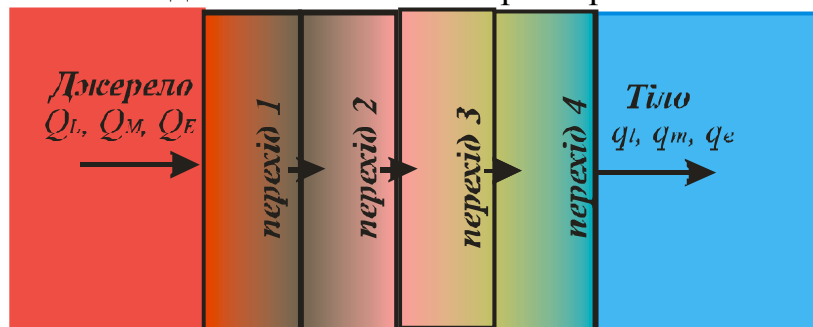


Рис. 11. Процес перенесення з чотирма реологічними переходами

На кожному реологічному переході імпульс вхідної величини зменшується, а вихідної – збільшується. У загальному випадку кожний реологічний перехід являє собою деяку інтегральну імпульсну дельта-функцію Дірака, як показано на рис. 12, де позначено: Q, Q_0 - поточна та початкова концентрації; q, q_0 - поточна та кінцева кількість імпульсу; $Q = f(z, t)$ - функція зміни концентрації; $q = f(z, t)$ - функція зміни концентрації; z - впливовий фактор або сукупність впливових факторів; t - час реологічного

переходу; z_1, t_1 - параметри початку реологічного переходу; z_2, t_2 - параметри кінця реологічного переходу.

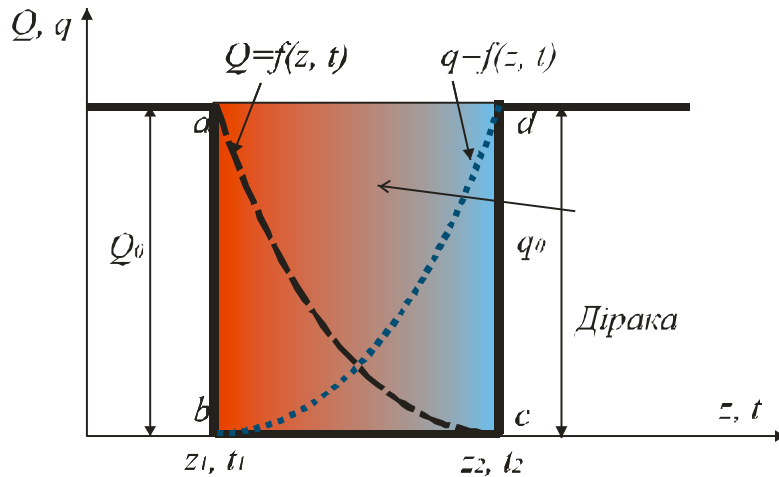


Рисунок 12. Графічне зображення зони реологічного переходу:

У загальному випадку $q \neq Q$, а час реологічного переходу $\theta = t_2 - t_1$. Площина, яка обмежена точками a, b, c, d , є інтегральною імпульсною дельта-функцією Дірака з ядром у форму деякої функції, яка описує процеси, котрі проходять в зоні реологічного переходу. Так як всередині інтегральної імпульсної дельта-функції Дірака, як правило, знаходяться дві криві реологічного переходу – крива зміни того чи іншого явища перенесення (кількості руху, маси та енергії) $Q = f(z, t)$ і крива стоку процесу перетворення $q = f(z, t)$, то завжди виконуватиметься баланс кількості руху, маси та енергії, тобто

$$\bar{Q}(\bar{z}, \theta) = \bar{\varphi}(\bar{z}, \theta) \cdot \bar{v}(\bar{z}, \theta) + \bar{q}(t), \quad (22)$$

де $\bar{\varphi}(\bar{z}, \theta)$ - вектор перенесення потенціалу; \bar{z} - вектор напрямку руху перенесення; $\bar{v}(\bar{z}, \theta)$ - вектор швидкості перенесення.

Системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\rho}{d\theta} + (\rho \nabla v + v \nabla \rho) &= \sum_{i=0}^n \tau_i^i \frac{d^{i+1} \rho}{dt^{i+1}}; \\ \rho c_p \frac{dE}{d\theta} + \nabla k \nabla E + \beta E \frac{dp}{d\theta} + \mu \Phi + q''' &= \sum_{i=0}^n \tau_i^i \frac{d^{i+1} E}{dt^{i+1}}. \end{aligned} \right. \quad (23)$$

де n - кількість фазових реологічних переходів; τ_i^i - сталі часу стоку результату реологічного перетворення.

Система рівнянь (23) являє собою математичну модель енерго-масоперенесення в біологічному організмі, яка є функцією ядра інтегральної імпульсної дельта-функції Дірака. Ліва частина цих рівнянь описує процес конвекційно-кондуктивного перенесення з часом θ , а права – процес стоку

результату реологічного перетворення з часом t . Час стоку t може дорівнювати або бути більшим часу θ , але ніколи не меншим. Рівняння (23) виключають парадокс про безмежність швидкості перенесення, що є важливим при дослідженні реальних процесів енерго-масоперенесення.

При штучному відтворенні гідробіонтів використовуються різноманітні методи і підходи до інтенсифікації виробництва. На сьогодні існує достатньо велика кількість апаратів для інкубації ікри риби в штучних умовах, які відрізняються конструкціями, технічними характеристиками, функціональними можливостями тощо.

На рис. 12 представлено запропоновану здобувачем узагальнену класифікацію існуючих інкубаційних апаратів. Таким чином, існує багато конструкцій інкубаційних апаратів. Всі ці апарати можна розділити на наступні групи: апарати для великої ікри лососевих (лососів, кумжі); ікра при інкубації перебуває в стані нерухомості; апарати для дрібної ікри лососевих (білорибиці, сигових); ікра при інкубації перебуває в стані постійного руху; апарати для обесклеєної ікри коропових і осетрових (рибця, кутума, осетра, севрюги, білуги, шипа); ікра при інкубації перебуває по черзі (через кожні кілька секунд) у стані спокою і руху; апарати для необесклеєної ікри осетрових, яка при інкубації знаходиться в стані нерухомості.

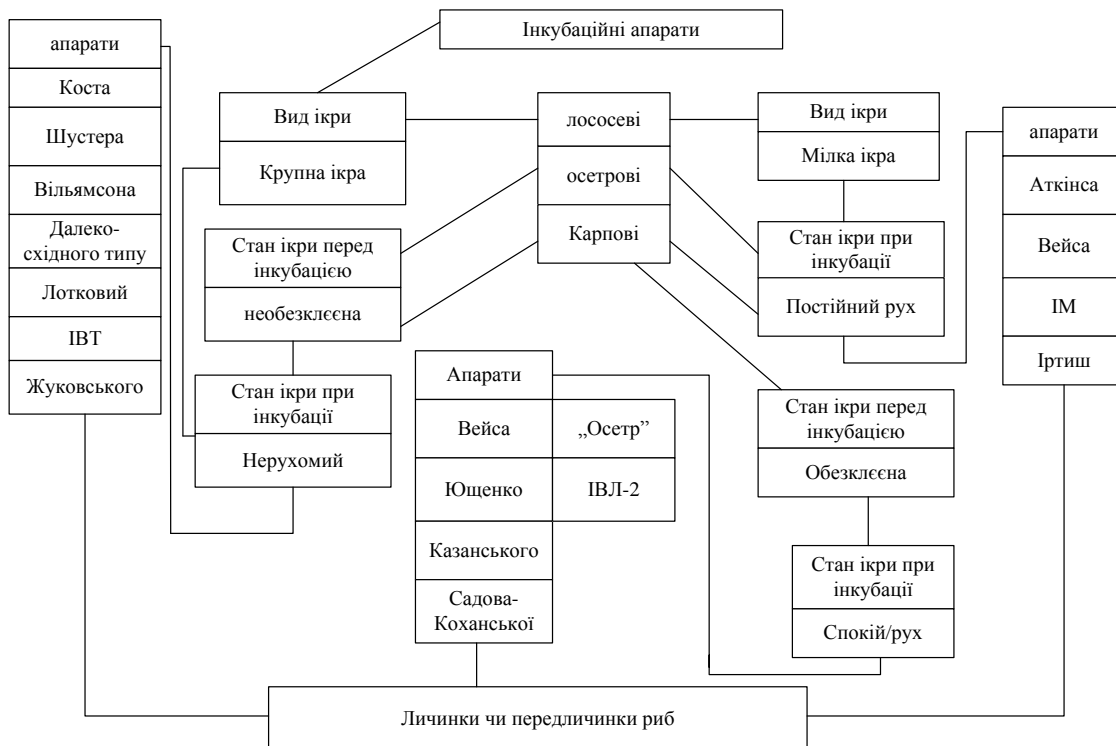


Рис.12. Узагальнена класифікація існуючих інкубаційних апаратів.

