

УДК 621.039.4.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ СТАНУ ТЕПЛООБМІННИХ ТРУБОК
ПГВ-1000. ПІДСИСТЕМА ПРОГНОЗУ ЗНОСУ ТОТ.**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЯ СИСТЕМА УЧЁТА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ
ТРУБОК ПГВ-1000. ПОДСИСТЕМА ПРОГНОЗА ИЗНОСА ТОТ.**

**COMPUTER SYSTEM FOR ACCOUNTING OF THE STATE OF HEAT EXCHANGE
TUBES NET OF THE PGV-1000 STEAM GENERATOR. NET WEAR DEPRECIATION
SUBSYSTEM.**

Науковий керівник – кафедра АЕС; доцент, кандидат технічних наук - Висоцький Ю.І.,
Старший викладач – Комарова Я.О.,

Магістр – Березняк В.Ю.

Научный руководитель – кафедра АЭС; доцент, кандидат технических наук - Высоцкий
Ю.И., Старший преподаватель – Комарова Я.О.,

Магистр – Березняк В.Ю.

Supervisor – department of NPP; associate professor, candidate of technical sciences – Y.I.
Vysotsky, Assistant – Y.O. Komarova,

Master – V.Y. Bereznyak.

АННОТАЦІЯ

Автоматизована система обліку(АСО) стану теплообмінних трубок(ТОТ) ПГВ-1000 призначена для ведення обліку стану трубчатки парогенераторів АЕС с будь-якою

кількістю блоків, для автоматизації процесу формування програми контролю стану трубок, виводу звітних документів по контролю та стану теплообмінної поверхні.

В ході виконання завдання розроблений склад інформаційного забезпечення системи: 6 таблиць розміщені в базі даних на серверну та локальну частини. Серверна частина – це загальна база даних, яка зберігається на сервері і до неї мають доступ з можливістю редагування локальні користувачі.

Метою роботи є створення автоматизованої системи обліку стану ТОТ ПГВ-1000 з підсистемою прогнозування зносу ТОТ. Ця система допоможе операторам обробляти інформацію щодо стану кожної трубки, створювати програми контролю, виводити картограми та звіт. Підсистема прогнозу зносу покаже на які трубки варто звернути увагу під час наступного контролю стану ТОТ.

Ключові слова: парогенератор, теплообмінні трубки, прогноз, інтерполяція.

АННОТАЦИЯ

Автоматическая система учёта(АСУ) состояния теплообменных трубок(ТОТ) ПГВ-1000 предназначена для ведения учёта состояния трубочки парогенераторов АЭС с любым количеством блоков, для автоматизации процесса формирования программы контроля состояния трубок, вывода отчётных документов по контролю и состоянию теплообменной поверхности.

В ходе выполнения задания разработан состав информационного обеспечения системы: 6 таблиц размещены в базе данных и разделены на серверную и локальные части. Серверная часть – это общая база данных, которая хранится на сервере и к ней имеют доступ с возможностью редактирования локальные пользователи.

Целью работы является создание автоматизированной системы учёта состояния ТОТ ПГВ-1000 с подсистемой прогнозирования износа ТОТ. Эта система поможет операторам службы контроля металлов обрабатывать информацию о состоянии каждой трубки, создавать программы контроля, выводить картограммы состояния трубочки и отчёт по прогнозу. Подсистема прогноза износа покажет на какие трубки стоит обратить внимание во время следующего контроля состояния ТОТ.

Ключевые слова: парогенератор, теплообменные трубки, прогноз, интерполяция.

ABSTRACT

Automated calculation system (ACS) for the condition of the heat exchange tubes of PGV-1000 steam generators is intended to record the steam generators' tubular condition of NPPs with any number of power units for automation of tubes state control program's forming process, output of the heat exchange surface's control and state reporting documents

In the course of task the composition of information support system was developed: 6 tables were placed in the database on the server and local sides. The server side is a shared database that is stored on the server and it can be accessed by local users with editing ability.

