

**DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-11**

УДК 664.8.039.6

М. Ю. Савченко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8498-3272

О. В. Радчук, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8228-2499

*Сумський національний аграрний університет*

e-mail: marina.saw4encko2011@gmail.com, тел.: +380993834398

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВІВ**

*Анотація.* Метою статті є створення стенду для автоматизації електричного автоклаву малої потужності, який дозволяє проводити дослідження процесу стерилізації консервів з м'ясною, рослинною та м'ясо-рослинною сировиною, та багаторазового повторення експерименту для заданих технологічних параметрів з фіксацією їх для наступної обробки на персональному комп'ютері. Для досягнення поставленої мети було підібрано обладнання для автоматизації електричного автоклава. Досліджено процес нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів. Описано схему автоматизації електричного автоклава малої потужності. Зроблено аналіз конструкції електричного автоклаву з деталізацією основних частин. Проведені дослідження процесу нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів. Дані перебігу параметрів представлено на графіках. Зроблено висновки і рекомендації щодо наукового і практичного використання запропонованих рішень.

*Ключові слова:* електричне устаткування, м'ясо, м'ясо-рослинна сировина, автоматизований стенд, технологічні параметри, процес, харчова промисловість, лабораторне обладнання, продукти харчування.

*Постановка проблеми.* Харчова промисловість відіграє важливу роль у задоволенні потреб споживачів, постачаючи сировину та перероблені продукти харчування. Зараз харчова промисловість використовує економічно ефективні та вигідні рішення автоматизації для досягнення більш високих обсягів виробництва в порівнянні з харчовою промисловістю, що використовує ручні системи управління технологічними процесами. Харчова промисловість адаптувалася до систем автоматизації більше, ніж будь-яка інша промислова галузь [1]. {Автоматизація - це технологія, пов'язана з використанням механічних, електронних і комп'ютерних систем для контролю і моніторингу виробництва. Автоматизація систем управління зробила революцію в харчовій промисловості, зробивши виробничі процеси швидшими та ефективнішими [2]. Оскільки попит на продукти харчування зростає, виробники все частіше звертаються до автоматизованого управління технологічними процесами, щоб



підвищити продуктивність, знизити виробничі витрати і підвищити стандарти безпеки та якості. Використання автоматизації у виробництві харчових продуктів має ряд переваг [3, 4]. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) знижують ризик людських помилок, зменшують забруднення процесу і забезпечують дотримання стандартів безпеки харчових продуктів. Автоматизовані системи управління технологічними процесами дозволяють виробникам підтримувати стабільну якість продукції, мінімізувати відходи виробництва та підвищити ефективність [5].

Сьогодні прогрес у технологіях автоматизації призвів до розробки конкурентоспроможних інтелектуальних систем, які здатні навчатися та адаптуватися до різних ситуацій, підвищуючи ефективність та результативність виробничих процесів [6].

Сьогодні роботи та автоматизовані процеси визнані невід'ємною частиною промисловості. Автоматизовані системи в першу чергу визначають конкурентний успіх і безпеку харчової промисловості та виробничих потужностей. Найціннішими перевагами автоматизованих систем є підвищення продуктивності, якості продукції та прибутковості [7].

У цій роботі розглянуто автоматизований випробувальний стенд, що складається з електричного автоклава, електричних датчиків та керованого програмованого логічного контролера (ПЛК).

Автоклави зазвичай використовуються в консервній промисловості для стерилізації закритих харчових банок. Автоклави ефективно знищують бактерії, плісняву, дріжджі та інші мікроорганізми, запобігаючи псуванню і забезпечуючи тривале збереження продуктів харчування. Автоклави, що використовують пару високого тиску, широко застосовуються на великих і середніх переробних підприємствах. Малі та середні підприємства використовують автоклави з електричним підігрівом, оскільки використання пари є економічно не вигідним. Такі автоклави можуть бути автоматизовані, що суттєво впливає на якість готової продукції та дозволяє уникнути негативного впливу людського фактору в технічному процесі [8].