Апарат Вейса для інкубації ікри показаний на рис. 13, де а - інкубаційна посудина; б- пробка; в - мідна трубка; г- шланг водоподачі. Нижній отвір апарату закритий пробкою з вставленою по центру металевою трубкою діаметром 0,8-1,0 см. Зовнішній кінець цієї трубки з'єднаний зі шлангом, який надітий на кран, що подає воду.

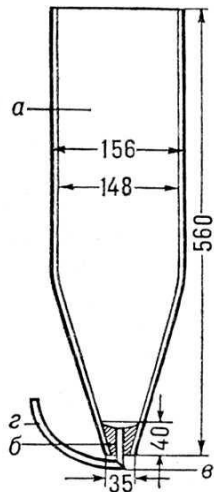


Рис. 13. Апарат Вейса (базова конструкція).

При вивченні впливу ЕМВ НВЧ, в тому числі і на біологічні об'єкти і виявлення первинних механізмів цього впливу необхідно враховувати кластерну структуру води.

Експериментально підтверджено, що між водою, навколишнім об'єктом, і самим біооб'єктом існує енергетично-інформаційний обмін. Отримані експериментальні результати доводять факт структуризації води α -амінокислотами. А оскільки вода є акцептором ІЧ променів, то при впливі на неї підвищується температура і порушуються водневі зв'язки між молекулами води. Тому вплив інфрачервоного випромінювання можна очікувати і на гідратні оболонки біополімерів (що може призвести до підвищення їх рецепторної активності), а також на макромолекули, де водневі зв'язки є вирішальними в їх роботі ДНК.

При цьому оптимальна температура для розвитку ікри російського осетра дорівнює $16-20^{\circ}\text{C}$, білуги - $9-14^{\circ}\text{C}$, севрюги - $17-24^{\circ}\text{C}$, стерляді - $13-26^{\circ}\text{C}$, шипа - $14-18^{\circ}\text{C}$. Інкубація ікри при температурі, близькій до верхнього значення діапазону нерестових температур, несприятливо впливає на розвиток ембріонів, приводячи до збільшення числа аномалій і вилуплення предличинок з меншими значеннями жовткового ресурсу. При температурах, близьких до нижнього значення діапазону, період інкубації зменшується, збільшується число профілактичних обробок, і личинки, що вилуплюються, мають велику масу, довжину і обсяг жовчного міхура.

На рис. 14 представлені результати дослідження – випромінювання морфології води, використовуваної для розведення та вирощування осетрових риб. Розрахунок, вироблений за відповідними графіками наведено в таблиці 2.

В якості базового апарата інкубації ікри осетрових вибрано апарат Вейса з такими технічними характеристиками: ємність – 7-20 літрів; норма завантаження ікри – 35-110 тис.шт; витрати води – до 6 л/хв. перед викльовом личинок – до 10 л/хв.; діаметр колби від 148 до 156 см; стандартна довжина колби – 560 см.

Також враховано особливості підготовки води для інкубаційних апаратів. Вода є основою практично будь-якого біологічного об'єкта і грає істотну роль в процесі його взаємодії з різними електромагнітними полями.

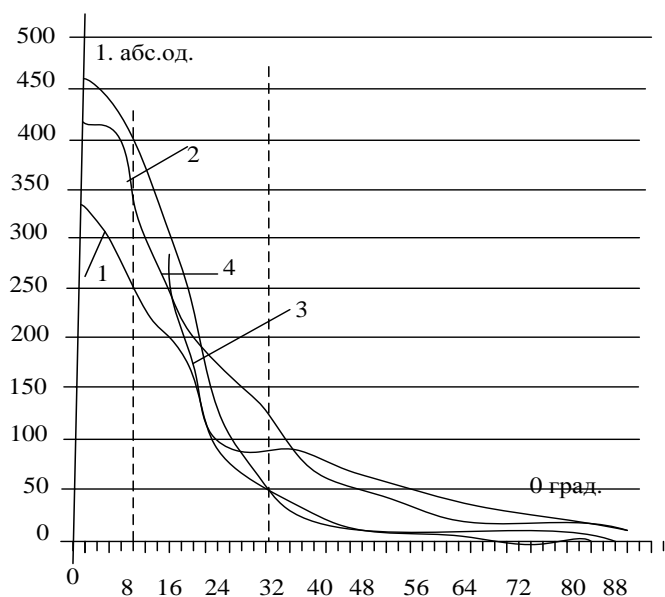


Рис. 14. Індикатриси розсіяння частками води: 1 - після витримки в темряві; 2 - після 10 хвилинного опромінення ІЧ випромінюванням; 3 - після 20 хвилинного опромінення ІЧ випромінюванням; 4 - після 30 хвилинного опромінення ІЧ випромінюванням

Таблиця 2. – Кількість кластерів

Вид впливу	К-ть крупних кластерів, ум.од.	К-ть середніх кластерів, ум.од.	К-ть мілких кластерів, ум.од.	Загальна к-ть кластерів, ум.од.
Витримка в темноті	2850	6000	2800	11850
10 хв ІК	300	5200	1700	10500
20 хв ІК	3950	4000	1500	9450
30 хв ІК	4100	4500	1200	9800
40 хв ІК	4120	5000	1000	10120

Як видно з представлених даних, у воді без освітлення утворюються переважно середні та дрібні кластери.

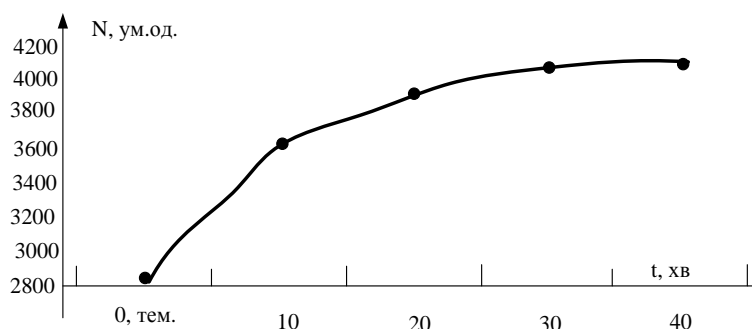


Рис. 15. Залежність кількості великих кластерів від часу ІЧ випромінюванням

Вплив ІЧ випромінювання на воду викликає перегрупування кластерів з їх укрупненням. Дрібних кластерів стає менше, їх структура набуває характеру мерехтливої. За результатами ІЧ спектроскопії води після впливу випромінювання ближнього ІК діапазону має більш рихлу структуру.

Ці два фактори: з одного боку, рихлість структури, з іншого, боку, збільшення кількості великих кластерів збільшує стабільність структури води.

Подальше збільшення тривалості опромінення сприяє зростанню в основному середніх кластерів за рахунок руйнування дрібних. При цьому зростання великих кластерів сповільнюється. Що погіршує стан води.

Зроблено обґрунтування та вибір елементної бази та базових режимів опромінення для риборозплідних технологій. Випромінювання, яке планується застосувати для опромінення ікри, личинок та молодняка риб, повинно бути: а) немонохроматичним; б) некогерентним; в) дифузним або змішаним; г) характеризуватися такими параметрами: потужність випромінювання; яскравість; доза опромінення; час експозиції; рівномірність опромінення поверхні; площа опромінення. Переходи від освітлення до темряви і навпаки; зміна яскравості і кольорової мозаїки; переходи тільки до одного із кольорів – будуть здійснюватися плавно, без різких змін освітленості.

У **п'ятому розділі** наведено структурну організацію низькоенергетичної світлодіодної технології, її апаратно-модульне, алгоритмічно-програмне та інформаційне спеціалізоване забезпечення.

Удосконалено структурно-функціональну організацію низькоенергетичної світлодіодної технології впливу на гідробіонти шляхом розділу підготовчого етапу на дві паралельні складові – виробничу і біологічну, що дозволило, виділивши базові функціональні елементи кожної складової, забезпечити, тим самим, встановлення і підтримку оптимальних температурного, кисневого, годувального і світлового режимів інкубаційного процесів. Структурно нову технологію можна представити у вигляді наступної схеми (16).

