

**Мельник В. М.**

д.т.н., професор

**Косова В. П.**

асистент

**Остапенко Ж. І.**

асистент

**Швиденко В. В.**

студент

**Національний технічний  
університет України  
"Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря  
Сікорського"**

**Melnik V.**Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor**Kosova V.**

assistant

**Ostapenko Zh.**

assistant

**Shvydenko V.**

student

**National Technical  
University of Ukraine "Igor  
Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute"**

**УДК 681.513****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-1-5**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА М'ЯСНУ СИРОВИНУ**

Об'єктом дослідження є вплив ультразвуку на м'ясну сировину. Одним із перспективних напрямків удосконалення та інтенсифікації технологічних процесів виробництва їжі є застосування ультразвуку. Сучасні дослідження показують, що ультразвукові технології можуть відігравати важливу роль на всіх стадіях життєвого циклу харчової продукції. Ультразвук в залежності від режиму ультразвукової обробки, ступеня перенасичення розчину, температурного чинника і т.д. може значно прискорити процес денатурації органічних з'єднань. Діапазон застосування ультразвуку в процесі виробництва м'ясопродуктів промисловим способом на сьогодні є доволі широким і включає: прискорення дозрівання м'ясної сировини, тендеризацію м'яса, його посол, теплову обробку. Сутність процесу тендеризації м'яса за допомогою ультразвуку полягає в застосуванні ультразвукових коливань з метою руйнування сполучних тканин м'яса, внаслідок чого збільшується його ніжність незалежно від процесу дозрівання м'яса, від його вигляду, або умов обробки. Часткове руйнування та пом'якшення тканинних структур дає можливість поліпшити консистенцію, соковитість, збільшити проникність речовин соління та прискорити ферментативні процеси. За основну ціль досліджень взято визначення впливу ультразвукової обробки на показники якості і безпеки м'ясних напівфабрикатів у процесі технологічної обробки. Інновацією роботи є модернізація стадії приготування м'ясної сировини за рахунок впровадження проточного ультразвукового процесора у варильний апарат. Під час термічної обробки діє випромінювання ультразвуку, що покращує якість шоттового продукту та зменшить час приготування. Прискорення приготування здійснюється за рахунок розривів волокон на клітинному рівні.

В ході роботи було проведено експериментальне дослідження впливу ультразвуку на м'ясну сировину. За результатами експерименту було проведено мікроскопічний аналіз структури білка після впливу ультразвуку. Отримано експериментальний результат, який підтверджує позитивний вплив ультразвуку на м'ясну сировину. Методика, що використовувалась в дослідженні, може бути застосована при дослідженні впливу ультразвуку на інші матеріали.

**Ключові слова:** ультразвукова обробка, кавітація, м'ясна сировина та продукти, інактивація мікроорганізмів.

**Вступ.** Застосування ультразвуку в харчовій, у тому числі м'ясній, промисловості дозволяє суттєво прискорити ряд технологічних процесів, такі як емульгування; фільтрація (порушення прикордонного шару); зміна в'язкості; екструзія (механічні вібрації, зниження тертя); ферментна та мікробна інактивація (висока швидкість зсуву, пряме пошкодження мембрани

мікробної клітини; ферментація (прискорення ферментних процесів); масо- та теплопередачі та ін., а також збільшити коефіцієнт використання сировини, підвищити якість та безпеку продукції.

При проходженні ультразвуку в біологічних об'єктах, до яких відноситься і м'ясо, частинки середовища здійснюють інтенсивні коливальні рухи з великими прискореннями, причому на



відстанях, рівних половині довжини звукової хвилі, в оброблюваному об'єкті можуть виникати різниці тисків від одиниць до десятків атмосфер. Такий інтенсивний вплив на структуру біологічних об'єктів призводить до різних ефектів, фізична природа якого пов'язана з дією факторів, супутнього поширення ультразвуку в середовищі: механічного, теплового, фізико-хімічного [1]. Практичне застосування ультразвуку (УЗ) у м'ясній галузі розвивається в наступних напрямках:

1. Застосування хвиль малої інтенсивності (низько-енергетичні коливання, що не призводять до необоротності змін у матеріалах і тілах, через які вони поширюються) для неінвазивного (неруйнівного контролю), вимірювання, досліджень внутрішньої структури сировини та продуктів.

