

## **ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РАДІАЦІЙНОЇ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ТА КОНСЕРВАЦІЇ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ**

**І. М. Вишневський, В. І. Сахно, С. П. Томчай, А. Г. Зелинский,  
О. В. Сахно**

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

*Надійшла до редакції 01.04.05*

**Резюме:** В 2004 р. НАН України започаткувала інноваційний проект "Впровадження технологій радіаційної пастеризації та консервації продуктів харчування" з метою впровадження в Україні технологій променевої пастеризації та консервації продуктів харчування для запобігання втрат продуктів при зберіганні та захисту споживачів від інфекційних захворювань. У статті наведено результати проведених досліджень фізико-технічних і технологічних розробок для впровадження сучасних радіаційних технологій у харчове виробництво України. Запропоновано технічні і технологічні рішення їх реалізації. Аналізуються економічні показники виробництва з використанням радіаційних технологій і перспективи розширення мережі виробництв за рахунок конверсії, наприклад, оборонних підприємств чи промислових організацій з інших галузей. Міжнародні організації (ООН, ВООЗ) рекомендують залучати опромінення продуктів харчування як важливі і ефективні заходи запобігання виникненню і поширенню інфекційних захворювань та епідемій. Умовою поширення цих технологій є створення спеціальних промислових технологічних ліній (установок) і нормативної документації на виробництво продуктів харчування. Наведено характеристики створених за сприяння інноваційного проекту технічних засобів для реалізації промислових технологічних ліній виробництва з використанням опромінювання. Досліджуються й розробляються найбільш ефективні способи їх використання. Наведено результати промислового випробування нових технологій і перспективні шляхи їх впровадження у виробництво України.

**Ключові слова:** радіаційна установка, харчові продукти, пастеризація, пікохвильова обробка, технологія.

**И. В. Вишневский, В. И. Сахно, С. М. Томчай, А. Г. Зелинский, А. В. Сахно. ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАДИАЦИОННОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ.**

**Резюме:** В 2004 г. в НАН Украины выполнялся инновационный проект "Внедрение технологий радиационной пастеризации и консервации продуктов питания" с целью внедрения в Украине технологии лучевой пастеризации и консервации продуктов питания для снижения потерь при хранении и защиты потребителей от инфекционных болезней. В статье приведены результаты проведенных исследований физико-технических и технологических разработок для внедрения современных радиационных технологий в пищевое производство Украины. Предложены технические и технологические решения их реализации. Анализируются экономические показатели производства с использованием радиационных технологий и перспективы расширения сети производств за счет конверсии, например, оборонных предприятий или промышленных организаций из других отраслей. Международные организации (ООН, ВОЗ) рекомендуют применять облучение пищевых продуктов как важнейший и эффективный способ предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболева-

ний и эпидемий. Условием распространения этих технологий есть создание специальных промышленных технологических линий (установок) и нормативной документации на производство пищевых продуктов. Приведены характеристики созданных при поддержке инновационного проекта технических средств для реализации промышленных технологических линий производства с использованием облучения. Исследуются и разрабатываются наиболее эффективные способы их использования. Приведены результаты промышленных испытаний новых технологий и перспективные пути их внедрения в производство Украины.

**Ключевые слова:** радиационная установка, пищевые продукты, пастеризация, пиковолновая обработка, технология.

**I. M. Vyshnevskiy, V. I. Sakhno, S. P. Tomchay, A. G. Zelinskiy, O. V. Sakhno. IMPLEMENTATION OF THE RADIATION PASTEURIZATION TECHNOLOGIES AND PRESERVATION OF FOOD PRODUCTS.**

**Abstract:** Innovation project "Implementation of radiation pasteurization technologies and preservation of food products was commenced by National Academy of Sciences in Ukraine during 2004. The purpose was to implement in the Ukraine technologies of radiation pasteurization and preservation of food products to prevent the loss of the products while storage and the protection of consumers from infections diseases. The paper contains the physical technical and technological development results of the researches for the introduction of modern radiation technologies to food industry in Ukraine. The technical and technological decision of such realization is proposed. Economic indexes with use of radiation technologies and the perspective of the extension to industry due to the conversion, like an example – military facilities or industrial organizations from another domain are analyzed. International organizations (UN and WHO) recommend to apply the radiation as important and effective measures for prevention and spreading of infection diseases and epidemics. The indispensable condition of such technologies expansion is the creation of the special industrial facilities and normative documentation for food processing. Under assistance of the hardware innovation project the characteristic for the realization of the industrial technological lines with the use of radiation is given. The most effective methods of its usage are studied. A result of the new technological test and the perspective ways of its implementation into the production in the Ukraine is given.