*Аналіз останніх досліджень.* Існує багато досліджень щодо впровадження ПЛК у виробничі процеси в різних галузях промисловості. Наприклад, Susan Featherstone у своєму посібнику представила розрахунок параметрів нагрівання для процесу пастеризації [9]. Автори Malaka, Maruddin та Triana стерилізували молоко з додаванням екстракту в електричному автоклаві, що працює на такому ж обладнанні, як і в нашій роботі, тобто за тим же принципом [10, 11]. Saravacos G. та Kostaropoulos A. запропонували

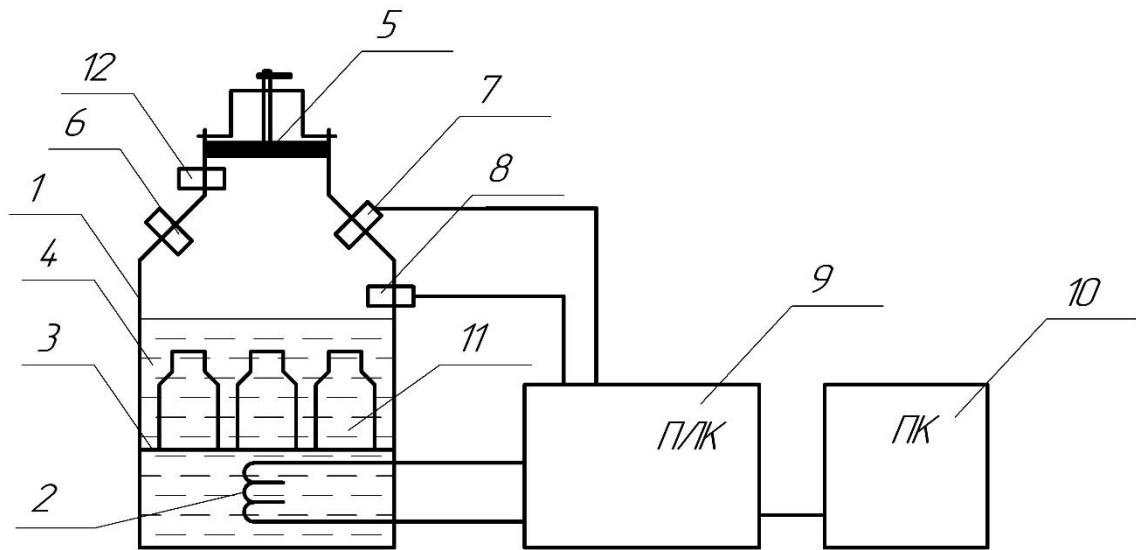


сучасний метод використання електричного автоклаву для консервування харчових продуктів [12]. Jijo K., Sandey K. та інші у своєму дослідженні продемонстрували доцільність використання електричних автоклавів для консервування харчових продуктів [13]. Вони досліджували залежність температурного впливу на стан консервованих продуктів, стерилізованих під високим тиском в автоклаві. Їх висновки збігаються з нашими: при консервуванні м'яса птиці в електричному автоклаві тиск на виході не перевищував нормативного значення при досягненні необхідної температури, але збільшувався пропорційно температурі. У своїй публікації Mokrushin S. підкреслює необхідність і простоту використання роботизованих систем у світі на прикладі стерилізації консервних банок у промисловому автоклаві [14]. Вчені Hartulistiyoso E. та Akmal M. працювали над консервуванням крабового м'яса в контейнерах об'ємом 0,35 літра - стандартному об'ємі банок, що використовується в харчовій промисловості [15]. Ще велика низка вчених, які використовувала електричний автоклав з використанням ПЛК при теплових процесах при переробці молочних продуктів, рослинної сировини, результати досліджень яких було висвітлено в їхніх працях [16, 17].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є створення стенду для автоматизації електричного автоклаву малої потужності, який дозволяє проводити дослідження процесу стерилізації консервів з м'ясною, рослинною та м'ясо-рослинною сировиною, та багаторазового повторення експерименту для заданих технологічних параметрів з фіксацією їх для наступної обробки на персональному комп'ютері. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Підібрати обладнання для автоматизації електричного автоклава;
2. Дослідити процес нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів;
3. Зробити висновки і рекомендації щодо наукового і практичного використання запропонованих рішень.