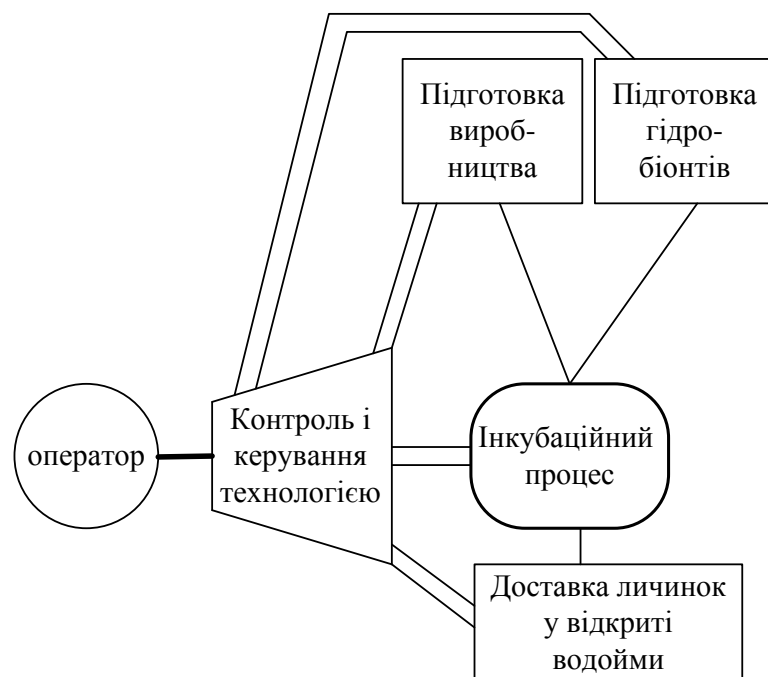


Рис. 16. Узагальнена структура низькоенергетичної світлодіодної технології (НЕСТ).

Удосконалено підсистему підтримки прийняття рішень шляхом введення і підключенням модулів конфігурування ППР, оцінки ефективності прийнятих рішень та їх корекції, які функціонують при підтримці автономної бази знань критеріїв оцінки рішень і дозволяють одержувати остаточне рекомендоване рішення з урахуванням змін до моделі та алгоритму управління інкубаційним процесом, що є зручним і комфортним для оператора техпроцесу і забезпечує його достовірним рішенням.

Вперше розроблено низькоенергетичну технологію фотонного впливу на ікру у вигляді логічної послідовності підготовчого та інкубаційного етапів, перший із яких представлено двокомпонентною структурою: технічною (виробничою), що забезпечує, перш за все, параметричну і біологічну підготовку води для подачі в інкубаційні апарати Вейса і біологічного, безпосередньо пов'язаного із підготовкою гідробіонтів та забезпеченням їх життєздатності для подачі в апарат Вейса, що у сукупності з іншими інформаційними атрибутами технології дозволяє стверджувати, про створення нового класу риборозплідних технологій – низькоінтенсивних світлодіодних технологій управління риборозплідним комплексом. Особливістю інкубаційного процесу являється алгоритм контролю і керування ним, реалізований на базі мікроконтролера сімейства ATMEGA. Розроблений алгоритм керування у сукупності з структурою етапу передбачає: 1) регулювання температури води, а) одночасно у всіх 5-ти апаратах Вейса, що входять до складу інкубаційної установки; б) в будь-якому із п'яти апаратів Вейса автономно від інших; 2) розрахунок завантаження ікри з урахуванням її властивостей; 3) розрахунок і забезпечення кисневого балансу одночасно для всіх і для кожного з п'яти апаратів Вейса; 4) установку та автоматичну підтримку температури інкубаційного процесу; 5) установку і автоматичне супроводження будь-якої комбінації чорно-білого режиму освітленості в апаратах Вейса; 6) розрахунок, установку і автоматичне супроводження будь-якого складу кольорової RGB-гами режиму колірності в апаратах Вейса; 7) постійну підтримку свіжої води апаратів Вейса.

На рис. 17 представлена структурна схема модифікованої колби Вейса з підключеними до неї пристроями керування. Тут використані позначення для таких складових елементів: 1 – різьбові направляючі вісі; 2 – водяна помпа (насос); 3 – керамічний нагрівач; 4 – термодатчик DS18B20; 5 – колба Вейса; 6 – резервуар для води; 7 – контейнер для уловлювання мертвої ікри; 8 – жолоб стоку надлишкової води; 9 – екран для кріплення світлових панелей; 10 – світлові стрічки; 11 – мотори для управління переміщенням екрану; 12 – фільтр для очищення води; 13 – основа рами апарату Вейса; 14 – система трубок для подачі води в колбу Вейса.

Ці елементи працюють під керуванням цифрового блоку, який складається з плати Arduino, яка містить прошивку, що формує керуючі сигнали згідно з вказівкою користувача.

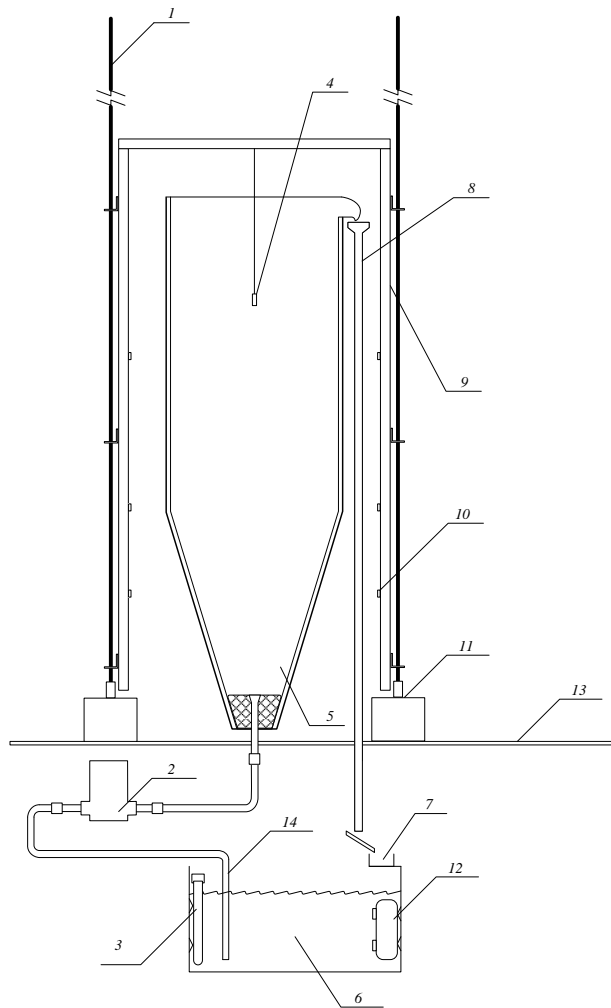


Рис. 17. Конструкція колби Вейса з апаратним забезпеченням системи.

Аналізуючи літературні джерела по оцінюванню якості ікри, можна зробити висновок, що чітких показників (параметрів) за якими можливо визначити якість ікри, не існує.

Вперше для задач оцінювання якості ікри на виході інкубаційного процесу розроблено математичну модель на основі апарату нечіткої логіки, яка використовує в якості вихідних термів та ознак розмір ікринок, усереднене значення відтінку градації сірого кольору і значення рівня поглинання води ікрою, що дозволило оцінювати якість ікри критеріями «низький», «нижче середнього», «середній», «вище середнього», високий за трьома категоріями «відмінної якості», «доброї якості», «задовільної якості».

Враховуючи той факт, що при опрацюванні біологічних показників доволі часто потрібно використовувати не тільки чіткі цифрові критерії, але й певні лінгвістичні характеристики змін показників (термів), нами проводився аналіз частини з них за допомогою математичного апарату нечіткої логіки. Такий підхід дозволяє одержати однозначний цифровий вираз для тих критеріїв, які мають описові характеристики і, відповідно, якісний зміст.

Для розробляємої інформаційно-структурної моделі ПППР вигляд таблиці знань наведено у табл. 3.

Таблиця 3. - База даних про співвідношення

Якість ікри осетрових риб	Розмір ікри (X_1)	Усереднене значення відтінку градації сірого кольору (X_2)	Значення рівня	Ступінь оцінювання
			поглинання води (X_3)	
Відмінної якості	BC	C	BC	D1
	BC	BC	BC	
Доброї якості	HC	HC	C	D2
	HC	HC	HC	
	HC	C	C	
	HC	C	HC	
	C	HC	C	
	C	C	C	
	C	BC	C	
Задовільненої якості	C	BC	HC	D3
	HC	H	H	
	HC	H	HC	
	HC	HC	HC	
	HC	HC	H	

Кожний з вказаних термів являє собою нечітку множину, яка задана за допомогою спеціальних функцій належності і може бути подана певним інтервалом, що має свої цифрові ступені від 0 до 1. Про абсолютну неналежність до множини свідчить 0, а про абсолютну належність – 1.