2. Інактивація мікроорганізмів, що сприяє збільшенню тривалості зберігання.

3. Удосконалення та інтенсифікація технологічних процесів (дозрівання, тендеризація, поліпшення функціональних властивостей емульгованих продуктів та ін.). Ультразвук використовується як неруйнівний метод для оцінки: площі м'язового вічка, товщини шпигу, вміст внутрішньо м'язового жиру в м'ясі, прогнозування вмісту жиру та солі в м'ясних продуктах, також досліджувалася можливість використання УЗ для визначення дати забою худоби [2, 3].

**Аналіз літературних джерел та постановка дослідження.** Розрив клітинних мембран і порушення механічної цілісності клітин, а також пошкодження ДНК — найбільш очевидний із можливих наслідків ультразвукового впливу на мікроорганізми, що викликає їхню загибель [4]. Механізм бактерицидної дії ультразвуку на мікроорганізми пояснюється двома теоріями: кавітаційно-механічної та кавітаційно-електрохімічної. Згідно з першою теорією вважають, що ультразвукові хвилі, поширюючись в пружному середовищі, викликають у ній попереминні стискування та розрядження. В клітці створюються величезні тиски, які досягають десятків МПа, що викликає механічне руйнування цитоплазматичних структур і загибель клітини. Кавітаційно-електрохімічна теорія пояснює іонізацію парів рідин і, присутніх у ній, газів при утворенні кавітаційного міхура. При розриві бульбашки відбувається електричний розряд, що супроводжується різким підвищенням температури та утворенням у кавітаційній порожнині електричного поля високої напруги. При цьому, пари рідини та високомолекулярні сполуки у кавітаційній порожнині розщеплюються на водень та гідроксильну групу з утворенням активного кисню, перекису водню, азотистого та азотного кислот, внаслідок чого відбуваються інактивація ферментів та коагуляція білків. Все це обумовлює загибель мікробної клітини [5, 6, 7]. Ефективність ультразвукової обробки залежить від виду

мікроорганізмів, режимів обробки (інтенсивності, частоти, тривалості), рН та інших факторів. Найбільш небезпечний для життєдіяльності мікробів високо інтенсивний низькочастотний УЗ (від 20 кГц до 100 кГц), який обумовлює дезінтеграцію [8].

**Мета дослідження** - вплив ультразвукових коливань на процес денатурації білка. Отримання якісних продуктів харчування безпосередньо пов'язане з обладнанням та методами обробки продуктів харчування. Ультразвук, в залежності від режиму ультразвукової обробки, ступеня перенасичення розчину, температурного чинника і т.д. може значно прискорити процес денатурації органічних з'єднань.

Ультразвукова обробка в процесі денатурації дозволяє отримати однорідну структуру продукту. Ультразвук використовують в харчовій та фармацевтичній промисловості для: дезінтеграції клітин вилучення (добування внутрішньоклітинних компонентів або отримати безклітинний бактеріальний фермент); активація (прискорення) реакції ферменту в рідких харчових продуктах, прискорення бродіння, змішування, гомогенізація, дисперсія сухого порошку в рідині, емульгування масла / жиру в потоці рідини, розпорощення, у виробництві напоїв, дезактивація ферментів, мікробна інактивація (збереження), кристалізація, стимуляція живих клітин

**Предметом досліджень** слугує інтенсифікації масообмінних процесів денатурації білка під впливом ультразвукового випромінювання.

**Об'єктом дослідження** є вплив ультразвуку на м'ясну сировину з метою руйнування сполучних тканин м'яса.

#### **Методика проведення експерименту**

Для удосконалення технології м'ясних кулінарних виробів було проведено дослідження впливу тривалості ультразвукової обробки на показники якості й безпеки м'ясних напівфабрикатів. Якість готових м'ясних виробів, виготовлених за традиційною та удосконаленою технологією, визначали за допомогою стандартних методів та методик дослідження [9]. В якості вихідної сировини було обрано фарш свинини. Контрольні й дослідні зразки готували з однієї партії сировини.

