

**РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПРОГРАМИ ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ХАРЧОВИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

*Н. А. Заєць, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [z-n@ukr.net](mailto:z-n@ukr.net)*

*В. М. Штена, кандидат технічних наук,*

*керівник НДЛ «Екоінженерія»*

*Поліський державний університет, Республіка Білорусь, м. Пінськ*

*E-mail: [shns1981@gmail.com](mailto:shns1981@gmail.com)*

*О. В. Савчук, кандидат технічних наук, старший викладач*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [sav99871@gmail.com](mailto:sav99871@gmail.com)*

*А. В. Роговик, аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій  
систем управління*

*Національний університет харчових технологій*

*E-mail: [andrey\\_rogovik@ukr.net](mailto:andrey_rogovik@ukr.net)*

**Анотація.** Проаналізовано та розкрито етапи процесу формування комплексної програми технічного обслуговування та ремонту обладнання, що базується на принципах обслуговування на підставі надійності (Reliability-Centered Maintenance ІЕС 60300-3-11: 2009). Проведено аналіз функціонування електротехнічних комплексів харчових виробництв, визначено етапи обслуговування на підставі надійності. Визначено ключове електротехнічне обладнання для розробки підсистеми прогнозування в системі реалізації процесу обслуговування на підставі надійності для електротехнічних комплексів харчових виробництв. Показано, що запропонована методологія дозволить виявляти оптимальний склад робіт попереджувального й коригуючого технічного обслуговування. Розроблена програма технічного обслуговування повинна змінюватися та періодично переглядатися залежно від моніторингу зміни ефективності та даних про відмови електротехнічного обладнання під час його експлуатації. У результаті розроблено структуру системи реалізації програми технічного обслуговування, що включає процес аналізу стану електротехнічного

обладнання, з використанням підсистем прогнозування надійності первинних вимірjuвальних перетворювачів і електродвигунів та рекомендовані подальші дії, що необхідні для забезпечення цілей управління виробництвом. У подальших дослідженнях буде проведена програмна та технічна реалізація комплексної програми технічного обслуговування.

**Ключові слова:** *електротехнічне обладнання, діагностика, технічне обслуговування, обслуговування на підставі надійності*

**Актуальність.** Всі технологічні процеси на підприємствах неперервного типу реалізуються з використанням електротехнічних пристроїв, які пов'язані між собою інформаційними, керуючими та силовими електричними зв'язками, що в результаті утворює цілісний електротехнічний комплекс. Головна вимога до роботи будь-якого електротехнічного комплексу неперервних виробництв – це отримання найвищого прибутку, що є результатом безперервної і безперебійної роботи так як ефективність роботи електротехнічного комплексу харчових виробництв значною мірою визначається надійністю електротехнічних засобів. Однією з головних складових планування попереджувальних ремонтів, а також попередження аварійних відмов обладнання є діагностика всіх його вузлів і компонентів для визначення поточного стану й вирішення завдань із прогнозування терміну служби обладнання.

У галузі харчових виробництв характерною особливістю переробки сировини в кінцевий продукт є те, що вихід із ладу електродвигуна призводить до простою технологічного обладнання та псування продукції або зменшення її якості, що спричиняє збільшення фінансових витрат підприємства. Додатково до збитків додається зниження електро- і пожежобезпеки, пов'язане з можливими короткими замиканнями, які можуть бути присутніми в обмотці статора або ротора пошкодженого електродвигуна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Порівняльний аналіз методів обслуговування електротехнічного обладнання показав, що за планово-попереджувальних ремонтів і випробувань не менше 50 % обслуговувань виконується без фактичної їх необхідності [1, 2, 3]. Для більшості машин між тим не знижується частота виходу їх із ладу. Проте надійність роботи після обслуговування

з розбиранням і заміною деталей часто знижується, оскільки близько 70 % дефектів викликано виконанням робіт з обслуговування. Планово-попереджувальний ремонт призводить тільки до додаткових витрат ресурсів, ніяк не впливаючи на надійність обладнання та його довговічність. Не завжди теоретичний термін експлуатації компонентів відповідає фактичному й деталі слід міняти не на основі передбачуваного планового зносу, а виходячи з їх фактичного стану. Вперше до такого висновку прийшов Британський вчений Конрад Хел Уоддінгтон.