Для кожної з баз даних з метою формалізації показників визначаються відповідні функції належності. Тому логічні рівняння для оцінювання якості ікри будуть мати такий вигляд (24 – 26):

$$\mu^{d1}(X_1, X_2, X_3) = \mu^{BC}(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^{BC}(X_3) \vee \mu^{BC}(X_1) \cdot \mu^{BC}(X_2) \cdot \mu^{BC}(X_3); \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \mu^{d2}(X_1, X_2, X_3) = & \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^{HC}(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^{HC}(X_2) \cdot \mu^{BC}(X_3) \vee \\ & \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{HC}(X_3) \vee \mu^C(X_1) \cdot \mu^{HC}(x_2) \cdot \mu^C(X_3) \vee \\ & \vee \mu^C(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \vee \mu^C(X_1) \cdot \mu^{BC}(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \vee \mu^C(X_1) \cdot \mu^{BC}(X_2) \cdot \mu^{HC}(X_3); \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \mu^{d3}(X_1, X_2, X_3) = & \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^H(X_2) \cdot \mu^H(X_3) \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^H(X_2) \cdot \mu^{HC}(X_3) \vee \\ & \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^{HC}(X_2) \cdot \mu^{HC}(X_3) \vee \mu^{HC}(X_1) \cdot \mu^{HC}(x_2) \cdot \mu^H(X_3). \end{aligned} \quad (26)$$

Прийняття рішення про якість ікри осетрових риб можна провести за таким алгоритмом:

Крок 1: зафіксуємо значення факторів для конкретної ікри $x_n (n = \overline{1,4})$;

Крок 2: за формулами (24) – (26) визначимо значення функцій належності $\mu^i(x_n)$ при фіксованих значеннях факторів x_n ;

Крок 3: користуючись логічними рівняннями обчислимо функції належності $\mu^{d_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для усіх ступенів оцінювання d_n , $n = \overline{1,6}$. При цьому операції І (\cdot) та АБО (\vee) над функціями належності $\mu(a)$ та $\mu(b)$ замінюються на операції \min та \max

$$\mu(a) \cdot \mu(b) = \min[\mu(a), \mu(b)]; \quad \mu(a) \vee \mu(b) = \max[\mu(a), \mu(b)];$$

Крок 4: Визначається рішення d_0 , для якого

$$\mu^{d_0}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\mu^{d_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)]. \quad (27)$$

Цьому рішення і буде відповідати шуканий діапазон, який вказує на ступінь якості ікри осетрових риб.

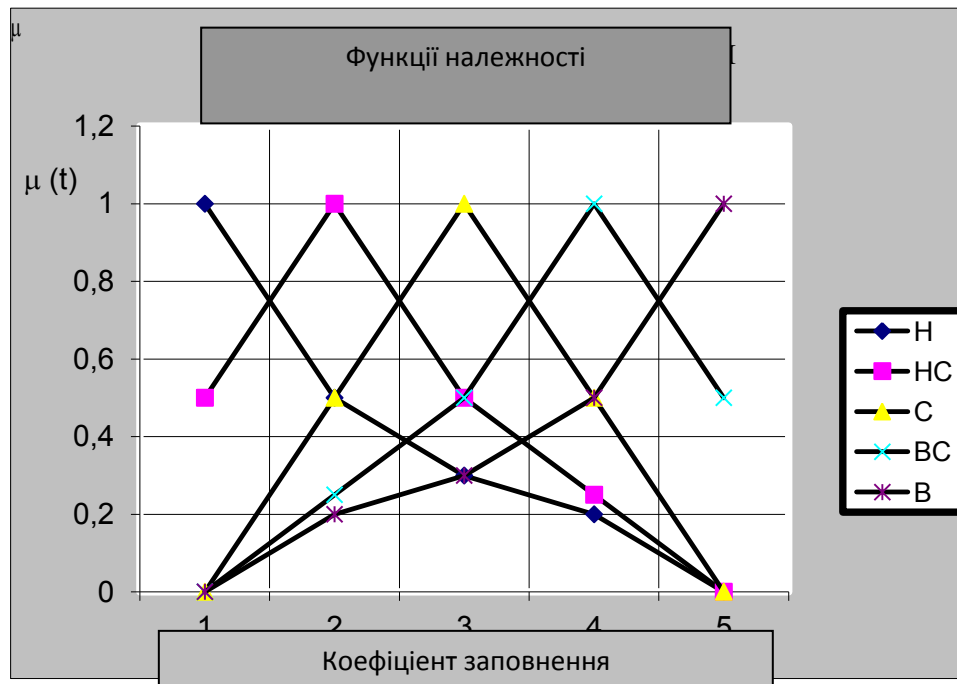


Рис. 18. Функції належності нечітких термів

У ході біологічних досліджень виникає задача налаштування нейронечіткої мережі (рис. 19). Для налаштування параметрів цієї мережі використовуються рекурентні співвідношення, запропоновані проф. Ротштейном О. П.

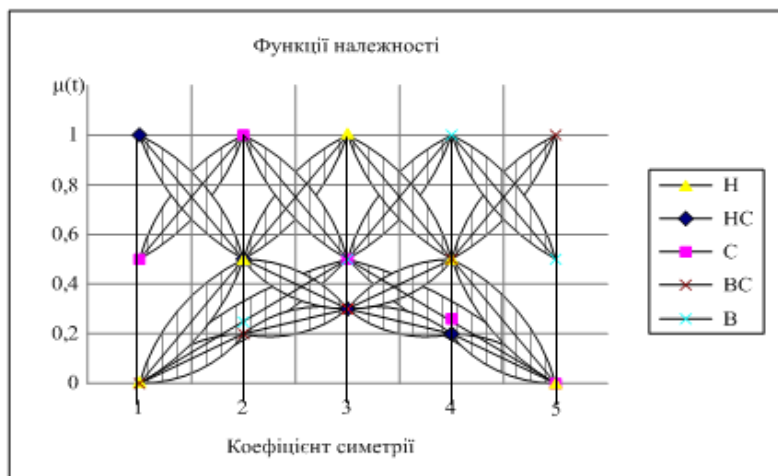


Рис. 19. Функції належності нечітких термів після процедури налаштування.

У шостому розділі наведено результати експериментальних досліджень, результати розробки системи вимірювання біохемілюмінесценції ікри осетрових при її обробці світлодіодним випромінюванням, а також результати виробничого дослідження.

Відповідно до мети експериментальних досліджень були визначені завдання експерименту та шляхи їх вирішення: експериментальна перевірка теоретичних даних і висновків; аналіз характеристик електронної системи для контролю і оцінки ступеня впливу світлодіодного випромінювання на репродуктивні властивості ікри за величиною її хемілюмінесценції; проведення багатофакторного експерименту по визначенню оптимальних параметрів світлодіодного випромінювання для обробки ікри осетрових риб; проведення виробничих випробувань з ікрою осетрових риб обробленою інформаційним світлодіодним випромінюванням.

В результаті теоретичного та експериментального дослідження був виготовлений дослідний зразок, загальний вигляд якого показаний на рис. 20.

Прилад працює в області спектральної чутливості (370 - 830) нм, має максимальну спектральної чутливістю в області (400 - 440) нм, проводить вимірювання інтенсивності біохемілюмінесценції в *imp/c*.



Рис. 20. Загальний вигляд установки для вимірювання біохемілюмінесценції ікри осетрових риб.

При необхідності передбачена система водяного охолодження ФЕП. Одним з найважливіших факторів надійної роботи фотоелектронного помножувача в заданому режимі є забезпечення його стабільним високовольтним джерелом живлення, а для функціонування всієї системи в цілому найважливішим є питання правильного узгодження вихідного опору ФЕП з підсилювальним і реєструючим блоками.

Для забезпечення стабільного живлення фотоелектронного помножувача було виготовлено високовольтне джерело живлення.

Для автоматичної реєстрації біохемілюмінесценції, обробки і документування даних вимірювання була побудована вимірювальна установка на базі персонального комп'ютера. Блок-схема вимірювальної установки приведена на рис. 21.

Для реєстрації хемілюмінесценції, як зазначалося в третьому розділі, застосовується фотоелектронний помножувач типу ФЕП-79, що перетворює світловий потік в електричні імпульси, число яких пропорційно числу квантів світла падаючих на фотокатод.

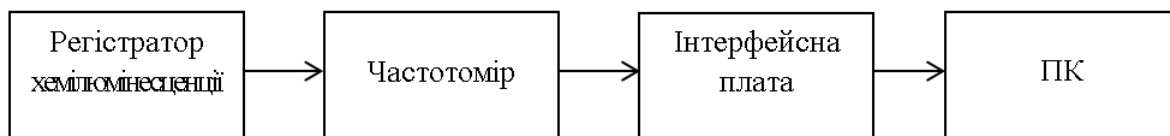


Рис. 21. Блок-схема вимірювальної установки.