Вплив тривалості оброблення м'ясних напівфабрикатів ультразвуком визначали в ультразвуковій ванні заводського виробництва з частотою УЗ коливань 36 кГц протягом 10, 15 та 20 хв.

Ультразвукова тендеризація м'яса проводилася за допомогою ультразвукового генератора. Він генерує поздовжні механічні коливання з частотою 36 кГц, потужність 300 Вт. Прилад регулюється вручну, але можливий і комп'ютерний контроль ультразвуку. Для тривалої



обробки середовища прилад кріпиться до стенду (штативу), для чого передбачений спеціальний утримувач.

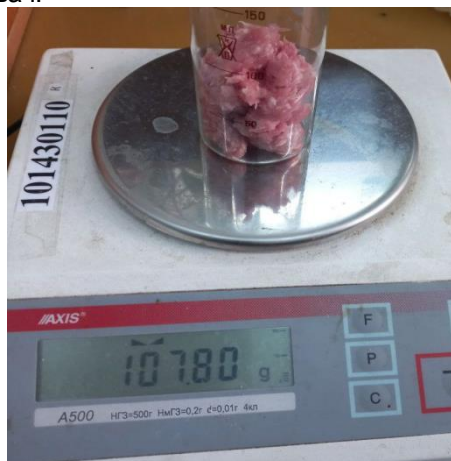


Рис. 1. Зважування контрольного зразку

Був відібраний контрольний зразок (рис. 1) масою 107,8 г. До мірного стакану наливаємо 50 мл. води.

Підготовлений зразок закріпили в штативі та помістили в ультразвукову установку (рис. 2). Вмикаємо ультразвукову установку та фіксуємо 10 хв на таймері.



Рис. 2 Експериментальна установка

Після десяти хвилинного впливу ультразвукових коливань, вимикаємо установку та відбираємо зразок №1 для подальшого дослідження (рис. 3).



Рис. 3 Контрольний зразок після 10 хв. впливу ультразвуку

Візуально спостерігаємо за зміною прозорості рідини. Це свідчить про тендеризацію білкових волокон з високим вмістом сполучної тканини. Як наслідок, на клітинному рівні з'являються розриви, які частково заповнюються водою, про що свідчить зниження прозорості рідини.

Для аналізу результатів, повторюємо дослід двічі. Тривалість наступних експериментів 15 хв. (рис. 4) та 20 хв (рис. 5).



Рис. 4 Контрольний зразок після 15 хв. впливу ультразвуку

Спостерігаємо фізичні зміни у стакані з контрольним зразком. Після подальшого впливу ультразвуку спостерігаємо за зміною кольору рідини. За результатами третього дослідження помітні фізичні зміни із дослідним зразком. Частини м'ясних згустків частково відокремились одне від одного. За результатами другого дослідження не спостерігалось чітких фізичних змін зі зразком.

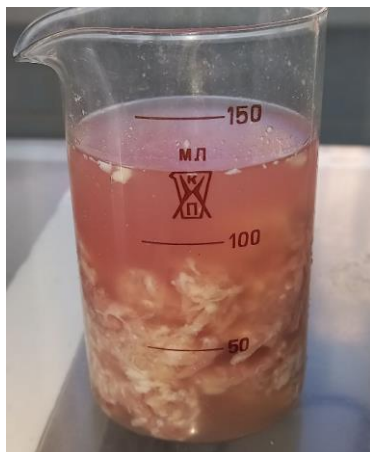
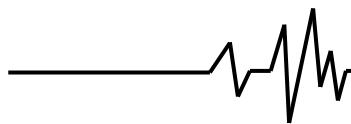


Рис. 5 Контрольний зразок після 20 хв. впливу ультразвуку

На рис.6 представлено схематичну установку для проведення досліджень:

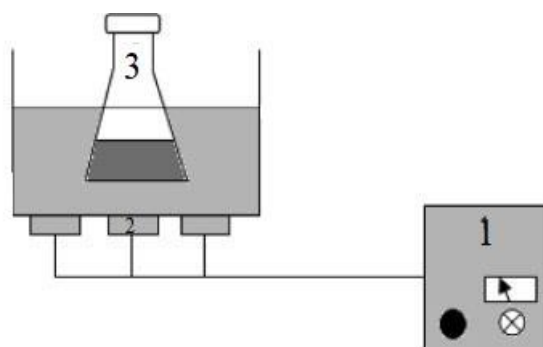


Рис. 6. Схема досліду: (1- ультразвуковий генератор, 2 – термостат, 3 –дослідний зразок