**Keywords:** radiation facility, food products, pasteurization, peak-wave processing, technology.

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ**

Вирішення продовольчої програми в Україні та санітарно-епідемічної проблеми безпеки споживання продуктів харчування є однією з найбільш гострих гігієнічних проблем. За офіційними даними тільки на стадії зберігання втрачається від 25 до 50 % і більше продуктів харчування. Загальносвітові тенденції прогресуючої мікробіологічної небезпеки харчових продуктів, пов'язаної з патогенними мікроорганізмами, роблять актуальною задачею підвищення фізіологічної цінності, збалансованості та безпеки харчування. За даними Росії, для прикладу, тільки рівень шлунково-кишкових захворювань становить 30 млн випадків на рік.

Гострою проблемою для виробників України, як і в інших країнах світу, є висока контамінація харчових продуктів (у першу чергу спецій, кави, какао тощо), які надходять з епідемічно ризикових регіонів – Латинської Америки, Африки, Південно-Азіатських країн, Індії. Виготовлені з них продукти харчування мають обмежений строк зберігання і створюють підвищений ризик для споживачів. Мають місце періодичні епідемічні проблеми в різних регіонах України.

Звичні для теперішніх виробників хімічні методи – введення до складу продуктів харчування високоактивних хімічних консервантів та стабілізаторів – хоча і запобігають передчасному псуванню продукції, але не вирішують головної проблеми – безпеки споживання.

До числа перспективних технологій факхівці в усьому світі відносять промислову обробку продуктів харчування випромінюванням пікометрового діапазону довжин хвиль (так звана пікохвильова обробка). Суть цих методів полягає в порушенні пікохвильовим випромінювання біохімічних процесів, що відбуваються в мікроорганізмах.

Цей метод належить до радіаційних технологій виробництва, а використання більш конкретного терміну "пікохвильова обробка" [1] пов'язане з тим, що довжина хвилі випромінювання, яка рекомендована міжнародними документами для обробки харчових продуктів, знаходиться в пікометровому діапазоні електромагнітного спектра.

Процеси пікохвильової обробки відбуваються без підвищення температури обробленої сировини. Вони не спричиняють помітних змін структури чи хімічного складу сировини, а значить не змінюють споживчі і смакові якості продуктів.

Пікохвильові технології поширені в усіх розвинутих країнах. Світовий обсяг виробництва опромінених харчових продуктів у минулому десятиріччі становив більше 600 тис. тонн на рік з тенденцією щорічного зростання на 5–10 %. За даними ООН у 2000 р. об'єм продуктів пікохвильової пастеризації і консервації наблизився до 2 % загальносвітового обсягу виробництва харчових продуктів. У розвинутих країнах з теплим кліматом, наприклад, у США, пікохвильова карантинна обробка є традиційним етапом імпорту всіх спецій і фруктів з обмеженим терміном споживання. Ці заходи здійснюються згідно з міжнародними правилами, встановлених ООН (МАГАТЕ / ФАО / ВО-ОЗ), під контролем Міжнародного комітету по опроміненню харчових продуктів.

Офіціальний статус пікохвильових технологій було встановлено в 1983 р. Комісією "Codex Alimentarius", створеною за рекомендаціями 11-ї сесії Конференції ФАО / МАГА-

