

## **ЕНТРОПІЯ ТА БІОЛОГІЧНЕ СТАРІННЯ: ФІЗИКО-БІОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ДЕГРАДАЦІЇ СИСТЕМИ**

**Ліпартія Д. Н., Сичик М. М.**

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

Біологічне старіння, або сенесценція – це поступове погіршення функцій організму, що підвищує його вразливість до хвороб і зрештою призводить до смерті. На відміну від хронологічного віку, біологічний відображає реальний стан організму, визначений генетичними, метаболічними й екологічними чинниками. Старіння – не просто результат плину часу, а складний багатофакторний процес [1].

Організми як відкриті термодинамічні системи підтримують впорядкованість за рахунок обміну енергією з довкіллям. Однак другий закон термодинаміки передбачає неминуче зростання ентропії – неупорядкованості. З віком ефективність механізмів, що протидіють цьому, знижується, що веде до структурної й функціональної деградації. [2]

Ентропія в біології описує втрату енергетичного та структурного порядку, тому старіння можна розглядати як зростання безладу в системі. У складних біосистемах навіть незначні молекулярні зрушення можуть мати масштабні наслідки. [3]

На молекулярному рівні старіння проявляється в накопиченні ушкоджень ДНК, білків і ліпідів, окислювальному стресі та зниженні ефективності відновлення. Активні форми кисню пошкоджують клітинні структури, а зниження здатності до самовідновлення сприяє розвитку вікових хвороб.

Зміни охоплюють усі рівні: клітини деформуються, порушується компартменталізація, спостерігаються епігенетичні зсуви (наприклад, хаотичне метилювання ДНК). Тканини втрачають еластичність і архітектуру, що веде до функціонального занепаду.

Ключові процеси – синтез білків, репарація, аутофагія, регенерація – з віком сповільнюються. Стовбурові клітини втрачають здатність до оновлення, мітохондріальний енергетичний обмін слабшає, спричиняючи зростання ентропії в клітинах.

Отже, старіння – це втрата балансу між впорядкованістю та енергетичним розсіюванням. Ентропія є не лише наслідком, а й рушієм деградації. Цей підхід, підтверджений епігенетичними та термодинамічними дослідженнями, відкриває перспективи для уповільнення старіння шляхом стримування ентропійних змін.

### **Література:**

1. Mathur A., Taurin S., Alshammary S. New insights into methods to measure biological age: a literature review. *Frontiers in Aging*. 2024. Т. 5.
2. Popovic M. Thermodynamic mechanism of life and aging. arXiv.org.
3. Yi-Fang Chang. Entropy change in biological thermodynamics. *International journal of research studies in biosciences (IJRSB)*. 2018. Т. 6, № 6. С. 5–12.