The purpose of the work is to create an automated calculation system for the condition of the heat exchange tubes of PGV-1000 with a subsystem for the heat exchange tubes' wear predicting. This system will help metal control service operators to process information about the status of each tube, create monitoring programs, display tubular status charts and a forecast report. Wear predicting subsystem will indicate which tubes should be considered during the next heat exchange tubes monitoring.

Keywords: steam generator, heat exchange tubes, forecast, interpolation.

ВСТУП

В наш час працездатність парогенераторів є однією з найважливіших складових безпечної експлуатації енергоблоку АЕС з ВВЕР під час його строку служби. Парогенератори є найбільш пошкоджуваним теплообмінним обладнанням енергоблоків АЕС. За кордоном на АЕС с PWR до 2005 року вже замінено близько 200 парогенераторів з 475 діючих, на АЕС з ВВЕР-1000 з 104 ПГ – замінено 40. Заміна ПГ на АЕС відбувається через пошкодження теплообмінних труб (ТОТ). На майданчиках с ВВЕР-1000 в 1987-1992 р.р. 34 ПГ було замінено через пошкодження колекторів в районі перфорації[1]. Після виявлення причин пошкоджень та виконання комплексу мір, подібних випадків руйнування не зустрічалося. Тому аналіз та розгляд дефектів є важливим фактором успішної та безпечної експлуатації обладнання. В останні роки основним елементом, що визначає фактичний термін служби ПГ на АЕС з ВВЕР, є теплообмінні труби. Забезпечення цілісності теплообмінних труб, з дотриманням необхідних критеріїв надійності, є основним завданням при управлінні ресурсними характеристиками

парогенераторів. Особливо актуальним в даний час є підтвердження можливості подальшої експлуатації ПГ за межами 30-річного терміну служби енергоблоків АЕС з ВВЕР.

Важливими особливостями програми є: зручний та зрозумілий інтерфейс для користувача, спроможність вести облік ТОТ для конкретного ПГ на даний час, відображення для друку картограми контролю та обсягу контролю ПГ для блоку, можливість перегляду таблиць стану трубок та їх дефектів, а також друк звітних документів за період часу.

Розробка програми контролю конкретного ПГ – багатоетапний процес, який потребує врахування результатів та зон контролю попередніх років, особливості поточної експлуатації АЕС. Тому перед початком розробки програми контролю рекомендується надрукувати сумарні картограми колектора і на них помітити заплановані ділянки.

Використання автоматизованої інформаційної системи дозволяє підвищити якість планування ремонтних робіт, скоротити час на розробку та друк програм контролю, покращити стан обліку при проведенні планово-попереджувального ремонту.

ОПИС ПРОБЛЕМИ ПРИ РОБОТІ ПАРОГЕНЕРАТОРУ В СТАЦІОРНОМУ РЕЖИМІ

В ході роботи парогенератору його трубки піддаються різноманітним негативним впливам зі сторони як першого, так і другого контуру **ядерної** установки. В наш час застосовують спеціальні водоочисні установки задля створення сприятливих умов водно-хімічного стану теплоносія та котлової води. Але через великі обсяги води, високотемпературний режим і інтенсивні процеси випаровування бувають відхилення, що приводить до ерозійного або корозійного зносу трубок. Як показує досвід експлуатації парогенераторів типу ПГВ-1000, перші систематичні глушіння ТОТ за результатами вихрострумовевого контролю відбуваються звичайно через 5-10 років після пуску блока. За часом ці глушіння співпадають з утворенням на поверхні ТОТ нерозчинних відкладень шламу з середньою питомою забрудненістю більш 150 г/м^2 . Основні джерела накопичування шламу в ПГ це надходження с поживною водою іонів та розчинених молекул та мілко дисперсних частинок оксидів заліза та міді [2].

По мірі росту відкладень в локальних зонах перегріву на поверхні трубочатки ПГ під ними починають концентруватись розчинені солі(в тому числі хлориди, сульфати), які при достатній концентрації можуть викликати утворення піттингів та корозійних розтріскувань ТОТ.