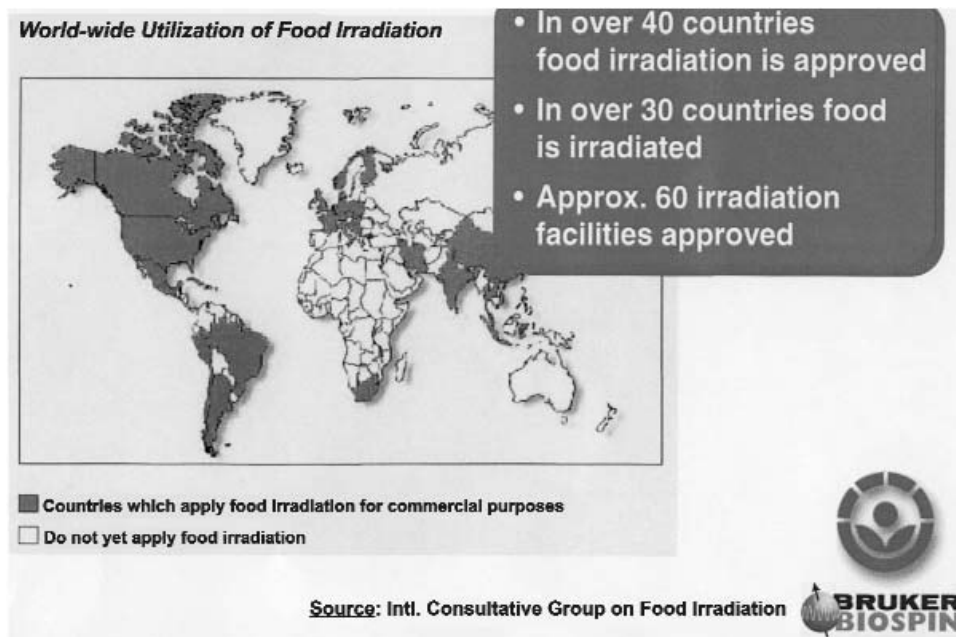


Рис. 1. Центри опромінювання харчових продуктів

ТЕ / ВООЗ [2]. Було встановлено, що харчові продукти, оброблені випромінюванням пікохвильового діапазону є безпечними для споживання людиною. Цей висновок зроблено організаціями ООН ще в 1980 році на підставі численних досліджень і випробувань, проведених за попередні 30 років. Масштаб і глибина виконаних досліджень не мали аналогів. До цього ніякі інші методи обробки харчових продуктів, з точки зору їх безпеки, так старанно ще ніколи не досліджувались. Було об'єктивно встановлено, що пікохвильові харчові технології належать до числа найбільш надійних, що забезпечують високу якість і стабільність продукції. З того часу вони стали важливим елементом сучасного високотехнологічного й рентабельного виробництва.

За кордоном функціонують мережі спеціальних центрів променевої обробки харчових продуктів. Географія їх розташування, за даними фірми BRUKER (США) (рис. 1), охоплює практично усі країни світу. Ці заходи, наприклад, у США, продемонстрували високу ефективність у вирішенні проблеми надійного протиепідемічного захисту населення та зниження витрат бюджету на лікування інфекційних захворювань.

**Таблиця 1 [1]. Витрати енергії при різних методах подовження терміну зберігання харчових продуктів**

| Технологія обробки                          | Параметр процесу | Енергія, МДж/кг |
|---------------------------------------------|------------------|-----------------|
| Бланшування                                 | 75°C             | 0,8             |
| Копчення                                    |                  | 15              |
| Висушування                                 |                  | 15              |
| Теплова стерилізація (автоклав)             | 120–180°C        | 0,9             |
| Швидке заморожування                        | Від 4 до –23°C   | 7,5             |
| Зберігання в холодильнику                   | 10 днів при 0°C  | 0,4             |
| Пікохвильова пастеризація електронами 5 MeV | 2,5 кГр          | 0,07            |
| Пікохвильова стерилізація електронами 5 MeV | 30,0 кГр         | 0,43            |
| Приготування страви з тушки курчати         | Більше 93°C      | 2,5             |

Енергетична криза світової економіки примушує суспільство переглядати доцільність подальшого застосування звичних методів зберігання продуктів харчування. Аналіз енергетичних витрат при різноманітних методах зберігання харчових продуктів (табл. 1) показує, що традиційні методи є енергетично не вигідними й вимагають занадто багато енергії. У певний час це може стати головною причиною обмеження харчування. Наприклад, уже зараз витрати на приготування харчових продуктів у США становлять більше 17 % від загального споживання енергії (3000 ккал/особу) і більше ніж в 14 разів перевищують калорійність вироблених продуктів.

Економічний аналіз показує, що пікохвильові технології харчових продуктів забезпечують позитивний коефіцієнт рентабельності. Типові додаткові витрати на власне новий ефект становлять приблизно 0,9–3,2 % вартості харчового продукту, наприклад для запобігання проростання картоплі чи цибулі, а для дезинсекції зерна – 0,19–1,24 %. Такий же процес для подовження терміну зберігання риби піднімає її собівартість всього на 0,2–2 %.