Програма управління збором даних розроблена на мові Turbo Pascal і складається з двох основних частин: програми керування введенням даних та програми обробки введених даних.

Отже, в результаті досліджень була створена система контролю біохемілюмінесценції ікри риби в процесі її технологічної обробки світлодіодним опроміненням з наступними параметрами: 1). Область спектральної чутливості – 300-830 нм. 2). Область максимальної спектральної чутливості – 400 -440 нм. 3). Чутливість по зміні інтенсивності хемілюмінесценції біологічних об'єктів – 2 імп/с. 4). Основна відносна похибка – не більше 2%. 5). Інтенсивність хемілюмінесценції рослинного масла ГОСТ 8806-73 при температурі 20° С і вологості 60% - 120 імп/с. 6). Система вимірювання допускає безперервну роботу в робочих умовах протягом 8 годин при збереженні своїх технічних характеристик. 7). Система пов'язана з комп'ютером. Результати можуть бути оброблені за заданою програмою і роздруковані. 8). Маса установки - 5 кг.

Метою експерименту було уточнення оптимальних біотропних параметрів лазерного випромінювання на ікру осетрових риб, для підвищення її репродуктивності та якості. Для досвіду був використаний лазер «Ametict-FD-0,8» що перебудовується в широкому діапазоні для довжин хвиль 570-700 нм. Вихідна потужність випромінювання лазера складала 400-500 мВт при накачуванні 5 Вт. Для ікри була виготовлена циліндрична кювета з кварцового скла діаметром 44 мм. У кюветі містилися ікринки осетрових риб в кількості 110 шт. Фотоелектронний помножувач (ФЕП-79) розміщувався під дном кювети.

Вимірювання хемілюмінесценції опроміненої ікри проводили через дві доби.

Для визначення оптимальних параметрів лазерного випромінювання (частота, щільність потоку потужності і експозиція) був проведений багатофакторний експеримент, в якому в якості відгуку ікри осетрових риб на лазерний вплив було взято відношення хемілюмінесценції опроміненої ікри до неопроміненої (Додаток Д). Значення факторів, їх інтервали варіювання наведені в таблицях 4 та 5.

Таблиця 4. – Значення факторів в експерименті

Інтервал та рівень факторів	Довжина хвилі опромінення лазера, нм	Щільність потоку потужності, Вт/см ²	Експозиція, с
	X ₁	X ₂	X ₃

Нульовий рівень – $x_i = 0$	658	1,47	17
Інтервал варіювання - β	36	0,1	2
Верхній рівень – $x_i = +1$	694	1,57	19
Нижній рівень – $x_i = -1$	622	1,37	15

Таблиця 5. – Данні для побудови плану другого порядку

Число факторів, K	Число точок ядра	Число зіркових точок, N_α	Число нульових точок, N_0	Зіркові точки, α	Число дослідів, N
3	8	6	6	1,682	20

Для даної методики були складені матриці: планування експерименту, розрахунку коефіцієнтів регресії, визначення дисперсії адекватності та результатів обробки даних, які наведені в Додатку Д. Після проведення вимірювань та розрахунків отримано рівняння регресії, що пов'язане з хемілюмінесценцією ікри осетрових риб яку обробили лазерним випромінюванням

$$Y = 4,25 + 1,75X_1 + 1,01X_2 + 0,1X_3 + 2,1X_1X_2 + 2,8X_1X_3 + 1,1X_2X_3 + 2,1X_1^2 + 0,4X_2^2 + 1,7X_3^2; \quad (28)$$

де Y - відношення хемілюмінесценції опроміненої ікри до неопроміненої; X_1 - довжина хвилі лазерного випромінювання; X_2 - щільність потоку потужності лазерного випромінювання; X_3 - час опромінення ікри.

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії проводилася при рівні значущості $\alpha = 0,01$ за критерієм Стьюдента. Всі коефіцієнти в рівнянні 28 виявилися значущими.

Експеримент проводився у ПРАТ «Чернігіврибвод» із застосуванням апарата Вейса та фотонно-магнітних матриць «Барва», досліджувалась ікра білого амура.

Опис експерименту.

1. Ікра від самок Амура білого, запліднена *in vitro*, в рівних кількостях (по 70 г) містилася в п'ять апаратів Вейса (ємністю 10 л).

2. 4 апарати Вейса огортались алюмінієвою фольгою, що відбиває світло, на висоту 400 мм (рис.22). П'ятий апарат Вейса був контрольним і нічим не огортався.



Рис. 22 Підготовчий етап (обгортка фольгою апаратів Вейса та матриць).



Рис. 23. Зразок опромінювачів.

3. Матриці розміром 10x15 см також огортались фольгою.

4. Знизу циліндричної частини апарату Вейса у фользі вирізалось вікно розміром 10x15 см, в яке з зовнішнього боку апарату Вейса встановлювалися опромінювачі (фотонні матриці), що випромінюють в різних спектральних діапазонах (червона + інфрачервона - 630 нм + 940 нм, зелена + інфрачервона - 525 нм + 940 нм, синя + інфрачервона - 470 нм + 940 нм, поліхромна - 940 нм, 630 нм, 590 нм, 525 нм, 470 нм, 405 нм) Додаток Е. Зразок опромінювачів показано на рис. 23.

П'ятий апарат Вейса не обгортався фольгою та не опромінювався нічим. Інтегральна потужність випромінювання кожної матриці становила 120 мВт, що відповідало щільності потужності 6 мВт / см².

Повністю підготовлені апарати Вейса для експерименту показані на рис. 24.



5. Випромінювання в апараті Вейса тривало до появи предличинок. Ікра була закладена в апарати Вейса, температура проточної води в апаратах підтримувалася у межах 24⁰-25⁰С. Перші предличинки почали з'являтися через добу.

Рис. 24. Підготовлені та встановлені апарати Вейса для проведення експерименту.

Експеримент показав, що під дією випромінювання, особливо червоного діапазону спектра (рис. 25), розмір ікринок Амура білого виявився на 20% більше в порівнянні з ікринками, які неопромінені світлом, тобто контрольним зразком (рис. 26).



Рис. 25. Ікринки, що опромінені червоним світлом.



Рис. 26. Ікринки без опромінення в природних умовах.

Розроблені автором основні засади конструкторсько-технологічної оптимізації апарату Вейса, дозволяє значно підвищити продуктивність штучного відтворення цінних промислових видів риби. Зокрема застосування фотонного випромінювання ікринок риби надало збільшення розміру самих ікринок на 20% та збільшення виходу запліднених ікринок з 30% до 70%.

У **додатках** наведено опис алгоритмічно-програмного забезпечення, особливості моделювання автоматизованої системи замкнутого водопостачання для вирощування осетрових, вибір та обґрунтування світлодіодних випромінювачів і базових режимів опромінення та результати статичної обробки експериментів. Представлено акти впровадження результатів розробки та список опублікованих праць за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема, а саме підвищення продуктивності штучного розпліднення гідробіонтів за рахунок створення нової комплексної електромагнітної інформаційної технології, що пов'язана з використанням впливу низькоінтенсивного світлодіодного опромінення. Все це дозволяє вирішити одне з головних завдань яке спрямоване на забезпечення харчової безпеки нашої країни.

В результаті досліджень отримано нові наукові та практичні результати.

1. На підставі детального аналізу стану теоретичних основ існуючих систем і технологій для рибництва України, підтверджено актуальність

дисертаційного дослідження і необхідність створення нового класу ІТ – інформаційних низькоенергетичних світлодіодних технологій для впливу на гідробіонти, що досягнуто розробкою методу, моделей, принципів та автоматизованої системи управління електромагнітним світлодіодним опромінюванням ікри водних біоресурсів – як основи технології.

2. Вперше розроблено математичну модель взаємодії електромагнітного випромінювання вкрай високої частоти з ікрою осетрових видів риб. Виявлено принципи взаємодії даного випромінювання з внутрішнім середовищем клітини ікринки. На основі отриманої моделі одержані частотні, часові та потужнісні характеристики випромінювання що може використовуватись.

3. Дістало подальшого розвитку метод дослідження механізмів впливу електромагнітного і фотонного випромінювання на ікру осетрових і білого амура, які: виявили, що відмінність ефектів різних частот впливу визначається резонансом біосистеми з енергією впливу на неї; підтвердили неоднозначність твердження про швидку адаптацію до дії впливу і встановили залежність стимулюючого ефекту низькоінтенсивного випромінювання від поляризації, інтенсивності, часу і режимів випромінювання для осетрових і білого амура.

4. Розроблено математичну модель енерго-масоперенесення в біологічному організмі на основі функції ядра інтегральної імпульсної дельта-функції Дірака, яка представлена системою рівнянь, ліва частина яких описує процес конвекційно-кондуктивного перенесення з часом θ , а права – процес стоку результату реологічного перетворення з часом t , що виключає парадокс про безмежність швидкості перенесення при дослідженні реальних процесів енерго-масоперенесення в біооб'єкті.