#### 4. Результати експерименту

Проведемо мікроскопічне дослідження усіх зразків. На рис. 7 представлено контрольний зразок фаршу свинини без дії ультразвуку. На рис. 8 можна побачити дію на фарш свинини під впливом УЗ на протязі 10 хв. На рис. 9 контрольний зразок впливу ультразвуку протягом 15 хв. І, останній, рис. 10. демонструє вплив УЗ на протязі 20 хв.

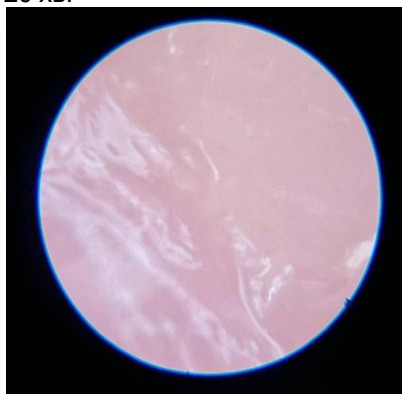


Рис. 7 Контрольний зразок без впливу ультразвуку

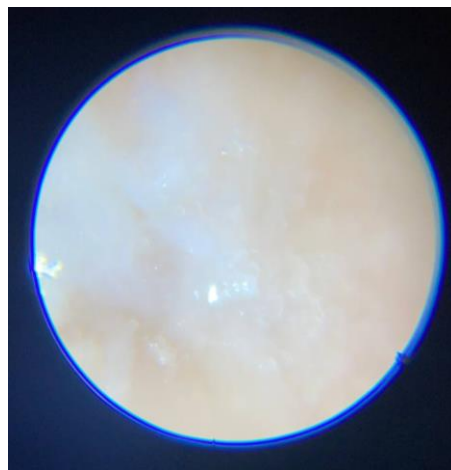


Рис. 8 Контрольний зразок після 10 хвилин впливу ультразвуку



Рис. 9 Контрольний зразок після 15 хвилин впливу ультразвуку

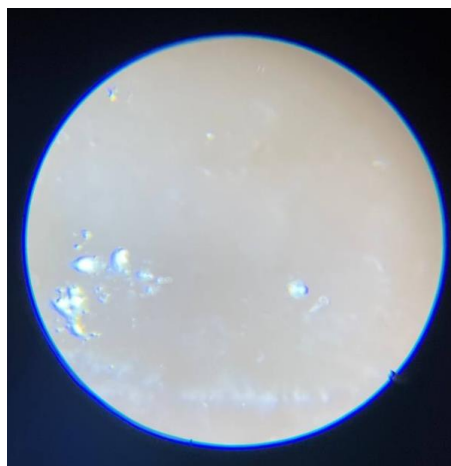


Рис. 10 Контрольний зразок після 20 хвилин впливу ультразвуку.

Дія на м'ясо ультразвукової вібрації (частотою більшою 15 кГц протягом 1–30 хв.) призводить до порушення цілісності м'язових волокон і елементів сполучної тканини. Сутність



процесу тендеризації м'яса за допомогою УЗК полягає в застосуванні ультразвукових коливань з метою руйнування сполучних тканин м'яса, внаслідок чого збільшується його ніжність незалежно від процесу дозрівання м'яса, від його вигляду або умов обробки. Можна застосовувати ультразвукові коливання за межами звукових частот від 15 кГц.

У цьому діапазоні використовуються ультразвукові коливання частотою 200–900 кГц, але, з погляду економіки виробництва і глибини проникнення енергії у м'ясо, рекомендується використовувати ультразвукові хвилі нижньої частини ультразвукового діапазону від 20 до 200 кГц. Вибір частоти ультразвукової хвилі залежить від робочої частоти або діапазону частот генератора та встановлюється залежно від його призначення. Для УЗ генераторів промислового використання виділені наступні частоти:  $18 \pm 4,35$  кГц;  $22 \pm 2,65$  кГц;  $44 \pm 6,4$  кГц і  $66 \pm 8,6$  кГц.