При будіванні моделі пошкодження трубочатки під час роботи ПГ в стаціонарних режимах були відведені наступні стадії (Рис. 1):

Для зародження і зростання корозійних процесів необхідний одночасний вплив наступних факторів:

Наявність досить товстих відкладень, що викликають концентрування під відкладеннями на поверхні ТОТ при роботі ПГ агресивних компонентів та утворення критичних для зародження тріщин концентрацій окисників;

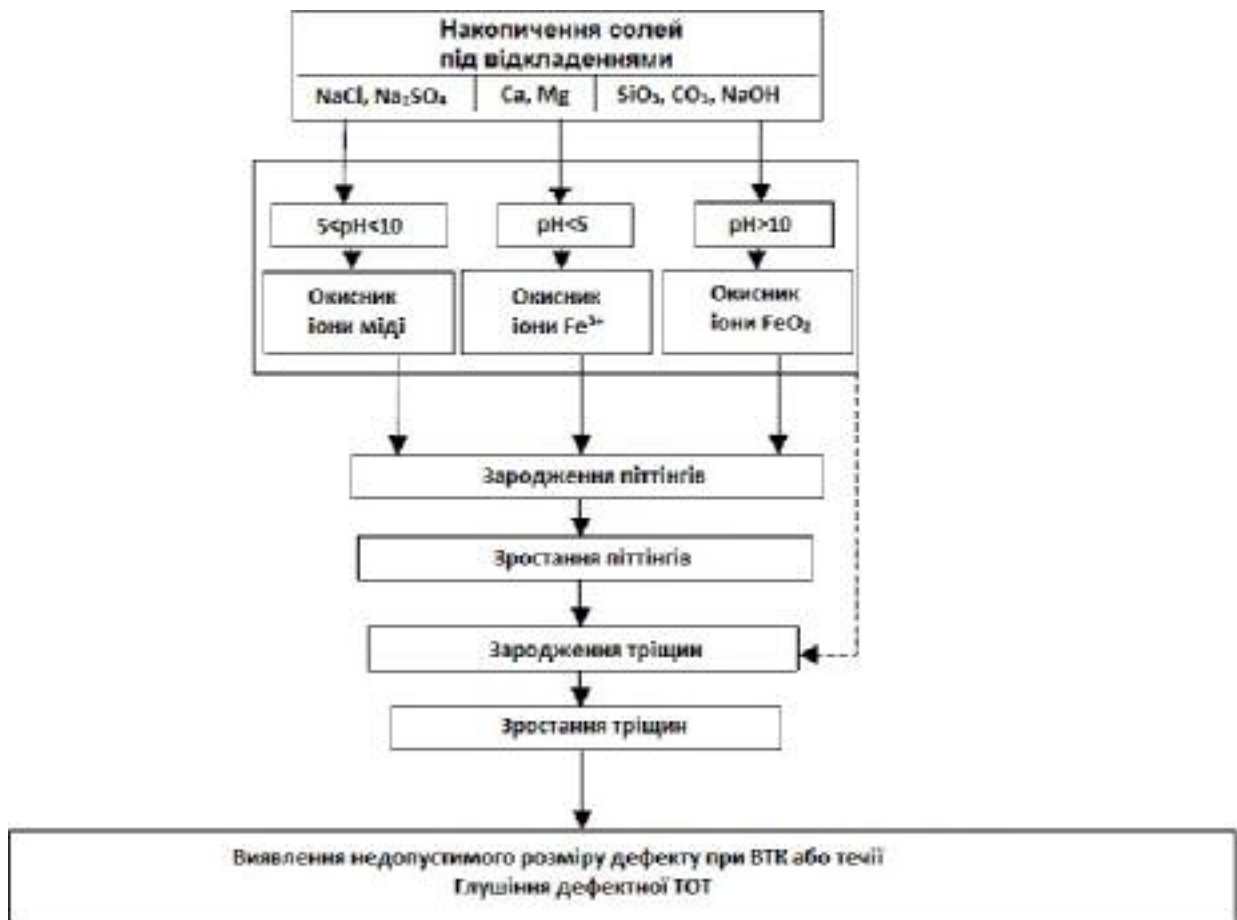


Рис. 1 – Модель пошкодження трубочатки під час роботи ПГ.