5. Вперше розроблення структурно-функціональної організації підготовчого етапу низькоенергетичної світлодіодної технології дозволило виділити базові функціональні елементи технічної і біологічної складової і забезпечити, тим самим, встановлення і підтримку оптимальних температурного, кисневого, годувального і світлового режимів інкубаційного процесу.

6. Удосконалення підсистеми підтримки прийняття рішень в частині зміни структури і зв'язків шляхом підключення модулів конфігурування ППР, оцінки ефективності прийнятих рішень та їх корекції, автономної бази знань критеріїв оцінки рішень забезпечило отримання остаточного рекомендованого рішення щодо внесення змін до моделі та алгоритму управління інкубаційним процесом, що є зручним і комфортним для оператора техпроцесу.

7. Дослідження методу кластероутворення води підтвердили що вона є джерелом власного ЕМ випромінювання і складається з дипольної і кластерної складових, спектр яких застосовується в якості «зразкового» при підготовці води для її подачі в інкубаційний апарат Вейса, а параметри зовнішніх ЕМ впливів розраховуються з урахуванням зміни фази зовнішнього випромінювання на межі переходу «повітря-вода».

8. Визначення експериментальним шляхом критеріїв опромінення оборотної води, заплідненої ікри і вільних ембріонів в кольоровому діапазоні

випромінювання 630-680 нм при потужностях опромінення 1,5-2,0 мВт/см², які характеризуються: яскравістю і дозою опромінення, часом експозиції, площею і рівномірністю опромінення; плавними переходами від світла до темряви і навпаки, в т.ч. при зміні інтенсивності одного із кольорів або їх групи, дозволило оцінити реакцію гідробіонта і визначити фізіологічні, морфологічні і біофізичні зміни в його організмі.

9. Вперше розроблено низькоенергетичну світлодіодну технологію впливу на інкубацію ікри білого амура та осетра у вигляді логічної послідовності підготовчого та інкубаційного етапів, перший із яких представлено двокомпонентною структурою: технічною, що забезпечує, перш за все, параметричну і біологічну підготовку води для подачі в інкубаційні апарати Вейса і біологічною, безпосередньо пов'язаною із підготовкою ікри осетрових і білого амура та забезпеченням їх життєздатності для подачі в апарат Вейса, що у сукупності з іншими інформаційними атрибутами технології дозволяє стверджувати, що створено новий клас риборозплідних технологій – низькоенергетичні світлові технології управління інкубаційними процесами. Розроблена низькоенергетична світлодіодна технологія підвищила економічну ефективність інкубаційного процесу на 27%, та збільшила вихід запліднених ікринок з 30% до 70%.

10. Вперше для задач оцінювання якості ікри осетрових і білого амура на виході інкубаційного процесу розроблено математичну модель на основі апарату нечіткої логіки, яка використовує в якості вихідних термів та ознак розмір ікринок, усереднене значення відтінку градації сірого кольору і значення рівня поглинання води ікрою, що дозволило оцінювати якість ікри критеріями «низький», «нижче середнього», «середній», «вище середнього», високий за трьома категоріями «відмінної якості», «доброї якості», «задовільної якості». Сутність настроювання моделі полягає у підборі таких параметрів функцій належності ($b_i^{jp}(t), c_i^{jp}(t)$) та ваг нечітких правил ($w_{jp}(t)$), які забезпечують мінімум розходження між моделями та діагностичними результатами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тітова Н. В. Вирішення задачі про розсіювання пласкої хвилі на біологічному об'єкті // Інформаційні управляючі системи і технології. Т. II. : монографія. – Бердянськ : Видавець Ткачук О.В., 2015. – С. 256 (19 стор.)

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

2. Тітова Н.В. Класифікація первинних вимірювальних засобів біомедичних сигналів / С.М. Злепко, С.В. Костишин, Р.М. Вирозуб, Н.В. Тітова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 4. – С. 146-150.

Розробила класифікацію первинних вимірювальних перетворювачів і здавачів, застосування якої забезпечило їх ефективний вибір.

3. Тітова Н. В. Опыт использования фотонных технологий на эмбриональном этапе развития белого амура / Н. В. Тітова, А. Н. Коробов. //

Фотобиология и фотомедицина. – 2015. – № 1, 2. – Т. XII. – С. 49-53.

Запропонована концепція фотонної технології опромінення ембріонів білого амура та проведено експериментальні дослідження..

4. Тітова Н. В. Особенности подготовки воды для инкубационных аппаратов / С. М. Злепко, Н. В. Тітова, В. А. Новиков // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 2 (57). – С. 42–46.

За результатами експериментів довела, що вплив ІЧ випромінювання на воду викликає перегрупування кластерів та їх укрупнення, що позитивно впливає на стабільність структури води.

5. Тітова Н. В. Особливості впливу лазерного та оптичного випромінювання на гідробіоти / Н. В. Тітова, В. О. Новіков, М. В. Бачинський, С. М. Горбатюк // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 2 (57). – С. 82–86.

Дослідила проблему взаємодії лазерного та оптичного випромінювання з гідробіотами та визначила напрям досліджень по її вирішенню.

6. Тітова Н. В. Оптоелектронні засоби і пристрої для впливу на функціональний стан людини / М. В. Бачинський, Н. В. Тітова, С. В. Тимчик, А. Ю. Клапоущак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – № 2 (55). – С. 130-135.

Виконала аналіз та оцінку медико-технічних параметрів фотонних та магнітних матриць Коробова, що забезпечило їх адекватний вибір при лікуванні людей.

7. Тітова Н. В. Концептуальні основи побудови засобів і систем для низькоінтенсивної терапії / М. В. Бачинський, О. С. Коваленко, С. В. Тимчик, Н. В. Тітова // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 3. – С. 79-81.

Сформулювала принципи побудови і визначила вимоги до концепції проектування засобів і систем для світлової терапії.

8. Тітова Н. В. Механізм дії електромагнітного випромінювання на біооб'єкт, що знаходиться у водному середовищі / С. В. Павлов, А. Ю. Клапоущак, Н. В. Тітова, Д. М. Барановський // Фотобиология та фотомедицина. – 2016. – № 1, 2. – Т. XII. – С. 139-141.

Виконала моделювання динаміки фізіологічних параметрів тест-об'єктів при дії електромагнітного випромінювання.

9. Тітова Н. В. Алгоритмічно-програмне забезпечення технології управління інкубаційним процесом осетрових / Н.В. Тітова, С.В. Костішин, М.В. Московко//. – Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 204-207.

Здобувач розробила блок-схему узагальненого алгоритму роботи системи управління низькоенергетичною світлодіодною технологією інкубації ікри осетрових риб.

10. Тітова Н. В. Сучасні технології промислового рибоводства (за результатами аналізу літературних джерел) / Н. В. Тітова, С. В. Павлов, В. О. Новіков // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017.

– № 4 (63). – С. 121-125.

Здійснила узагальнення сучасного рівня розвитку промислового рибоводства, визначила напрями підвищення його ефективності.

11. Тітова Н. В. Принципи побудови автоматизованої системи управління інкубаційним процесом в рибоводстві / Н. В. Тітова, С. В. Павлов, С. М. Злепко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – № 1 (57). – С. 150-153.

Розробила концептуально-структурну організацію автоматизованої системи управління електромагнітним та фотонним випромінюванням.

12. Тітова Н. В. Методики розрахунку ефективності медичних інформаційних систем і технологій / С. В. Тимчик, Н. В. Тітова, В. Е. Кривонос та ін. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – № 1 (60). – С. 176-188.

Адаптувала стандартну методiku розрахунку показників економічної ефективності для оцінювання інформаційних систем і технологій.

13. Тітова Н. В. Низькоенергетична фотонна технологія керування інкубаційним процесом / Н. В. Тітова, С. В. Павлов, С. М. Злепко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 3 (249). – С. 130-136.

Здобувачка розробила підготовчий та інкубаційний етапи низькоенергетичної фотонної технології вирощування посадкового матеріалу осетрових риб та білого амура.

14. Тітова Н. В. Вибір та обґрунтування світлодіодних випромінювачів і базових режимів опромінення / Л. Г. Коваль, М. В. Бачинський, Н. В. Тітова // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 4 (251). – С. 193-200.

Сформувала і визначила критерії вибору світлодіодів для випромінювачів, які повинні випромінювати немонохроматичне або некогерентне, дифузне або змішане світло і характеризуватися потужністю і дозою, частотою і часом експозиції.