В Інституті ядерних досліджень НАН України (далі – ІЯД) разом з фахівцями галузевих наукових закладів МОЗ України проведено численні науково-технологічні дослідження ефективності пікохвильових методів у виробництві широкого переліку харчових продуктів та сировини (кондитерських виробів, харчових продуктів з риби, молочних продуктів, овочів, спецій тощо). Було доведено, що пікохвильова обробка дає можливість повністю знешкодити небажану мікрофлору в сільськогосподарській продукції та імпортованій сировині. Було показано, що пікохвильові технології різко збільшують строк зберігання високоякісних (делікатесних) малосолоних продуктів, що дає змогу спростити умови їх безпечного зберігання [4].

Було встановлено, що при променевій пастеризації немає необхідності застосовувати хімічні реагенти, а тому відпадає потреба їх виробництва та безпечного зберігання. Одночасно цим запобігаються функціональні проблеми й захворювання споживачів, що спричиняються хімічними консервантами.

Опромінення дає змогу регулювати численність мікроорганізмів виключно тільки за рахунок витрат електроенергії на живлення відповідної установки всього протягом 10–200 с і тільки в момент пастеризації продукції.

Дослідження дали змогу визначити пріоритетними для України напрямками впровадження пікохвильових технологій у виробництво найбільш нестійких продуктів харчування, наприклад рибних пресервів. Для цих високоякісних продуктів найбільшою проблемою є термін та умови безпечного зберігання, що, відповідно, визначає економічні стимули їх виробництва. Можна узагальнити найбільш очевидні передумови застосування пікохвильових харчових технологій:

- пікохвильові методи практично безальтернативні з точки зору найнижчих енерговитрат;
- при пікохвильовій обробці виключаються з складу харчових продуктів хімічні консерванти та стабілізатори, продукти зберігають свою свіжість і фізичний стан (заморожені, сухі, жарені, варені тощо);
- променеві процеси виробництва характеризуються метрологічно визначеними числовими показниками й надійними методами їх контролю на всіх стадіях. На такому виробництві виключається вплив "суб'єктивного" фактора на якість, є можливість автоматизації процесів й отримання стабільних показників продукції незалежно від об'ємів її виробництва;
- опромінювання харчових продуктів є особливо важливим технологічним прийомом для країн з теплим кліматом, де

об'єктивно важко підтримати потрібну гігієну. І тому перспективи використання пікохвильових технологій є широкими;

- застосування пікохвильових технологій реально дають можливість знизити втрати врожаю і виробляти додатково великі об'єми харчових продуктів. При наявності відповідної технічної бази виробник зможе реалізувати найбільш економічно виправдані технологічні процеси.

Єдиною проблемою застосування опромінювання харчових продуктів є відносна екзотичність опромінювальної техніки.

### **РАДІАЦІЙНА УСТАНОВКА ІЯД**

Для вирішення проблем пікохвильової обробки продуктів в Україні було започатковано інноваційний проект № 38/04. Його метою було створення першої технологічної лінії універсального призначення для обробки широкого переліку харчових продуктів і сільськогосподарської сировини. Було передбачено створити на технічній базі ІЯД [5] пілотну промислову технологічну лінію, яку потім можна буде повторити в інших регіонах. Було заплановано виконати комплексну розробку:

- джерел випромінювання, технологічних приміщень для розміщення цих джерел та супутніх технічних засобів, спеціальних та допоміжних засобів, інженерної інфраструктури;
- технології виробництва, технологічної та нормативної документації, сертифікованої у відповідних державних органах.

Технічні умови розробок визначались особливостями пікохвильових технологій, у першу чергу високими вимогами до точності дотримання технологічного процесу. Тут додатково необхідно вирішити коло проблем щодо метрології процесів, ефективності за-



стосування, економіки виробництва, а також специфічних застережень радіаційної і технологічної безпеки.

Аналіз технічних можливостей України показав, що базою для промислового впровадження променевих технологій можуть бути прискорювачі електронів, що за своїми характеристиками повністю відповідають міжнародним нормам для опромінення харчової продукції [2]. Указані установки розташовані в різних регіонах України, раніше вони використовувались переважно для високотехнологічних оборонних робіт та унікальних фундаментальних досліджень. Установки мають необхідну комплектацію й відповідний персонал. У результаті конверсії військових програм і ліквідації оборонних підприємств ці установки звільнились для цивільного застосування.