*Основна частина.* Для автоматизації електричного автоклава проведено підбір обладнання. Обладнання встановлюється безпосередньо на автоклав і на стенд, який буде використовуватися для керування технологічним процесом, який відбувається в автоклаві. Схема автоматизації електричного автоклава малої потужності наведена на рисунку 1.



1. Автоклав; 2. Електричний нагрівальний тен; 3. Підставка під консерви; 4. Вода; 5. Кришка автоклава з герметичним запором; 6. Запобіжний клапан; 7. Датчик температури; 8. Датчик надлишкового тиску; 9. Програмований логічний контролер; 10. Персональний комп'ютер; 11. Консерви; 12. Ніпель для створення попереднього надлишкового тиску.

Рис. 1. Схема автоматизації електричного автоклава

Автоклав 1 має нагрівальний електричний тен 2 потужністю 2кВт, який працює від мережі 220В частотою 50Гц. Електричний тен розташований у нижній частині корпусу автоклава і відділяється від основної частини підставкою під консерви 3. В середину автоклава встановлюють закупорені банки 11 з сировиною для теплової обробки, ємністю до 1 літра кожна. Загальний об'єм консервів, який можна завантажити в автоклав складає 5 літрів. Банки в автоклаві заливають водою 4 на рівень 3-4 сантиметри вище кришки. Після заливки води, автоклав герметично закривають за допомогою кришки 5 з герметичним гвинтовим запором. В корпус автоклава герметично вбудовані: запобіжний клапан 6; датчик температури 7; датчик надлишкового тиску 8 і ніпель для створення попереднього надлишкового тиску 12. Через ніпель в середині автоклава створюють попередній надлишковий тиск 50-100кПа. Цей тиск необхідний для того, щоб при нагріванні закупорених банок тиск із зовні банки був більший, чим тиск, який виникне із середини банки. Це дозволяє в процесі стерилізації консервів уникнути розгерметизації банок. В конструкції автоклава використано запобіжний клапан, який розрахований на максимальний тиск 600 кПа. Цей клапан запобігає створенню в середині автоклава тиску, який може призвести до його руйнування. Датчик температури це термометр опору ДТС 0,1 5-50 М.В.2.80. Він дозволяє вимірювати фактичну температуру, яка

створилося всередині автоклаву. Цей датчик через дроти передає інформацію на контролер. Діапазон вимірювання:  $-50 \dots 180$  °С. В конструкції використано датчик тиску ПД 100-ДИ 0,25-171, який має максимальну межу вимірювання надлишкового тиску в 250 кПа (короткотерміновою до 400кПа). Такий датчик перетворює енергію надлишкового тиску в сигнал постійного струму  $4 \dots 20$  мА. В якості блока керування технологічним процесом стерилізації консервів в електричному автоклаві використано програмований логічний контролер (ПЛК) ОВЕН ПР200, який представлено на рисунку 2.



Рис. 2. Загальний вид програмованого логічного контролера ОВЕН ПР200, який використано для автоматизації електричного автоклава малої потужності.

Даний ПЛК має можливість з'єднуватися з персональним комп'ютером через інтерфейс USB 2.0. Загальний вид станда автоматизації електричного автоклава наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Загальний вид станда автоматизації електричного автоклава

На персональному комп'ютері із операційною системою Windows 10 встановлено спеціальне програмне забезпечення SIMP Light ENT, яке дозволяє фіксувати поточні показники температури і тиску, та в подальшому експортувати для обробки в MS Excel. Також даний



програмний продукт можна налаштувати для візуалізації технологічного процесу, коли на екрані персонального комп'ютера в режимі реального часу відтворюються графіки зміни тиску і температури.

Проведені дослідження процесу нагріву автоклава та витримки параметрів технологічного процесу стерилізації консервів показують, що є деякі відмінності від теорії ходу проведення процесу і фактичного його перебігу. Теоретично процес стерилізації консервів в автоклаві можна представити у вигляді графіка (рис 4).