15. Titova N. V. Development of the supporting subsystem of decision-making for the low-energy photon technology of incubation process management / N. V. Titova // The Scientific Heritage. Technical Sciences. – 2017. – No 13. – Budapest, 2017. – P. 63-67.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

16. Тітова Н.В. Оцінювання якості ікри осетрових і білого амура на основі інформаційних і математичних моделей нечітких множин / Н. В. Тітова, С. В. Павлов, С. М. Злепко, Е. Л. Піротті // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 5 (265). – С. 146-153.

Здобувач розробила критерії оцінювання якості ікри промислових видів риб та розробила інформаційне та програмне забезпечення для реалізації нечітких моделей оцінювання.

17. Titova Natalia. The effect of electromagnetic radiation of wireless

connections on morphology of amniotic fluid / Vsevolod Novikov, Natalia Titova, Olexand Azarhov et al. // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016 : Proc. SPIE 10031. – Wilga, Poland, 2016. – Access mode : <https://doi.org/10.1117/12.2249320>.

Здобувачем визначені параметри електромагнітного випромінювання та критерії оцінювання результатів впливу.

18. Titova Natalia. Physical-mathematical model of optical radiation interaction with biological tissues / T. I. Kozlovska, P. F. Kolisnik, S. M. Zlepko, N. V. Titova, V. S. Pavlov, W. Wójcik, Z. Omiotek, M. Kozhambardiyeva, A. Zhanpeisova // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017 : Proc. SPIE 10445. – Wilga, Poland, 2017. – Access mode : <https://doi.org/10.1117/12.2280928>.

Здобувачем проведений параметричний аналіз математичної моделі взаємодії оптичного випромінювання з біологічними об'єктами.

19. Titova Natalia. On the possibility of the patient's skin overheating during low-intensive phototherapy / M. G. Kolodii, A. M. Korobov, V. A. Timaniyk, N. V. Titova, A. Burlibay, Z. Omiotek, M. Szatkowska, S. Luganskaya // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017 : Proc. SPIE 10445. – Wilga, Poland, 2017. – Access mode : <https://doi.org/10.1117/12.2280961>.

Здобувачем визначені параметри низькоінтенсивного фототерапевтичного опромінення.

20. Titova N. Principles of construction of the measuring system chemiluminescence of sturgeon / N. Titova // The scientific heritage. Technical sciences. – No 29(P.1).- Budapest, 2018.-P.58-61.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

21. Titova N. Specialized machine-module support for information technology for artificial reproduction of hydrobionts / N. Titova, E. Pirotti // Slovak international scientific journal. Computer sciences. – No 23 (V.1).- Bratislava, 2018.-P.4-10.

Здобувачем визначені ключові канали апаратно-модульного спеціалізованого забезпечення інформаційної технології, а також запропонувала блок-схему загального алгоритму роботи системи.

22. Titova N. Numerical analysis of the distribution of electromagnetic fields inside fish eggs / N. Titova, E. Pirotti // The scientific heritage. Technical sciences. – No 30 (P.1).- Budapest, 2018.-P.48-52.

Здобувач запропонувала виявляти залежність електричного та магнітного полів з урахуванням радіусу ікринки.

23. Titova N. Substantiation of the possibility of increasing reproduction by irradiating caviar with electromagnetic fields / N. Titova, E. Pirotti // Slovak international scientific journal. Computer sciences. – No 24 (V.1).- Bratislava, 2018.-P.4-7.

Здобувач запропонувала дослідити вплив надвисокочастотного електромагнітного поля на клітинному рівні для підвищення репродуктивної здатності гідробіонтів.

24. Патент 121436 UA, МПК А01К 61/10, А01К 61/17. Пристрій для керування інкубаційним процесом в рибоводстві / С. М. Злепко, Н. В. Тітова, К. С. Навроцька, С. В. Костішин, С. В. Павлов (Україна). – № u201704746 ; заявл. 17.05.2017 ; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23. – 5 с. : кресл.

Здобувач запропонувала модифіковану колбу Вейса з екраном і світловими RGB-стрічками.

25. Тітова Н. В. Теоретичне обґрунтування підвищення продуктивності рибного господарства за рахунок електромагнітних методів впливу / Н. В. Тітова // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Моделі збалансованого розвитку соціально-економічних систем: економіко-правові, соціально-політичні, історичні та філософські аспекти». – Донецьк : Донбас, 2012. – С. 131-132.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

26 Тітова Н. В. Расчет внутренних электромагнитных полей СВЧ диапазона внутри икринок рыб / Н. В. Тітова // II Международная научно-практическая конференция «Техника и технологии: инновации и качество», 24-25 октября 2013 г., Барановичи, Республика Беларусь. – Барановичи, 2013. – С 37.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

27. Тітова Н. В. Аналіз інформаційних процесів у біологічних об'єктах під впливом зовнішніх електромагнітних полів / Н. В. Тітова // Проблеми інформатизації : матеріали 4-ї міжнародної науково-технічної конференції, 9-10 квітня 2015 р., м. Київ, Державний університет телекомунікацій, - К., 2015. – С. 79.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

28. Тітова Н. В. Основы низкоэнергетических электромагнитных технологий, повышающих продуктивность рыбного хозяйства / Е. Л. Пиротти, Н. В. Тітова // Энергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України : матеріали VI міжнар. Наук.-тех. Конференції, 10-14 червня 2015 р., м. Мелітополь, Таврійський державний агротехнічний університет. – Мелітополь, 2015. – С. 23.

Обґрунтувала технічне та інформаційне забезпечення низькоенергетичних електромагнітних технологій для рибного господарства.

29. Тітова Н. В. Информационно-резонансное воздействия на биологические объекты источников электромагнитного излучения / Н. В. Тітова // Сучасні метода, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : II Міжнародна науково-технічна Internet-конференція, 25 листопада 2015 р., м. Київ, Національний університет харчових технологій. – С. 225.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

30. Тітова Н. В. Інформаційний вплив магнітних полів на біологічні об'єкти / Н. В. Тітова // Проблеми інформатизації : матеріали 5-ї міжнародної науково-технічної конференції, листопад 2015 р., м. Київ, Державний університет телекомунікацій. – К., 2015. – С. 89.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

31. Титова Н. В. Вплив режимів освітлення на розвиток личинок риб / Н.В. Титова, С.В. Павлов, С.М. Злепко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції, 10–15 червня 2016 р., м. Одеса. – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2016. – С. 145.

Здобувач запропонувала в режимі освітлення ікри «день-ніч» замінити стрибкоподібний перехід на плавний в обох напрямках.

32. Титова Н. В. Влияние света на биологические объекты (на примере развития гидробинтов) / Н. В. Титова, С. В. Павлов, С. М. Злепко // XLV МНПК «Применение лазеров в медицине и биологии», 6-8 октября 2016 года, Харьков-Буковель. – С.104-105.

Здобувач визначила параметри світлового опромінення гідробіонтів та критерії впливу на них.

33. Титова Н. В. Свет и его влияние на репродуктивную систему лососевых видов рыб / Н. В. Титова, С. В. Павлов, С. М. Злепко // XLV МНПК Применение лазеров в медицине. 6-8 октября 2016 г. Харьков-Буковель. – С.105-106.

Здобувачем визначені параметри світлового опромінення лососевих видів риб та критерії впливу на них.

34. Тітова Н. В. Тенденції розвитку медичних мобільних додатків в Україні / С. М. Злепко, С. В. Костішин, Н. В. Титова, Д. М. Барановський // Проблеми інформатики та моделювання : матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 12–16 вересня 2016 р. – Одеса–Харків : НТУ ХПІ, 2016. – С. 36.

Здобувач запропонувала необхідність створення багатопараметричних мобільних систем моніторингу життєдіяльності.

35. Тітова Н. В. Моделювання термодинамічних методів у біологічних об'єктах для репродукції рибної галузі [Електронний ресурс] / С. М. Злепко, Н. В. Тітова, Й. І. Стенцель // XLVI Науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, 22-24 березня 2017 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzip/all-frtzip-2017/paper/view/2967>.

Здобувач розробила математичні моделі розподілу температурного поля в біологічному об'єкті за часом та координатою, що описують процес перенесення теплової енергії через зону реологічного переходу.

36. Тітова Н. В. Низькоенергетична світлодіодна технологія впливу на репродуктивні системи об'єктів рибного господарства / Н. В. Тітова, С. В. Павлов, С. М. Злепко, С. В. Костішин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XVII міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 8–13 червня 2017 р. – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2017. – С. 119.

Здобувач експериментальним шляхом визначила критерії опромінення оборотної води, заплідненої ікри і вільних ембріонів в кольоровому діапазоні

випромінювання.