Економічно виправданим, згідно рекомендацій [2, 6], вибрано прискорювач з енергією електронів 4–10 МеВ. В Україні такими є лінійні резонансні прискорювачі серії "Еле-

ктроніка", а також деякі з лінійних прискорювачів Харківського фізико-технічного інституту. З існуючих в Україні 26 прискорювачів різного типу [6] п'ять з них доцільно використати для створення регіональних промислових центрів пікохвильової обробки харчової продукції. Але тут необхідно вирішити науково-технічні проблеми реконструкції цих прискорювачів у технологічні лінії для подальшої безпечної та рентабельної експлуатації на виробництві.

Для лінійних прискорювачів найбільшою проблемою є невисокий промисловий коефіцієнт корисної дії, а також дефіцит імпортованих комплектуючих. Також важливою проблемою є висока вартість облаштування необхідних засобів протирадіаційного захисту цих високоенергетичних прискорювачів, що негативно позначається на одиничній вартості установки і, відповідно, собівартості обробленої харчової продукції.

Дослідження показали, що існує шлях досить ефективного вирішення вказаних



**Рис. 2.** Технологічна лінія з прискорювачем електронів

**Таблиця 2. Технічні характеристики джерела випромінювання**

| Найменування показника                   | Одиниця виміру      | Показник   | Примітка              |
|------------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------|
| Середня енергія електронів               | MeB                 | 5          |                       |
| Струм пучка в імпульсі                   | A                   | 0,75       | 4 мкс                 |
| Тривалість імпульсів                     | мкс<br>нс           | 1–5<br>2–5 | на рівні 0,5<br>--“-- |
| Частота повторення імпульсів             | Гц                  | 1–200      | або одиночні          |
| Споживання потужності від силової мережі | кВт                 | 75         | макс.                 |
| Споживання води                          | м <sup>3</sup> /год | 4          | макс.                 |
| Споживання повітря                       | м <sup>3</sup> /год | 1          | 4 кг/см <sup>2</sup>  |

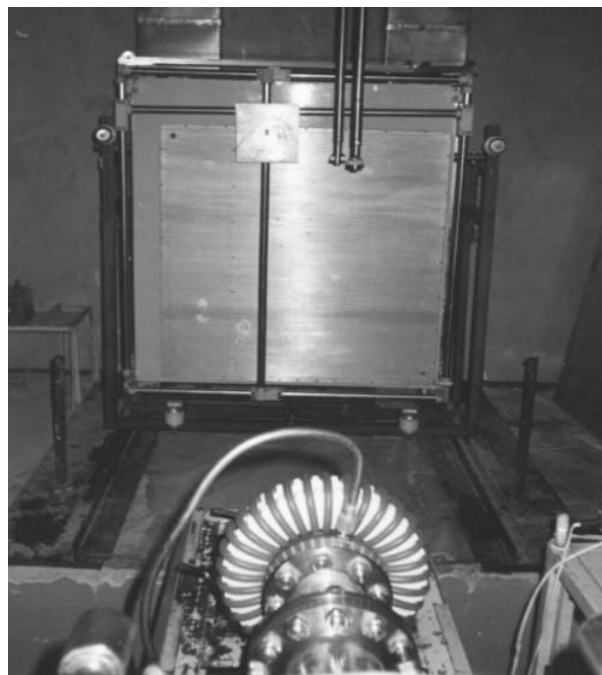
**Таблиця 3. Технічні характеристики установки**

| Параметр              | Значення          |
|-----------------------|-------------------|
| Потужність            | 7500 т/рік        |
| Ресурс                | 5000 год/рік      |
| Строк служби          | Не менше 15 років |
| Вартість експлуатації | 470 грн./год      |
| Персонал              | 2 особи/зміну     |

проблем – це відповідна модернізація енергоємного обладнання прискорювачів і розробки оптимізованих методів проектування протирадіаційного захисту [7].

З урахуванням результатів таких досліджень і рекомендацій міжнародних регулюючих документів в ІЯД було створено [8] конструкцію пілотної технологічної лінії пікохвильової пастеризації харчових продуктів (рис. 2). Вона базується на промисловому прискорювачі електронів з середньою енергією 5 MeB серії "Електроніка", параметри якого наведено в табл. 2. Вона розташована в приміщеннях окремого корпусу. Обладнання, що становить радіаційну небезпеку, розміщено в боксі з протирадіаційним захистом.

До складу установки входять джерело випромінювання та комплекс допоміжних систем. Це система контролю за технологічним процесом, системи технічної безпеки і життєзабезпечення, системи регулювання та



**Рис. 3. Технічні засоби технологічної дозиметрії**

керування, які конструктивно розташовані в спеціальних приміщеннях єдиного корпусу, а також лінія автоматичного транспортування зразків продукції в реакційну камеру.