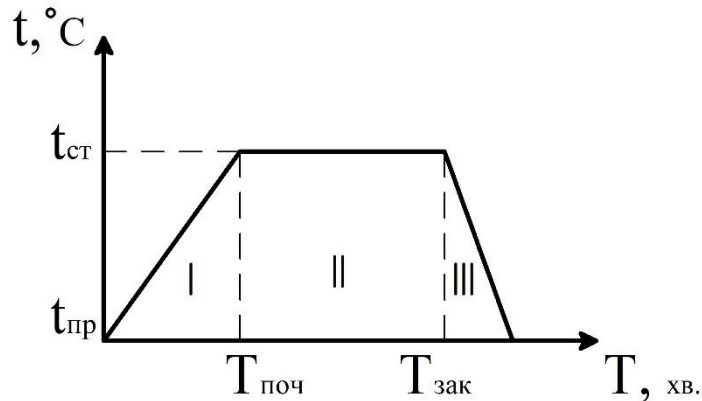


Рис. 4. Графік зміни температури в автоклаві (теоретичний)

Згідно цього графіку, електричний автоклав нагрівається від температури, яка є в приміщенні  $t_{пр}$  до температури, яка необхідна для стерилізації відповідної консерви  $t_{ст}$  за час від нуля до часу початку витримки температури  $T_{поч}$ . Ця зона на графіку позначена «I». Далі відбувається витримка в часі, при постійній температурі стерилізації, до часу закінчення стерилізації  $T_{зак}$ . Ця зона на графіку позначена «II». Після цього електричний автоклав відключають від електричної мережі і дають остигнути. Ця зона на графіку позначена «III».

Графік залежності температури нагріву електричного автоклава фактичний, який отриманий безпосередньо при проведенні експерименту, представлено на рисунку 5. В даному випадку проводився експеримент по стерилізації м'ясних консервів. Температура стерилізації  $t_{ст}$  дорівнювала  $120^{\circ}\text{C}$ , витримка температури стерилізації дорівнювала 20 хвилинам. Експеримент проводився в приміщенні з температурою  $25^{\circ}\text{C}$ . Автоклав, в який завантажили м'ясні консерви, залили необхідною кількістю води, закачали через ніпель повітря, для забезпечення попереднього надлишкового тиску, через ПЛК був підключений до мережі для нагрівання. Час нагріву до температури стерилізації склав 72 хвилини. Графік залежності температури від часу реєструвався автоматично на персональний комп'ютер, який під'єднаний до ПЛК. При досягненні

температури стерилізації 120 °С, ПЛК вимкнув живлення нагрівального елемента електричного автоклава. Але температура автоклава продовжувала збільшуватися до 125°С. Потім зростання температури припинилося, вона почала знижуватися до 119°С. ПЛК знов включив живлення нагрівального елемента і температура знов почала збільшуватися. При 120°С ПЛК виключив живлення, але температура продовжувала збільшуватися. Так процес повторювався декілька разів. Форма графіку, яку зареєстрував персональний комп'ютер – хвиляста лінія на проміжку часу від 72 хвилин до 92 хвилин. При досягненні кінця часу витримки ПЛК відключив електричний автоклав від мережі і він почав охолоджуватися до температури повітря в приміщенні.

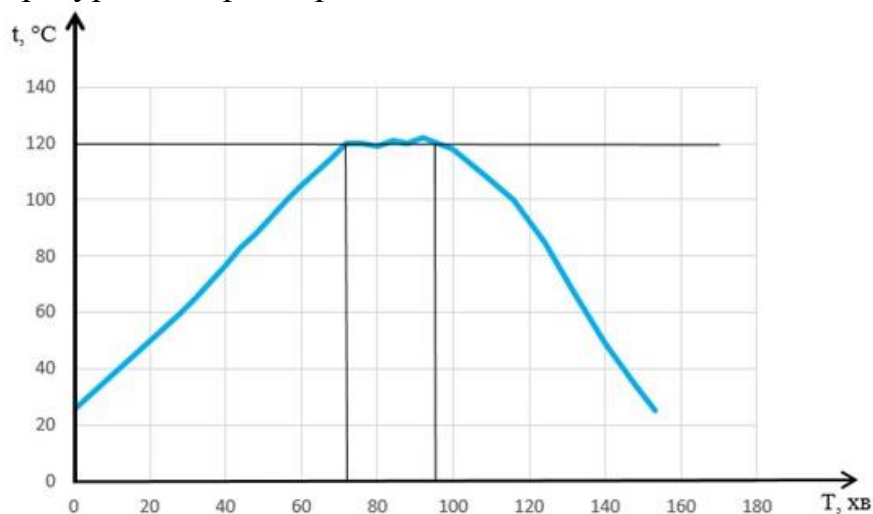


Рис. 5. Графік зміни температури в автоклаві (під час проведення експерименту)