37. Тітова Н.В. Канал подачі і підігріву води для технології управління інкубаційним процесом в рибоводстві / С. В. Павлов, Н. В. Тітова, В. О. Гомолінський // Сучасні проблеми радіоелектроніки, приладобудування та телекомунікацій: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 28-30 вересня 2017 р. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – С. 112-113.

Здобувач провела експериментальні дослідження та інтерпретувала результати.

38. Тітова Н. В. Моделювання термодинамічних методів у біологічних об'єктах для репродукції у рибній галузі / Н.В. Тітова, Й.І. Стенцель, С.В. Павлов, С.М. Злепко // Застосування лазерів у медицині та біології : матеріали XLVI міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків, 25-27 травня 2017 р. – Харків: ФОП Петров В. – С. 137-139.

Здобувач розробила математичні моделі перенесення і розподілу температурного поля в біологічному об'єкті, що доповнюють опис процесів розвитку ікри в процесі риборозведення.

39. Тітова Н. В. Мультиспектральная лечебно-диагностическая установка для фотодинамической терапии опухолей. /В.С. Войцехович, С.В. Павлов, Н.Т. Петраш, Ю.А. Петрушко, Н. В. Тітова, В.В. Холин, О.Н. Чепурна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 8–13 червня 2018 р. – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2018. – С. 135-138.

Здобувачем визначено концептуальну основу побудови установки.

40. Тітова Н. В. Система керування мікрокліматом колби Вейса [Електронний ресурс] / Н. В. Тітова, С. В. Костішин, Д. Х. Штофель, Ю. М. Назаренко // Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : II Всеукраїнська науково-технічна конференція, 19-21 квітня 2018 р. – Краматорськ, 2018. – 4 с. – Режим доступу: <http://dspace.dgma.donetsk.ua: 8080/jspui/handle/DSEA/317>.

Здобувач розробила критерії, параметри та інформаційне забезпечення системи керування мікрокліматом колби Вейса для задач риборозведення.

41. Тітова Н.В. Створення та випробування біооб'єктів на принципах фотонних технологій / Н. В. Тітова // II науково-практична конференція «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи». Державне космічне агентство України. Тези доповідей, м. Київ, 4 жовтня 2018 р. – С. 76.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

42. Тітова Н. В. Застосування електромагнітної інформаційної технології на біологічних об'єктах / Н. В. Тітова // Проблеми інформатизації : тези доповідей 12-ї міжнародної науково-технічної конференції, 12-13 грудня 2018 р., м. Київ, Державний університет телекомунікацій, - К., 2018. – С. 20.

Здобувачем всі результати отримано самостійно.

АНОТАЦІЇ

Тітова Н.В. Електромагнітна інформаційна технологія підвищення репродуктивної здатності осетрових при їх промислового відтворенні. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2019.

Розв'язано комплекс задач, які вирішили науково-прикладну проблему створення нової комплексної технології підвищення продуктивності штучного відтворення гідробіонтів на основі розроблення методів, моделей та технічних рішень пов'язаних з використанням впливу низькоінтенсивного світлодіодного опромінення на рибоводно-біологічні та господарсько-корисні якості посадкового матеріалу.

На підставі детального аналізу стану джерел з досліджуваної проблеми розглянуто особливості розвитку осетрових, вплив природних і штучних факторів на процес вирощування, проаналізовано методи підвищення продуктивності існуючих риборозплідних комплексів. Здійснено математичне моделювання взаємодії надвисокочастотного електромагнітного випромінювання з ікрою риби, розроблено математичну модель розсіяння плоскої хвилі на сферичній ікринці та наведено чисельний аналіз розподілу електромагнітних полів всередині ікринки. Розроблено принципи побудови системи вимірювання хемілюмінесценції ікри, проведено аналіз пристроїв, обґрунтування функціональної схеми для вимірювання та вибору фотоприймача. Досліджена концептуальна термодинамічна модель перенесення теплової енергії через зону реологічних переходів у біооб'єктів, та розроблені фізичні і математичні моделі перетворення теплової енергії в сукупність станів біооб'єкта, також обґрунтовано вибір базового апарата для інкубації ікри осетрових та створено елементну базу і базові режими опромінення для риборозплідних технологій. Розроблена структурно-функціональна організація низькоінтенсивної світлодіодної технології, її апаратно-модульне та алгоритмічно-програмне забезпечення, розроблена методика визначення якості ікри за допомогою теорії нечітких множин. Представлені результати виробничих та лабораторних досліджень.

Ключові слова: біооб'єкт, гідробіонт, інкубаційні апарати, підвищення репродуктивності, електромагнітне випромінювання, світлодіодна технологія, біохемілюмінесценція, фотоприймач, термодинамічна модель перенесення теплової енергії, підсистема підтримки прийняття рішень.

Титова Н.В. Электромагнитная информационная технология повышения репродуктивной способности осетровых при их промышленном воспроизводстве. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.17 - биологические и медицинские приборы и системы. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства

имени Петра Василенко, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблеме создания новой комплексной технологии повышения производительности искусственного воспроизводства гидробионтов на основе разработки методов, моделей и технических решений связанных с использованием влияния низкоинтенсивного светодиодного облучения на рыбоводно-биологические и хозяйственно-полезные качества посадочного материала.

На основании детального анализа состояния источников по исследуемой проблеме рассмотрены особенности развития осетровых, влияние природных и искусственных факторов на процесс выращивания, проанализированы методы повышения производительности существующих рыборазводных комплексов. Проведено математическое моделирование взаимодействия СВЧ электромагнитного излучения с икрой рыбы, разработана математическая модель рассеяния плоской волны на сферической икринке и приведен численный анализ распределения электромагнитных полей внутри икринки. Разработаны принципы построения системы измерения хемилюминесценции икры, проведен анализ устройств, обоснование функциональной схемы для измерения и выбора фотоприемника. Исследована концептуальная термодинамическая модель переноса тепловой энергии через зону реологических переходов в биообъектах, и разработаны физические и математические модели преобразования тепловой энергии в совокупность состояний биообъекта, также обоснован выбор базового аппарата для инкубации икры осетровых и создана элементная база и базовые режимы облучения для рыборазводных технологий. Разработана структурно-функциональная организация низкоинтенсивной светодиодной технологии, ее аппаратно-модульное и алгоритмически-программное обеспечение, разработана методика определения качества икры с помощью теории нечетких множеств. Представлены результаты производственных и лабораторных исследований.

Ключевые слова: биообъект, гидробионт, инкубационные аппараты, повышение репродуктивности, электромагнитное излучение, светодиодная технология, биохемилюминесценция, фотоприемник, термодинамическая модель переноса тепловой энергии, подсистема поддержки принятия решений.

Titova N.V. Electromagnetic information technology for increasing the reproductive capacity of sturgeons in their industrial reproduction. - On the rights of the manuscript.

The Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.11.17 - biological and medical devices and systems. - Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Kharkiv, 2019.

The Dissertation dedicated to solution of the scientific and applied problem the creation of a new complex technology for increasing the productivity of artificial reproduction of hydrobionts on the basis of methods, models and technical solutions

development related to the use of low-intensity LED radiation exposure to fish-biological and economically-useful quality of planting material.

Based on the detailed analysis of the sources of the problem, the peculiarities of sturgeon development, the influence of natural and artificial factors on the process of cultivation, and the methods of increasing the existing fish-breeding complexes productivity are analyzed. A mathematical modeling of the ultrahigh-frequency electromagnetic radiation interaction with fish caviar was made, a mathematical model of scattering of a plane wave on a spherical cell and a numerical analysis of the distribution of electromagnetic fields within the egg have been developed. The principles of the measurement system construction of eggs chemiluminescence have been developed, the device analysis has been carried out, and the functional scheme for measuring and selecting the photodetector has been substantiated. The conceptual thermodynamic model of thermal energy transfer through the zone of rheological transitions in bioobjects was investigated, and physical and mathematical models of transformation of thermal energy into a set of states of a bioobject were developed, also the choice of the basic apparatus for sturgeon caviar incubation was established, and an element base and basic radiation regimes were created for fish breeding technology. The structural-functional organization of low-intensity LED technology, its hardware-modular and algorithmic software was developed, the method of determining the quality of eggs by fuzzy set theory was developed. The results of industrial and laboratory studies are presented.

Key words: bioobject, hydrobiont, incubation apparatus, increase of reproductivity, electromagnetic radiation, LED technology, biochemiluminescence, photodetector, thermodynamic model of thermal energy transfer, subsystem of decision making support

Підписано до друку 18.03.2019 р. Формат 60 x 90 1/16.
Папір офсетний. Умовн.друк.арк. 1,9.
Друк на різнографі. Тираж 100 прим. Зам. № 2303/03

Надруковано ФОП Гузік О.М.
Податковий номер № 2705814113
м. Київ, вул. Б. Гаврилишина, 16
Тел.: 338-16-61