Новий підхід до обслуговування отримав назву RCM (Reliability-Centered Maintenance – обслуговування на підставі надійності) і став поступово перейматися всіма провідними промисловими підприємствами, довівши свою ефективність як в економії коштів, так і в забезпеченні надійності обслуговуваних механізмів [4]. Отже, провідні світові підприємства почали відмовлятися від ППР ще в 70-х роках і на сьогодні RCM-обслуговування є найбільш прогресивним і ефективним підходом для будь-якого виробничого підприємства.

Отже, для забезпечення безперебійної роботи електротехнічного комплексу харчових виробництв за рахунок вирішення задачі прогнозування надійності роботи електротехнічного обладнання необхідно розробити систему, основною метою якої є досягнення однієї або декількох таких цілей:

- встановлення закономірностей виникнення відмов під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів;
- пошук способів підвищення надійності як системи загалом, так і кожного компоненту окремо;
- прогнозування ймовірності відмови обладнання.

**Мета дослідження** – розробити комплексну програму технічного обслуговування для забезпечення безперебійної роботи електротехнічного комплексу харчових виробництв за рахунок вирішення задачі прогнозування надійності роботи електротехнічного обладнання.



Рис. 1. Процес RCM для електротехнічних комплексів харчових виробництв

**Матеріали та методи дослідження.** Оперативне регулювання та контроль стану електротехнічного обладнання повинні виконуватися одночасно як в загальному масштабі виробництва, так і в масштабі окремих його цехів.

Провівши аналіз функціонування електротехнічних комплексів харчових виробництв, визначено такі етапи обслуговування на підставі надійності:

- факторно-цільовий аналіз підприємства та планування RCM;
- визначення пріоритетності технологічних підсистем виробництва та аналіз функціональних відмов їх обладнання;
- вибір задач технічного обслуговування ;
- розробка орієнтованої на надійність системи прогнозування поломок електротехнічного обладнання та її постійне вдосконалення;
- інтеграція RCM у систему керування ЕТК.

Метою RCM є дотримання вимог надійності та безпеки системи виробництва за забезпечення максимально можливого рівня ефективності завдяки формуванню оптимальної програми технічного обслуговування й ремонтів обладнання. Для електротехнічних комплексів харчових виробництв загальний процес RCM необхідно доповнити ключовими етапами (рис. 1): системний аналіз електротехнічного комплексу харчових виробництв із побудовою А-сценарію та С-сценарію [5]; функціональний розподіл електротехнічного обладнання з визначенням ключових вузлів та елементів для подальшого прогнозування; розробка підсистеми прогнозування поломок електротехнічного обладнання.

У статті передбачається розробка комплексної програми RCM, що включатиме не тільки процес аналізу електротехнічного комплексу, але й рекомендовані подальші дії, що необхідні для забезпечення цілей управління виробництвом. Тобто, на верхньому рівні управління виробництвом потрібно розробити систему підтримки прийняття рішень, що складається з підсистем автоматизованого управління технологічним процесом та RCM і виконує такі функції:

- автоматизоване управління технологічним процесом, а також визначення нештатних режимів роботи підприємства;

- локалізація поломок, реєстрація фактичного часу моментів появи й усунення поломок;
- прогнозування значень технологічних змінних у різних режимах роботи системи, а також часу, потрібного на відновлення роботи системи і граничного його значення;
- визначення й реєстрація фактичного часу, потрібного на відновлення робочого стану системи і для її переходу у штатний режим роботи;
- відображення оперативної інформації про поломки в системі, перехід у критичний, надзвичайний або аварійний режим роботи, суттєві відхилення контрольованих технологічних змінних від заданих значень, які можуть призвести до негативних наслідків;
- запис, накопичення і зберігання інформації про поломки, несправності і вихід технологічних змінних з області допустимих значень для подальшої обробки, аналізу, вироблення коригуючих керуючих дій, прийняття рішень і візуалізація накопиченої інформації.