- Наявність на поверхні ТОТ пітінгів або інших концентраторів напруження;
- Прикладення напруження, викликаючи активну пластичну деформацію в вершині гострого дефекту;

МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ЗНОСУ ТОТ ПГВ-1000

Завдяки АСО ТОТ оператор має змогу контролювати та вести облік стану трубок конкретного ПГВ-1000. Враховуючи велику кількість трубок (11000 шт.) це завдання необхідно виконувати автоматизовано та швидко. Під час планово-запобіжного ремонту контролюються трубки с індикацією «нестача матеріалу» від 20%. Знос залежить від багатьох факторів, враховуючи систематичні дані вимірів трубок ми маємо змогу спрогнозувати подальший відсоток зносу, що допоможе оператору орієнтуватися в трубках, процент зносу яких потенційно може перевищити критерій глушіння, а в випадку значного перевищення критеріїв безпечної експлуатації – до зупинки блоку. Подальші дії залежать від оператора і його рішення щодо трубки.

Для прогнозу зносу використовуємо інтерполяційні формули Ньютона для рівновіддалених вузлів [3,4]. Вузли інтерполяції вважаються рівновіддаленими, якщо:

$$X_{i+1} - X_i = \Delta X_i = h = \text{const}$$

Перша інтерполяційна формула Ньютона має вигляд:

$$y(x) = P_n(x) = y_0 + q\Delta y_0 + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta y_0^2 + \dots + \frac{q(q-1)\dots(q-n+1)}{n!}\Delta y_0^n, \quad (1.1)$$

де $q = \frac{x - x_0}{h}$.

Формула (1.1) використовується для інтерполювання та екстраполювання в точках x близьких до початку таблиці x_0 .

При $n=2$ з формули (1.1) отримуємо окремі випадки:

Лінійна інтерполяція

$$y(x) = y_0 + q\Delta y_0 \quad (1.2)$$

Квадратична інтерполяція

$$y(x) = y_0 + q\Delta y_0 + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta y_0^2 \quad (1.3)$$

Для практичного моделювання зносу використовуємо Microsoft Excell з вбудованим в нього пакетом VBA. Наприклад, маємо конкретну трубку з індикацією «нестача матеріалу». Маючи хоча б дві величини зносу прогнозуємо її стан на подальші роки. Приведемо просту таблицю 1:

Таблиця 1 – Стан трубки лінійної інтерполяції(реальні данні)

Рік	Знос трубки, %
2015	25
2017	32

За допомогою лінійної інтерполяції можна отримати прогнозне значення зносу трубки на 2019 рік(таблиця 2):

Таблиця 2 – Стан трубки лінійної інтерполяції(після прогнозу)

Рік	Знос трубки, %
2015	25
2017	32
2019	39

Отримані данні

представлено на рис. 2:

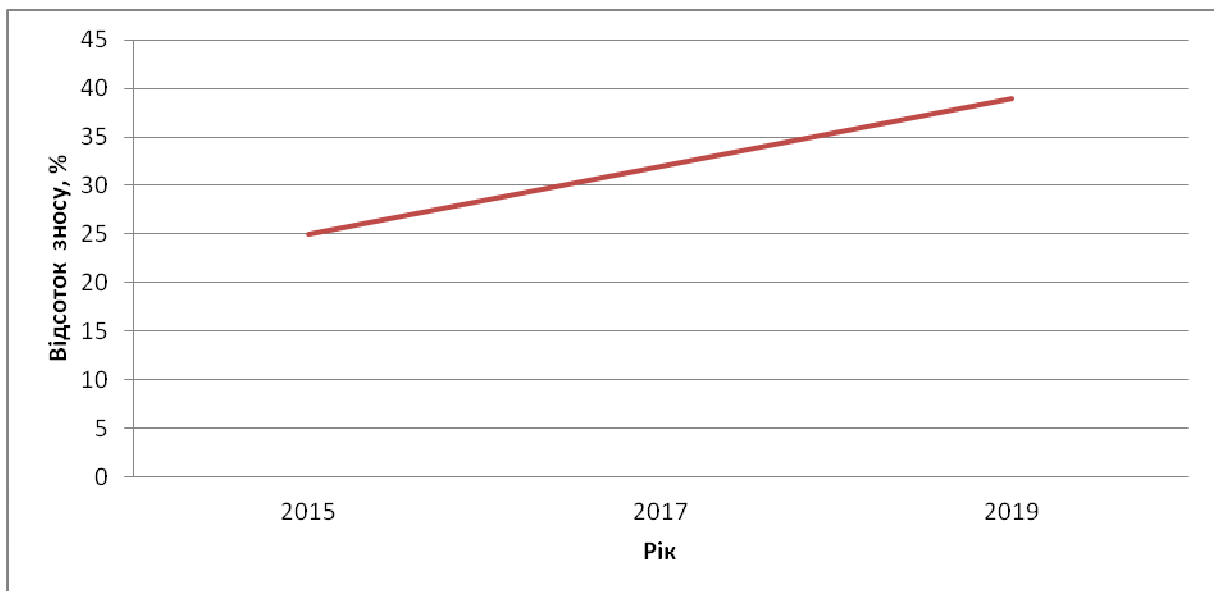


Рис. 2 – Лінійна інтерполяція.

Якщо розглядати випадок з вихідними даними щодо стану трубки, які були отримані за три виміри, використаємо метод квадратичної інтерполяції:

Таблиця 3 – Стан трубки квадратичної інтерполяції(після прогнозу)

Рік	Знос трубки, %
2008	18
2014	25
2017	31
2019	35,85

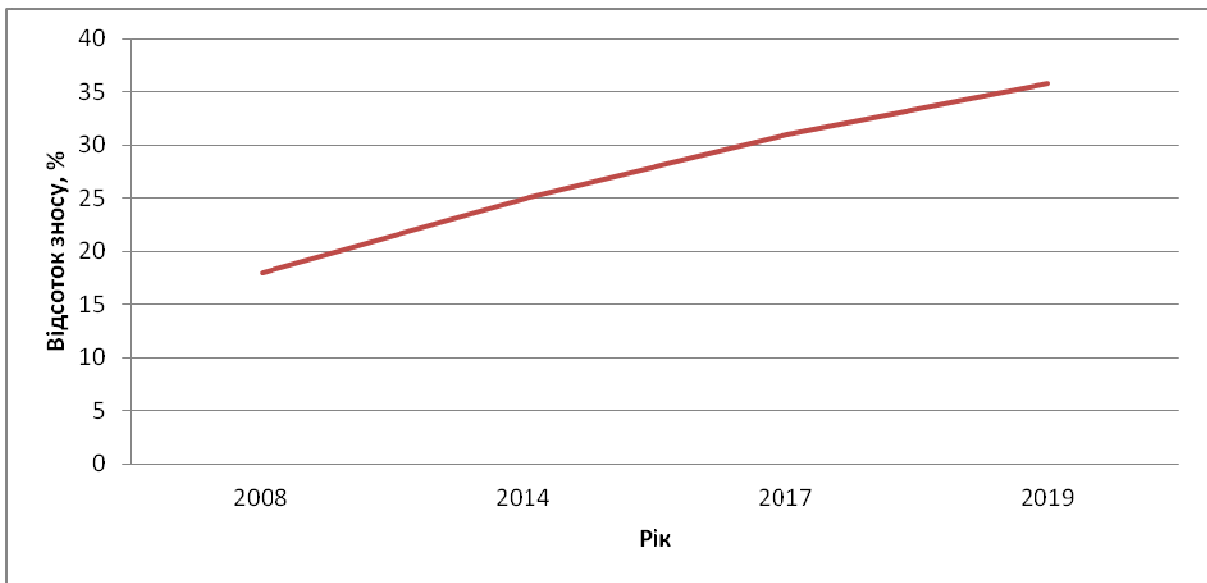


Рис. 3 – Квадратична інтерполяція.