Аналізуючи відмінності теоретичного графіка і того, який отриманий під час проведення експерименту, приходимо до висновку, що під час витримки температури стерилізації відбуваються певні теплові процеси. При вимиканні живлення нагрівального елемента електричного автоклава, температура продовжує зростати по причині того, що нагрівальний елемент при проходженні через нього електричного струму, нагрівається значно більше чим температура навколишньої води. І при вимиканні електричного струму, теплота, яка є в самому нагрівальному елементі, продовжує нагрівати воду до тих пір поки температура води і нагрівального елемента не стане однаковою. Певне перебільшення температури стерилізації не впливає на якість отриманих консервів. Є певна перевитрата енергетичних ресурсів. Для зниження цієї перевитрати необхідно проводити додаткові дослідження.

ПЛК, який використано для автоматизації електричного автоклава має можливість програмування на певну кількість програм,



які відрізняються температурою стерилізації і часом витримки. Тому для проведення теплової обробки консервів вибирають програму, яка відповідає параметрам технологічного процесу стерилізації м'ясних, рослинних або м'ясо-рослинних консервів. Температура стерилізації може бути 100, 110 або 120 °С, час витримки 10, 15, 20, 25, 30, 60 хвилин, або задаватися вручну оператором.

Практичне застосування отриманих результатів полягає в повній автоматизації технологічного процесу стерилізації консервів в електричному автоклаві, що дозволяє відтворення процесу будь-яку кількість разів із збереженням технологічних параметрів проведення процесу. А також є можливість проводити нові наукові дослідження по оптимізації параметрів технологічного процесу стерилізації і приготування нових видів консервів із контрольованими параметрами.

*Висновки.* В статті запропонований комплекс технічних засобів, які дозволяють провести автоматизацію електричного автоклава. Такий комплекс обладнання, який включає електричний автоклав із датчиками тиску і температури, програмований логічний контролер ОВЕН ПР200, який можна запрограмувати на певну кількість програм для реалізації технологічного процесу стерилізації м'ясних, рослинних або м'ясо-рослинних консервів. Температура стерилізації може бути 100, 110 або 120 °С, час витримки 10, 15, 20, 25, 30, 60 хвилин, або задаватися вручну оператором. До ПЛК підключається персональний комп'ютер, який за допомогою програмного забезпечення SIMP Light ENT фіксує поточні показники температури і тиску, а також дозволяє ці данні експортувати в MS Excel для подальшої обробки. Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні цілісного комплексу автоматизації електричного автоклава малої потужності з можливістю керування процесом нагріву. Практичне використання полягає в можливості проводити експерименти по тепловій обробці консервів в електричному автоклаві із багаторазовим повторенням для заданих параметрів технологічного процесу із фіксацією температури і тиску під час проведення експериментів.

#### *Список використаних джерел*

1. Fauziah R., Malaka R., Yuliati F. Titratable acidity and pH changes of pasteurized milk by addition of Roselle flower extract in the refrigerator storage. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No 1. P.012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012057>.
2. Chandrasiri G., Achintha Wijenayake K., Udara S. Development of automated systems for the implementation of food processing. *J. Res. Technol. Eng.* 2022. Vol. 3, No 1. P. 8–18.