Попередніми дослідниками було встановлено, що під час застосування ультразвукових хвиль для обробки м'яса, вони пройдуть, в якійсь мірі, через усю масу м'яса, але більша кількість енергії буде поглинута сполучною тканиною, оскільки сполучна тканина характеризується вищим поглинанням і швидкістю звуку, ніж м'які або жирові тканини. Проходження ультразвукових хвиль крізь м'ясо викликає швидку зміну акустичного тиску, відстань між піками якого обернено пропорційна частоті хвиль. Під час дії на м'ясо впливають ультразвукові хвилі достатньої потужності, щоб проникнути в м'ясо, і достатньої амплітуди, щоб викликати розпад сполучної тканини, крізь яку ці хвилі проходять, розм'якшення парного, замороженого і незамороженого, сирого м'яса або термообробленого можна здійснити за дуже короткий час під час охолодження, або без охолодження в контрольованих і неконтрольованих атмосферних умовах [9].

**Висновки.** Встановлено, що оброблення напівфабрикатів із свинини та яловичини з великим вмістом сполучної тканини в ультразвуковій ванні з частотою коливань 36 кГц протягом 15-20 хв., покращує показники якості та безпеки напівфабрикатів і готового продукту.

Удосконалення технології приготування м'ясних кулінарних виробів сприяє задоволенню потреб людини в повноцінному харчуванні та економить кошти на придбання сировини.

#### Список використаних джерел

1. Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2012). Ultrasonics in food processing, *Ultrason. Sonochem.* doi:10.1016/j.ultsonch.2012.01.010e
2. Jose Luis Nunes, Martín Piquerez, Leonardo Pujadas, Eileen Armstrong, Alicia Fernández, Federico Lecumberry Beef quality

parameters estimation using ultrasound and color images // 9th IAPR conference on Pattern Recognition in Bioinformatics Stockholm, Sweden. 21-23 August 2014,

3. Fulladosa E., De Prados M., García-Perez J.V., Benedito J., Muñoz I., Arnau J. and Gou P. Determination of dry-cured ham composition using X-ray absorptiometry and ultrasound technologies, 59th International Congress of Meat Science and Technology, 2013, Izmir, Turkey, S7B-3

4. Midgley J., Small A. Review of new and emerging technologies for red meat safety// Final report Meat & Livestock Australia, June 2006, p. 38-39

5. Перельман, М.И., Моисеев, В.С. Бактерицидное действие ультразвука // Проблемы техники в медицине. – Таганрог, 1980. – 38-41

6. Fulya Turantaş, Gülden Başıyigit Kılıç, Birol Kılıç Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency// International Journal of Food Microbiology, 198 (2015), p. 59–69

7. Leong, T., Ashokkumar, M., Kentish, S. (2011). The fundamental of power ultrasound. A review. *Acoustics Australia*, 2 (39), 54-63

8. Dolatowski Z.J., Stadnik J., Stasiak D. Application of ultrasound in food technology// *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6(3) 2007, 89-99

9. Piyasena P., Mohareb E., McKellar R.C., 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: a review// *J. Food Microbiol.* 2003, 87, 207-216

#### References

1. Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., Ashokkumar, M. (2012). Ultrasonics in food processing, *Ultrason. Sonochem.* doi:10.1016/j.ultsonch.2012.01.010e
2. Jose Luis Nunes, Martín Piquerez, Leonardo Pujadas, Eileen Armstrong, Alicia Fernández, Federico Lecumberry Beef quality parameters estimation using ultrasound and color images // 9th IAPR conference on Pattern Recognition in Bioinformatics Stockholm, Sweden. 21-23 August 2014,
3. Fulladosa E., De Prados M., García-Perez J.V., Benedito J., Muñoz I., Arnau J. and Gou P. Determination of dry-cured ham composition using X-ray absorptiometry and ultrasound technologies, 59th International Congress of Meat Science and Technology, 2013, Izmir, Turkey, S7V-3
4. Midgley J., Small A. Review of new and emerging technologies for red meat safety// Final report Meat & Livestock Australia, June 2006, p. 38-39
5. Perelman, M.Y., Moiseev, V.C. Bakterytsynoe deistvie ultrazvuka // Problemy tekhniky v medytsyne. – Tahanroh, 1980. – 38-41
6. Fulya Turantaş, Gülden Başıyigit Kılıç, Birol Kılıç Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency// International Journal of Food Microbiology, 198 (2015), r. 59–69