**Результати досліджень та їх обговорення.** З аналізу електротехнічного комплексу харчових виробництв отримано його комплекс технічних засобів, що включає мікропроцесорний контролер, вимірювальні перетворювачі, пуско-захисну апаратуру, електроприводи, електродвигуни, частотні перетворювачі, регулюючі органи та ін. Визначення методів та розробка системи прогнозування надійності роботи всього обладнання потребує багато ресурсів і часу. Отже, необхідно визначити ключове електротехнічне обладнання для розробити підсистему прогнозування його надійності в системі реалізації процесу RCM для електротехнічних комплексів харчових виробництв.

Оскільки електродвигуни є найбільш поширеними елементами електрообладнання харчового підприємства, безперебійність їхньої роботи має найбільший вплив на експлуатаційну надійність електротехнічного комплексу, а від точності роботи вимірювальних перетворювачів залежить оперативність та достовірність інформації про поточний стан технологічних параметрів, то доцільно

обрати їх як ключове обладнання [6]. Визначення частоти виконання технічного обслуговування та ремонту для інших електротехнічних засобів у структурі системи реалізації програми технічного обслуговування (рис. 2) визначатиметься за встановленою періодичністю згідно з паспортом обладнання.



**Рис.2. Структура системи реалізації програми технічного обслуговування**

Деякі відмови можуть вважатися допустимими, якщо їхні наслідки, такі як зниження продуктивності, вплив на безпеку та навколишнє середовище, економічні наслідки та ін., можуть вважатися прийнятними в порівнянні з вартістю

попереджувального технічного обслуговування й розмірами подальшого збитку від відмов та зупинки виробництва. Під час управління ЕТК харчових виробництв може застосовуватися підхід, за якого електротехнічне обладнання експлуатують до відмови, а ТО виконують тільки після її настання. Також існує підхід, коли резервування обладнання, що відмовило забезпечує продовження нормального функціонування виробництва й коригуюче ТО або ремонт відкладають до більш зручного часу з огляду проходження технологічного процесу. Для цих випадків необхідно розробити модель прогнозу розвитку ситуації, яка б в оперативному режимі визначала ефективність вибору різних сценаріїв управління.

Запропонована методологія RCM дозволить виявляти оптимальний склад робіт попереджувального й коригуючого технічного обслуговування. Початкова програма технічного обслуговування повинна змінюватися та періодично переглядатися залежно від моніторингу його ефективності, досвіду проведення ТО й отримання даних про відмови електротехнічного обладнання під час його експлуатації. Для оновлення системи RCM, зміни вирішуваних задач, частоти виконання технічного обслуговування та ремонту база даних параметрів ЕТК повинна збирати такі дані:

- дати виникнення відмов і час експлуатації виробів до кожного відмови;
- причини відмови електротехнічного обладнання;
- тривалість різних видів технічного обслуговування;
- ефективність підсистеми прогнозування поломок електротехнічного обладнання ;
- ефективність поточної програми технічного обслуговування.

Дані, що збираються системою технічного обслуговування або безпосередньо обслуговуючим персоналом, забезпечують зворотній зв'язок, що значно підвищує ефективність системи ТО, розробленої на основі RCM-аналізу. Ця інформація повинна містити дані про частоту виконання технічного обслуговування, про технічний стан електротехнічного обладнання, отримані в процесі його моніторингу, про планово-попереджувальні ремонти й заміни обладнання та ін.



**Висновки і перспективи.** У статті обґрунтовано формалізований процес формування комплексної програми технічного обслуговування та ремонту обладнання, що базується на принципах обслуговування на підставі надійності (Reliability-Centered Maintenance ІЕС 60300-3-11: 2009) з використанням підсистем прогнозування надійності первинних вимірювальних перетворювачів та електродвигунів. У результаті розроблено структуру системи реалізації програми технічного обслуговування, що включає не тільки процес аналізу стану електротехнічного обладнання, але й рекомендовані подальші дії, що необхідні для забезпечення цілей управління виробництвом. Програмна та технічна реалізація комплексної програми технічного обслуговування буде проведена в подальших дослідженнях.

