

проведение экспресс-метрии ряда и других примесей в жидких средах, а также создает возможность изготовления датчиков для фармацевтической промышленности, систем контроля переливания крови и для других технологических процессов.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ МЕТОДІВ У БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТАХ ДЛЯ РЕПРОДУКЦІЇ У РИБНІЙ ГАЛУЗІ

Тітова Н.В., Стенцель Й.І., Павлов С.В., Злепко С.М.

Вінницький національний технічний університет;  
Східно-Український національний університет імені В.Даля

**Вступ.** З погіршенням екологічних умов, яке негативно відбилося на ставковому фонді, проблема виробництва репродуктивного матеріалу для подальшого вирощування товарної риби стала особливо гострою. До того ж ставкове вирощування риби, яке цілком залежить від температурних умов, вже не може забезпечувати сучасну рибогосподарську галузь повноцінним репродуктивним матеріалом.

Характерною особливістю біологічних об'єктів (організмів) є наявність температурного поля, стабільного для нормального їх стану. Наприклад, для людини за нормальну приймається температура тіла 36,6°C; для інших біологічних об'єктів вона може бути різною [1]. Риби відносяться до тварин зі змінною температурою тіла (зазвичай говорять «холоднокровні»); їх температура тіла приблизно дорівнює температурі води.

Будь-які відхилення від нормальної температури біологічних об'єктів є ознакою порушення роботи того чи іншого органу або біологічної системи. Біологічним об'єктам притаманне температурне просторове поле (температурна аура), яке жорстко пов'язане зі зовнішнім температурним полем середовища, у нашому випадку – водного. Теплова енергія, яка створюється в біологічних об'єктах, постійно виводиться (стікає) з них за рахунок перенесення тепла у навколишнє середовище, яке приймається нескінченним.

При відхиленні біологічного об'єкта від нормального стану підвищується чи знижується його температура, яку можна контролювати термометром. Але ця температура є деяким усередненим діагностичним показником роботи біологічного об'єкта. Швидкість обміну речовин у рибі залежить від температури: чим вона вища, тим інтенсивніше обмінні процеси. А, значить, коротшає тривалість життя – риба якби швидше його проживає.

Зміна температурного поля біологічного об'єкта тісно пов'язана з масообмінними та біохімічними процесами, які в ньому протікають, і характеризуються багатьма фізико-хімічними параметрами [2]. Окрім того, при відхиленні біологічного об'єкта від норми виникають термодинамічні процеси, котрі характеризуються швидкістю перенесення теплової енергії від того чи іншого органу, відхилившогося від норми. Останнє проявляється зміною

не тільки локального температурного поля, але й масообмінних та біохімічних процесів.

Температура води протягом усього періоду інкубації ікри риби повинна бути досить постійною (для ікри струмкової форелі – близько 2-4°C, райдужної – близько 9-10°C). При значному підвищенні температури води вживають заходів по охолодженню останньої. При температурах вище зазначених інкубація проходить швидше, але личинки викльовуються недорозвиненими, менш життєздатними, що призводить до великих відходів [3].

Так як зміна температури є рушійною силою, то для біологічних об'єктів вона приводить, насамперед, до зміни швидкості масоперенесення та біохімічних процесів в об'єкті.

**Метод.** Процеси передачі тепла та речовин у біологічному об'єкті є подібними. Передачі тепла молекулярною теплопровідністю відповідає молекулярна дифузія, передачі тепла конвекцією – конвекційна дифузія. Всі теоретичні та експериментальні результати, які отримані при дослідженні процесів теплопередачі [4, 5], можуть бути безпосередньо використані при описі процесів дифузії у біологічному об'єкті (організмі). Експериментальне вивчення перенесення тепла ускладнюється необхідністю виконувати вимірювання в біологічному об'єкті 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 [5]:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T \equiv -\lambda \frac{dT}{dy}, \quad (1)$$

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

При стаціонарному режимі біологічного об'єкта продукти біохімічної реакції розповсюджуються з постійною швидкістю  $v_0$ . Для такого режиму теплоперенесення описується рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} - c_p \rho v_0 \frac{\partial T}{\partial \delta} + Q_z \exp(-E / RT_D) = 0, \quad (2)$$

де  $x$  – напрямок розповсюдження теплової енергії.

Час перенесення теплової енергії від однієї ділянки до іншої (час стоку)  $\Delta t_i = \theta_i - \theta_{i-1}$ . При  $\Delta t_i \rightarrow 0$  можемо записати [5], що

$$\tau_N \frac{dT_x}{dt} = k T_d(x, \theta), \quad (3)$$

де  $\tau_C = \Pi L/a$  - стала часу стоку теплової енергії;  $\Pi$  - периметр тіла;  $k$  - коефіцієнт передачі теплової енергії.

**Експериментальні результати.** Тривалість інкубаційного періоду риб напряму залежить від температури води. Якщо взяти за приклад ікру форелей, то викльов при температурі нижче 4°C можливий тільки з великими втратами. В природних умовах, якщо температура води стає нижче 2°C, то розвиток ембріонів взагалі припиняється. В табл. 1 наведено тривалість інкубаційного періоду для ікри форелей в різних температурних умовах.

Таблиця 1

**Тривалість інкубації ікри форелей в умовах різної температури води [3]**

Температура води, °C	Озерна форель		Райдужна форель		Річний голец	
	Доби	Градусодні	Доби	Градусодні	Доби	Градусодні
6	77	462	55	330	80	480
8	61	488	43	344	62	496
10	41	410	31	310	40	400
12	27	324	26	312	38	456

**Висновки.** Розглянуті теоретичні основи процесів моделювання теплоперенесення у біологічних об'єктах при різних зовнішніх умовах. Надані математичні рівняння дозволяють розглянути характер зв'язків між тривалістю інкубаційного періоду і температурою. Знання подібних залежностей необхідно при вирішенні питань продуктивності популяцій і динаміки чисельності у рибній галузі.

**Література**

1. Пропедевтика внутренних болезней / Под ред. В.Х.Василенко, А.Л.Гребенева, Н.Д.Михайловой. – М.: Медицина, 1974. – 528 с.
2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 502 с.
3. Хойчи Д. Руководство по искусственному воспроизводству форели в малых объемах / Д.Хойчи, А.Войнарович, Т.Мот-Поульсен.– Будапешт: ФАО, 2012. – 24 с.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Машгиз, 1962. – 368 с.
5. Стенцель Й.І. Фізичне та математичне моделювання термодинамічних методів діагностики стану здоров'я людини / Й.І.Стенцель, С.М.Злепко, С.В.Павлов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця, 2013. – С.66-72.