7. Leong, T., Ashokkumar, M., Kentish, S. (2011). The fundamental of power ultrasound. A review. *Acoustics Australia*, 2 (39), 54-63

8. Dolatowski Z.J., Stadnik J., Stasiak D. Application of ultrasound in food technology// *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6(3) 2007, 89-99

9. Piyasena P., Mohareb E., McKellar R.C., 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: a review// *J. Food Microbiol.* 2003, 87, 207-216

#### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ULTRASOUND ON RAW MATERIALS

*The object of the study is the effect of ultrasound on raw meat. One of the promising areas of improvement and intensification of technological processes of food production is the use of ultrasound. Current research shows that ultrasound can play an important role at all stages of the food life cycle. Ultrasound depending on the mode of ultrasonic treatment, the degree of supersaturation of the solution, the temperature factor, etc. can significantly accelerate the process of denaturation of organic compounds. The range of application of ultrasound in the production of meat products by industrial means today is quite wide and includes: acceleration of maturation of raw meat, tendering of meat, its ambassador, heat treatment. The essence of the process of tendering meat with ultrasound is the use of ultrasonic vibrations to destroy the connective*

*tissues of meat, thereby increasing its tenderness regardless of the process of maturation of meat, its appearance or processing conditions. Partial destruction and softening of tissue structures makes it possible to improve the consistency, juiciness, increase the permeability of pickles and accelerate enzymatic processes. The main goal of the research is to determine the impact of ultrasonic treatment on the quality and safety of meat products in the process of technological processing. The innovation of the work is the modernization of the stage of raw meat preparation due to the introduction of a flowing ultrasonic processor in the cooking apparatus. Ultrasonic radiation is applied during heat treatment, which improves the quality of the shot product and reduces cooking time. Acceleration of cooking is due to the rupture of the fibers at the cellular level.*

*In the course of the work, an experimental study of the effect of ultrasound on raw meat was conducted. According to the results of the experiment, a microscopic analysis of the protein structure was performed after exposure to ultrasound. An experimental result was obtained, which confirms the positive effect of ultrasound on raw meat. The technique used in the study can be used to study the effect of ultrasound on other materials.*

**Key words:** *ultrasonic treatment, cavitation, raw meat and products, inactivation of microorganisms.*

#### Відомості про авторів

**Мельник Вікторія Миколаївна** д.т.н., професор, завідувач кафедри біотехніки та інженерії Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, факультет біотехнології і біотехніки, [vmm71@i.ua](mailto:vmm71@i.ua), 0936999568

**Косова Віра Петрівна** асистент кафедри біотехніки та інженерії, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, факультет біотехнології і біотехніки, [vera\\_62@ukr.net](mailto:vera_62@ukr.net), 0665445843

**Остапенко Жанна Ігорівна** асистент кафедри біотехніки та інженерії, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, факультет біотехнології і біотехніки, [zhanna.ost@gmail.com](mailto:zhanna.ost@gmail.com), 06364179440

**Швиденко Віталій Володимирович** студент Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, факультет біотехнології і біотехніки, [svidenkovitalij@gmail.com](mailto:svidenkovitalij@gmail.com), 0442049451

**Melnyk Victoria** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology and Engineering Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Biotechnology and Biotechnology, [vmm71@i.ua](mailto:vmm71@i.ua), 0936999568

**Kosova Vira** Assistant of the Department of Biotechnology and Engineering, Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Biotechnology and Biotechnology, [vera\\_62@ukr.net](mailto:vera_62@ukr.net), 0665445843

**Ostapenko Zhanna** Assistant of the Department of Biotechnology and Engineering, Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Biotechnology and Biotechnology, [zhanna.ost@gmail.com](mailto:zhanna.ost@gmail.com), 06364179440

**Shvydenko Vitaliy** student Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Biotechnology and Biotechnology, [svidenkovitalij@gmail.com](mailto:svidenkovitalij@gmail.com), 0442049451