Можливим є випадок, коли трубка знаходиться в локальній зоні, яку інспектують частіше, ніж інші. Тому кількість значень зносу може бути більшою, в цьому випадку використовується загальний випадок інтерполяції. Дані представлені в вигляді діаграми, через їх велику кількість. Прогнозованими є 2019 та 2020 роки:

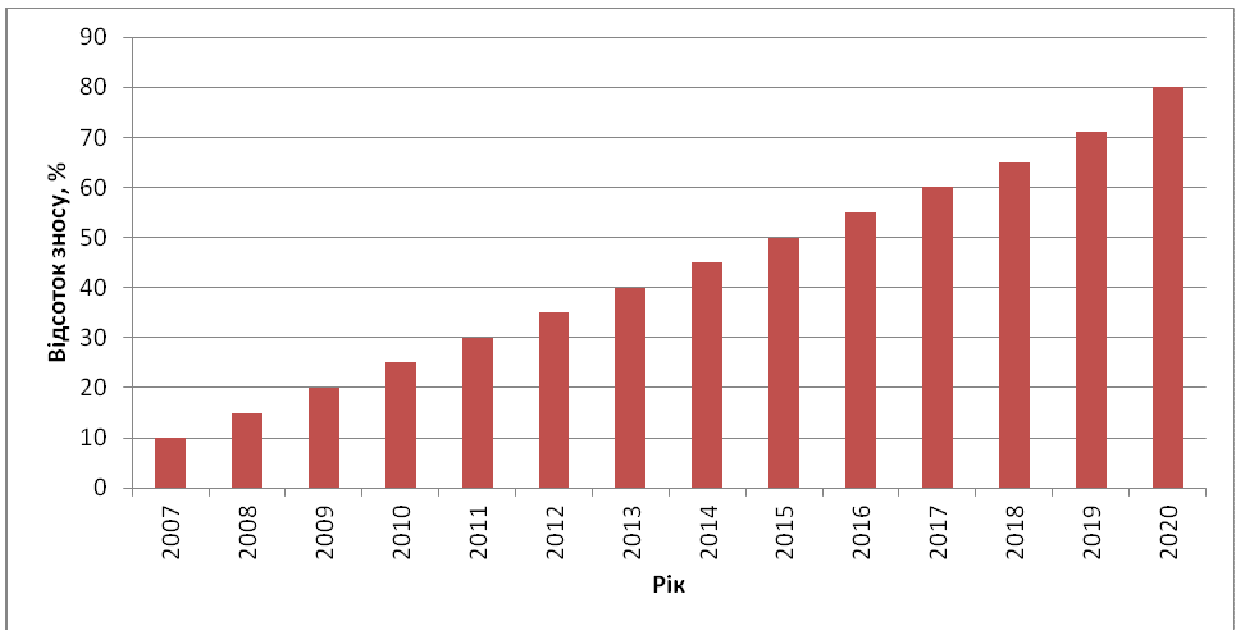


Рис. 4 – Загальний випадок інтерполяції для $n > 3$.

Найбільш цікавим є відрізок останніх 4 років(2017 та 2018 – реальні данні, 2019 та 2020 – прогнознi), який представлений на рисунку 5:

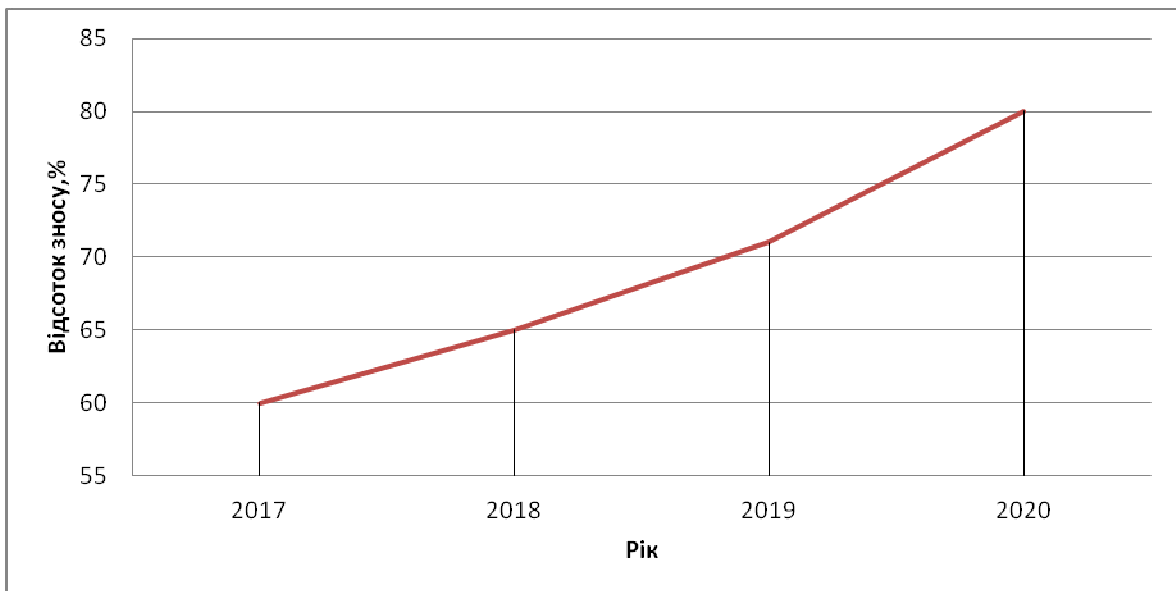


Рис. 5 – Загальний випадок інтерполяції для $n > 3$ (останні 4 роки).

ВИСНОВКИ

Був проведений аналіз основних діючих факторів, послідовність та динаміка стадій корозійного та корозійно-механічного пошкодження теплообмінних труб, працюючих в складі парогенераторів типу ПГВ в стаціонарних режимах. За допомогою програмного середовища VBA в Microsoft Excell побудована модель для прогнозу подальшого зносу ТОТ в умовах дозволеної забрудненості поверхні трубок в поєднанні з нормальними умовами водно-хімічного режиму. Модель інтегрована в АСО ТОТ. Отримані данні дають змогу оцінювати подальшу змогу безпечної працездатності теплообмінної поверхні трубчатки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакіров М. Б., Клещук С. М., Чубаров С. В., Немитов Д. С., Трунов Н. Б., Ловчев В. Н., Гуцев Д. Ф. Розробка атласу дефектів теплообмінних труб парогенераторів АЕС с ВВЕР // Сьомий міжнародний семінар по горизонтальним парогенераторам. ФГУП ОКБ «ГІДРОПРЕСС» м. Подольск 3-5 жовтня 2006 г. – 2006. – С. 11-21.
2. Карзов Г. П., Суворов С. А., Федорова В. А., Філіппов О. В. Оцінка динаміки зародження і розвитку пошкоджень теплообмінних труб парогенераторів типу ПГВ-1000 в робочих режимах // ФГУП ЦНДІ КМ «Прометей», м. Санкт-Петербург – 2005. – С. 23-27.
3. Копченова Н. В., Марон І. А. Обчислювальна математика в прикладах та задачах: навчальний посібник. 3-є вид., - СПб.: Видавництво «Лань». - 2009. – 368 с. – (Посібники для ВУЗів. Спеціальна література)
4. Висоцький Ю. І., Кравченко В. П., Запорожан В. В. База даних для автоматизованої системи обліку і прогнозування зносу трубопроводів другого контуру АЕС // Праці Одеського Політехнічного університету. – Одеса. – 2001. №2(14). – С. 55-59.