Технічні характеристики установки наведено в табл. 3. Керування установкою і ходом технологічного процесу здійснюється з центрального пульта керування, до складу якого входять електронно-вимірювальні прилади контролю за режимом численного обладнання установки [9], спеціальні автоматичні засоби технічного захисту обладнання установки, автоматизовані засоби радіаційного контролю і захисту, системи автоматичного регулювання й стабілізації, монітори систем промислового телебачення.

Для вирішення метрологічних проблем на установці створено спеціальну систему технологічної дозиметрії [10], яка складається з засобів оперативного вимірювання радіаційних полів і засобів їх калібрування. У



Рис. 4. Операційний конвейер (транспортна лінія)

зв'язку з відсутністю в Україні прототипу таких систем її було побудовано на спеціально розроблених в ІЯД технічних засобах вимірювання. Вона включає комплекс датчиків, апаратуру накопичення й обробки інформації. Основні засоби технологічної дозиметрії встановлено в реакційній камері установки (рис. 3). Система забезпечена відповідною метрологічною атестацією і дозволяє виконувати всі необхідні вимірювання для встановлення дози опромінення.

Технічні засоби системи забезпечують метрологічну точність вимірювання інтенсивності випромінювання 15 % (за абсолютним значенням) у будь-якій точці контрольованого простору. Координати точки вимірювання визначаються з похибкою не більше 1–2 %.

Таблиця 4. Технічні характеристики транспортної лінії

| Параметр                           | Вимір | Значення |
|------------------------------------|-------|----------|
| Максимальне навантаження конвейєра | кг    | 600      |
| Максимальна маса одного зразка     | кг    | 20       |
| Максимальна швидкість переміщення  | м/хв  | 3        |
| Максимальні габарити зразків       | см    | 60×120   |
| Довжина конвейєра                  | м     | 40       |
| Кількість підвісок                 | шт    | 25       |

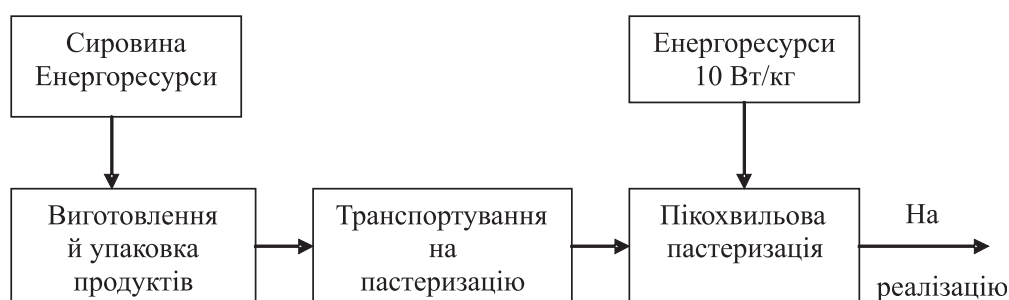
Вимірювання розподілу полів опромінення здійснюється за допомогою спеціального вимірювального планшета з прецезійним двохкоординатним скануючим механізмом, що дистанційно переміщується по глибині реакційної камери (див. рис. 3). Він дає змогу контролювати розподіл поля в об'ємі 900 × 900 × 1500 мм. Досягнута точність контролю положення каретки цього пристрою не гірше  $\pm 1$  мм.

Отримані параметри системи вимірювань дозволяють сформувати радіаційне поле в області опромінювання матеріалів об'ємом близько 2 м<sup>3</sup> з нерівномірністю менше  $\pm 5$  %. Це відповідає потребам пікохвильових технологій харчових продуктів, для яких рівномірність опромінення жорстко встановлено відповідними технічними умовами [10].

Матеріали на опромінення подаються за допомогою спеціального операційного конвейєра. Його технічні характеристики наведено в табл. 4. Вимоги до параметрів транспортеру – це стабільність і регульована швидкість. При розробці транспортної лінії було вирішено ряд неординарних технічних проблем.

Головною проблемою було забезпечення вказаних технічних параметрів для переміщення продукції через зону опромінювання. Технічно це не просто, враховуючи велику довжину транспортера, на якому одночасно розміщується 20–28 зразків до 20 кг кожний.