#### **Список літератури**

1. Губаревич О. В. Надійність і діагностика електрообладнання. Сєверодонецьк, 2016.
2. Еремеев С. Н. Профилактическое обслуживание электродвигателей высоконагруженного технологического оборудования. Электрика. 2001. № 3.
3. Лут М. Т., Брагіда М. В., Батечко Н. Г. Основи технічної експлуатації електрообладнання і систем автоматизації: навчальний посібник. К., 2015. 410 с.
4. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293775/4293775258.pdf>.
5. Zaiets N., Vlasenko L., Lutskaya N., Usenko S. System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries ICMRE 2019. The 5<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering, February 16–19, 2019, Rome, Italy. P. 93–99.
6. Zaiets N., Kondratenko I. Development of an Intelligent System for Predicting the Reliability of Electric Motors. IEEE 39<sup>th</sup> International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 16–18, 2019, Kyiv, Ukraine. P. 614–619.

#### **References**

1. Gubarevich, O. V. (2016). Nadiynist' i diahnostyka elektroobladnannya [Reliability and diagnostics of electrical equipment]. Severodonetsk.
2. Eremeev, S. N. (2001). Profylaktycheskoe obsluzhyvanye élektrovyhateley vysokonahruzhennoho tekhnolohycheskoho oborudovanyya [Preventive maintenance of electric motors of highly loaded technological equipment]. Electricity, 3.

3. Lut, M. T., Bragida, M. V., Batechko, N. G. (2015). Osnovy tekhnichnoyi ekspluatatsiyi elektroobladnannya i system avtomatyzatsiyi: navchal'nyy posibnyk [Fundamentals of technical operation of electrical equipment and automation systems: a textbook], Kiev, 410.

4. Reliability in technology. Reliability management. Maintenance-oriented maintenance. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293775/4293775258.pdf>.

5. Zaiets, N., Vlasenko, L., Lutsкая, N., Usenko, S. System Modeling for Construction of the Diagnostic Subsystem of the Integrated Automated Control System for the Technological Complex of Food Industries ICMRE 2019. The 5<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering, February 16–19, 2019, Rome, Italy, 93–99.

6. Zaiets, N., Kondratenko, I. Development of an Intelligent System for Predicting the Reliability of Electric Motors. IEEE 39<sup>th</sup> International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 16–18, 2019, Kyiv, Ukraine, 614–619.

## **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***Н. А. Заяц, В. Н. Штена, А. В. Савчук, А. В. Роговик***

**Аннотация.** Проанализированы и раскрыты этапы процесса формирования комплексной программы технического обслуживания и ремонта оборудования, основанные на принципах обслуживания на основании надежности (*Reliability-Centered Maintenance IEC 60300-3-11: 2009*). Проведен анализ функционирования электротехнических комплексов пищевых производств, определены этапы обслуживания на основании надежности. Определено ключевое электротехническое оборудование для разработки подсистемы прогнозирования в системе реализации процесса обслуживания на основании надежности для электротехнических комплексов пищевых производств. Показано, что предложенная методология позволит выявлять оптимальный состав работ предупредительного и корректирующего технического обслуживания. Разработана программа технического обслуживания должна меняться и периодически пересматриваться в зависимости от мониторинга изменения эффективности и данных об отказах электротехнического оборудования при его эксплуатации. В результате разработана структура системы реализации программы технического обслуживания, включая процесс анализа состояния электротехнического оборудования, с использованием подсистем прогнозирования надежности первичных измерительных преобразователей и электродвигателей и рекомендованы дальнейшие действия, необходимые для обеспечения целей управление производством. В дальнейших исследованиях будет проведена программная и техническая реализация комплексной программы технического обслуживания.