3. Radchuk O., Savchenko-Pererva M. Automated control system of devices for extraction of vegetable raw materials with subcritical liquid. *TDATU: Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University*. 2023. Vol. 2, No 13. P. 34–43. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-34>.
4. Ghoshal G. Emerging Food Processing Technologies. *Food Processing for Increased Quality and Consumption*. 2018. Vol. 18. P. 29-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00002-3>.
5. Iqbal J., Khan Z., Khalid A. Prospects of robotics in food industry, *Food Sci. Technol (Campinas)*. 2017. Vol. 37, No 2. P. 159–165. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14616>.
6. Mishachev N., Shmyrin A., Suprunov I. Simulation of sequential processing of a moving extended object. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020. Vol. 11, No 7. P. 11A07T. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.140>.
7. Savchenko-Pererva M. Innovative engineering solution in hotel and restaurant industry. *Modern engineering and innovative technologies*. 2022. Vol. 20, No 1. P. 3–7. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-20-01-010>.
8. Savchenko M., Radchuk O. Automation of electric autoclave control. *Mechanization and automation of production processes*. Sumy, 2024. Vol. 1, No 55. P. 19–26.
9. Featherstone S. Spoilage of canned foods. *A Complete Course in Canning and Related Processes (Fourteenth Edition)*. 2015. Vol. 2. P. 27–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-678-4.00002-6>.
10. Malaka R., Maruddin F. Antioxidant activity of milk pasteurization by addition of Matoa leaf extract (*Pometia pinnata*). *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No1. P. 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012046>.
11. Triana A., Maruddin F., Malaka, R. Supplementation of matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract and alginate suppressed the growth of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in pasteurized milk. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 492, No1. P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012044>.
12. Saravacos G., Kostaropoulos A. Equipment for novel food processes. *Handbook of food processing equipment*. 2016. P. 605–643.
13. Jijo K., Ramesh K. Process automation for a food processing plant, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*. 2014. Vol. 3, No 6. P. 1744–1750.
14. Mokrushin S. Selection of a system for automatic control of the sterilization process of canned food in an industrial autoclave. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. Vol. 1052, No 1. P. 012136. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012136>.



15. Hartulistiyoso E., Akmal M. Energy Usage Analysis on The Production Process of Canned Crab Meat (*Portunus pelagicus*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. Vol. 542. P. 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012048>.

16. Triana A., Maruddin F., Malaka R., Taufik M. Matoes pasteurized milk quality subjected to the different levels of alginate. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 575, No 1. P. 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012029>.

17. Munirah M., Malaka R., Maruddin F. Organoleptic quality of pasteurization milk by matoes (*Pometia pinnata*) leaf extract supplementation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 788. P. 012098. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012098>.

*Стаття надійшла до редакції 21.08.2024 р.*

**M. Savchenko, O. Radchuk**  
**Sumy National Agrarian University**

## **AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF STERILIZATION OF CANS**

### *Summary*

The purpose of the article is to create a stand for the automation of a low-power electric autoclave, which allows you to conduct research on the process of sterilization of canned food with meat, vegetable and meat-vegetable raw materials, and to repeat the experiment multiple times for the given technological parameters with their fixation for further processing on a personal computer. To achieve the goal, the equipment for automating the electric autoclave was selected. The process of heating the autoclave and holding the parameters of the technological process of sterilization of canned food were studied. The automation scheme of a low-power electric autoclave is described. An analysis of the design of the electric autoclave was made, detailing the main parts. Studies of the process of heating the autoclave and holding the parameters of the technological process of sterilization of canned food have been carried out. The data of the course of the parameters are presented in the graphs. Conclusions and recommendations have been made regarding the scientific and practical use of the proposed solutions. The article offers a set of technical tools that allow automation of an electric autoclave. Such a complex of equipment, which includes an electric autoclave with pressure and temperature sensors, a programmable logic controller OWEN PR200, which can be programmed for a certain number of programs to implement the technological process of sterilization of meat, vegetable or meat-vegetable preserves. The sterilization temperature can be 100, 110 or 120 °C, the exposure time can be 10, 15, 20, 25, 30, 60 minutes, or it can be set manually by the operator. A personal computer is connected to the PLC, which, with the help of the SIMP Light ENT software, captures the current temperature and pressure indicators, and also allows these data to be exported to MS Excel for further processing. The scientific novelty of the obtained results consists in obtaining a complete automation complex of a low-power electric autoclave with the possibility of controlling the heating process. Practical use consists in the possibility of conducting experiments on the heat treatment of canned



goods in an electric autoclave with multiple repetitions for the given parameters of the technological process with the fixation of temperature and pressure during the experiments.

**Key words:** electrical equipment, meat, meat and vegetable raw materials, automated stand, technological parameters, process, food industry, laboratory equipment, food products.