**Рис. 5.** Схема технологічного процесу пікохвильової пастеризації

Швидкість руху транспортера контролюється й регулюється в діапазоні від 0,2 до 4 м/хв залежно від вимог конкретної технології.

Конвейєр здійснює складні переміщення продукції для одно- чи двохстороннього опромінення у старт-стопному чи безперервному режимі переміщення, надає можливість зупинки її в зоні опромінення на будь-який час, реверс та інші допоміжні функції.

Створена транспортна лінія (рис. 4) забезпечує підйом продукції з місця завантаження з першого поверху на рівень другого, потім, через лабіринт, транспортування в бокс прискорювача. Там продукція переміщується в реакційну камеру під пучок електронів і повертається назад на перший поверх для вивантаження. Для догляду за роботою транспортної лінії встановлено камери промислового телебачення.

У режимі безперервної роботи конвейєра можна опромінювати до 2,5 т матеріалів на годину. Це дозволяє опрацювати оптимальні методи опромінення великих промислових партій матеріалів при практичному випробуванні радіаційних технологій перед передачею їх на підприємство, а також практично використовувати установку виробниками київського регіону.

Керування транспортною лінією ручне або автоматичне. Транспортер забезпечений засобами контролю швидкості переміщення зразків, датчиками наявності зразків в зоні опромінення, електронними засобами керування електроприводом. Такі функції дають змогу виконувати не тільки опромінювання матеріалів, а також проводити великий перелік наукових та технологічних досліджень, складні радіаційні випробування.

## **ПРАКТИЧНІ ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ**

Для промислового випробування установки було розроблено технологічний регламент на пікохвильову пастеризацію рибних пресервів та необхідну супутню технологічну документацію [11]. Схему технології показано на рис. 5. Зі складу цих продуктів виключено будь-які хімічні консерванти, а вміст солі зменшено до 3–4 %, що відповідає сучасному дієтичному рівню. За цими технологіями пресерви було виготовлено в умовах рибопереробного підприємства [12]. Випробування проводилися в об'ємах добового випуску пресервів. Після пастеризації і відповідної витримки було проведено всебічне дослідження споживчих показників нової продукції.

**Таблиця 5. Техніко-економічні показники виробництва**

| Характеристики              | Параметри                                      |
|-----------------------------|------------------------------------------------|
| Обсяги виробництва          | 5 млн банок/рік<br>(2,5 млн умовних банок/рік) |
| Об'єм переробленої сировини | 131 т/міс                                      |
| Сировина                    | оселедці                                       |
| Продукція                   | пресерви по ТУУ 23724640-001-97                |
| Ціни на продукцію           | 1,0 дол США                                    |
| Чисельність робітників      | 50 осіб                                        |
| Річний режим роботи         | 500 змін/рік                                   |
| Процес пастеризації         | прискорювач електронів 5–9 MeV                 |

Було підтверджено, що пастеризація не впливає на смакові показники продукту [5], вони були стабільними впродовж 60 діб зберігання при позитивних температурах (0–+5°C). Аналізи показали, що після обробки знизився і стабілізувався мікробіологічний статус. Отримані результати дали підставу провести техніко-економічну оцінку перспектив організації підприємства середньої потужності по випуску таких пастеризованих пресервів. Розрахунки наведено в табл. 5. Показано, що на базі пікохвильових технологій можна створити високорентабельне виробництво й випускати для населення України високоякісні й недорогі продукти харчування. А можливість тривалого зберігання при вказаних температурах є вагомим аргументом щодо експорту такої продукції.

## ВИСНОВКИ

У рамках виконання інноваційного проекту в Україні на технічній базі ІЯД створено сучасну промислову технологічну опромінювальну установку, що відповідає вимогам міжнародного та національного законодавства. На установці випущено дослідні партії харчових продуктів, отримано сертифікати відповідності діючим вимогам законодавства. Цим було практично засвідчено, що в Україні створено першу технологічну лінію промислової пікохвильової пастеризації харчових продуктів.

Для такої лінії в проекті розроблено й представлено методи підвищення ефективності електричних джерел випромінювання, а також способів їх застосування для опромінення харчових продуктів. Було досліджено й розроблено сучасні принципи побудови електрофізичного обладнання, визначено оптимальні шляхи конструювання різноманітних допоміжних технічних засобів. Досліджувались і перевірялись заходи зниження витрат на спорудження спеціальних приміщень для розміщення джерел випромінювання. Вивчались і розроблялись сучасні методи побудови систем метрології й контролю якості променевих технологічних процесів, які було сертифіковано відповідно до діючих в Україні положень.