**Ключевые слова:** электротехническое оборудование, диагностика, техническое обслуживание, обслуживание на основании надежности

## **DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE MAINTENANCE PROGRAM ELECTROTECHNICAL COMPLEXES OF FOOD PRODUCTION**

*N. Zaiets, V. Shtepa, O. Savchuk, A. Rogovik*

***Abstract.** The stages of the process of forming a comprehensive program of maintenance and repair of equipment based on the principles of Reliability-Centered Maintenance (IEC 60300-3-11: 2009) are analyzed and revealed. The analysis of functioning of electrotechnical complexes of food production is carried out, the stages of service are determined on the basis of reliability. The key electrotechnical equipment for the development of the forecasting subsystem in the system of realization of the service process on the basis of reliability for the electrotechnical complexes of food production is determined. It is shown that the proposed methodology will allow to identify the optimal composition of preventive and corrective maintenance works. The maintenance program developed must be revised and periodically reviewed, depending on the monitoring of changes in performance and data on failures of electrical equipment during its operation. As a result, the structure of the system of implementation of the maintenance program, including the process of analysis of the state of electrical equipment, using the subsystems of reliability prediction of the primary measuring transducers and electric motors was developed, and further steps required to ensure the purposes of production management were recommended. Further studies will include software and technical implementation of a comprehensive maintenance program.*

**Key words:** *electrical equipment, diagnostics, maintenance, reliability based services*

# № 4 (2019)

## ЗМІСТ

### СТАТТІ

Трифазна двополюсна шаблонна одношарова обмотка асинхронного двигуна M. Zablodsky, R. Chuienko	PDF 5-13 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.005">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.005</a>
Розроблення комплексної програми технічного обслуговування електротехнічних комплексів харчових виробництв N. Zaiets, <b>V. Shtepa</b> , O. Savchuk, A. Rogovik	PDF 14-24 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.014">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.014</a>
Замочування насіння сільськогосподарських культур у магнітоактивованій воді V. Savchenko, O. Sinyavsky, O. Zakhliupanyi, P. Tsybulko	PDF 25-31 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.025">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.025</a>
Застосування енергоефективних опалювальних систем в пташниках N. A. Spodyniuk	PDF (ENGLISH) 32-43 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.032">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.032</a>
Інформаційна система експертиз радіаційної безпеки O. Tkachenko, V. Kutsenko	PDF 44-55 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.044">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.044</a>
Розробка методики ідентифікації математичних моделей технологічних об'єктів з невизначеностями N. Lutska	PDF 56-69 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.056">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.056</a>
Моделювання метаногенезу гною свиней в біогазових установках з використанням середовища simulink MatLab V. Miroshnyk, T. Lendiel, S. Shvorov, T. Davidenko	PDF 70-79 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.070">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.070</a>
Концепція створення автоматизованих біотехнічних систем у рослинництві L. Nykyforova	PDF 80-90 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.080">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.080</a>
Методика визначення якісних показників продуктів ферментації біогазових установок M. Potapenko, V. Ramsh, V. Sharshon	PDF 91-99 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.091">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.091</a>
Дослідження на комп'ютерній моделі характеристик синхронного генератора I. Golodnyi, V. Lisovenko	PDF 100-107 <a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.100">http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.04.100</a>

	2019.04.100
<p>Maple-модель руху частинки по похилій площині в функції часу  A. Nesvidomin</p>	<p style="text-align: right;">PDF  108-118</p> <p><a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya">http://dx.doi.org/10.31548/energiya</a>  2019.04.108</p>
<p>Шляхи удосконалення системи електропостачання сільської місцевості  V. Vasilenko, O. Dzhura, V. Gerasimenko</p>	<p style="text-align: right;">PDF  119-127</p> <p><a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya">http://dx.doi.org/10.31548/energiya</a>  2019.04.119</p>
<p><u>До питання визначення величини поглиненої енергії оптичного випромінювання біологічним об'єктом</u>  L. Chervinsky, T. Knizhka, A. Romanenko</p>	<p style="text-align: right;">PDF  128-139</p> <p><a href="http://dx.doi.org/10.31548/energiya">http://dx.doi.org/10.31548/energiya</a>  <u>2019.04.128</u></p>