Промислові можливості, наприклад для пастеризації пресервів з риби, перевищують 5 млн упаковок на рік. Розрахунковий термін окупності однієї такої технологічної лінії не більше трьох років.

Дослідно-промислова експлуатація установки показала, що опромінення є ефективним шляхом подовження строків зберігання й карантинної санітарно-гігієнічної обробки будь-яких продуктів харчування – особливо з групи так званих "ризикових" продуктів з риби, морських молюсків, спецій та прянощів, південних фруктів та овочів. Експериментально було доведено, що впровадження технологій променевої пастеризації дасть змогу виключити втрати харчових продуктів через їх псування, особливо в теплі періоди року (за оцінками виробників втрати харчових продуктів у теплий період можуть перевищувати 30 % виробленої продукції).

На відповідність діючим нормативним положенням було випробувано в реальних умовах на діючому виробництві технологічну документацію (технічні умови, технологічні інструкції, технологічні регламенти тощо). Експериментальне промислове випробування технологій показало, що за своєю

ефективністю, економічними та екологічними показниками вони не мають альтернативи.

За результатами виконання даного проекту можна започаткувати нові інноваційні проекти для сільськогосподарської, переробної та харчової галузі. В їх обсязі можна створити в Україні мережу регіональних центрів пастеризації і консервації сільськогосподарської сировини й готової харчової продукції. Базою для неї є існуючі прискорювачі електронів, конвертовані в галузь виробництва харчових продуктів. Такі центри, наприклад, можуть бути створені в Одесі, Херсоні, Ужгороді, Києві, Харкові, Славутічі.

В результаті українська промисловість отримає можливість реалізувати сучасні високоефективні технології, підняти рівень національної економіки, а також покращити санітарно-епідемічну обстановку в Україні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Нечаев А. Ф.** Пиковолновая обработка пищевых продуктов // Химическая промышленность. Сер. Радиационная химия и технология; радиационная стойкость. – М., 1991.
2. Codex Alimentarius (CAC/Vol, XV – Ed. I). Rome: FAO/WHO, 1984.
3. Combination processes for irradiation: proceedings of the Final Research Co-ordination Research Programme on Irradiation in Combination with Other Processes for Improving Food Quality / organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Pretoria, South Africa, 27 February – 3 March 1995. – Vienna: IAEA, 1998.
4. **Сахно В. И., Нехамкин Б. Л., Голенкова В. В.** Технология низкотемпературной пастеризации пресервов // Новые направления в области традиционных технологий переработки рыбы. Сб. науч. тр. – Калининград: Изд. Атл. НИРО, 1996. – С. 116.
5. **Сахно В. И., Вишневский И. Н., Халова Н. В., Томчай С. П.** Разработка технологии производства рыбных пищевых продуктов с использованием электрофизических установок // ВАНТ. – 1997. – Т. 2. – Вып. 4, 5 (31, 32). – С. 172.
6. **Sakhno V.** Accelerators in Ukraine. – Accelerator newsletter. – I.A.E.A. Austria. – 1995. – Vol II. – No. 4.
7. **Сахно В. И.** Проблемы оптимизации использования радиационных установок // ВАНТ. – 2005. Сер. Физика радиационных повреждений. – С. 149–152.
8. **Вишневский И. Н., Зелинский А. Г., Сахно В. И. и др.** Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины // Атомная энергия. – 2003. – Т. 94. – Вып. 2, февраль. – С. 163–166.
9. **Вишневський І. М., Сахно В. І., Зелінський А. Г. та інші.** Розробка та дослідження параметрів датчика струма пучка електронів радіаційної установки ІЯД // Зб. наук. праць ІЯД. – 2003. – № 2(10). – С. 146–149.
10. **Вишневський І. М., Сахно В. І., Зелінський А. Г. та інші.** Система вимірювання розподілу полів випромінювання на радіаційній установці ІЯД // Зб. наук. праць ІЯД. – 2004. – № 2(13). – С. 159–162.
11. **Сахно В. И., Нехамкин Б. Л., Андреев М. П.** Пресерви рыбні низькотемпературної пастеризації. – Технічні умови України. ТУУ–23724640–97–001.
12. Итоги науки и техники. Сер. Химия и технология пищевых продуктов. Т. 2. Радиационная обработка пищевых продуктов. – М., 1989. – С. 156.