

## **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ**

### **Зміст**

УРАХУВАННЯ ДОБОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТА СЕЗОННОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	122
Н.В. Давиденко, аспірант, Луцький національний технічний університет ..	122
НАСТРОЙКА НЕЧЁТКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА НАГРЕВА ДУТЬЯ В ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ .....	123
Е.И. Кобыш, аспірант, А.И. Симкин, доцент, ГВУЗ «ПТТУ».....	123
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЕНЕРГОГОСПОДАРСТВА УСТАНОВКИ ВДУВАННЯ ПИЛО ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА.....	124
В.П. Кравченко, доцент, ДВНЗ «ПДТУ», В.П. Снурников, ООО «ГППРОМЕЗ» .....	124
ЗАСТОСУВАННЯ SOLIDWORKS SIMULATION В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ.....	125
О.Ю. Рудик, доцент, М.В. Гетьман, студент, Хмельницький національний університет.....	125
ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ КРОНШТЕЙНА ЗАСОБАМИ SOLIDWORKS SIMULATION.....	127
О.Ю. Рудик, доцент, Д.А. Лівецький, студент, Хмельницький національний університет.....	127

**УРАХУВАННЯ ДОБОВОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТА  
СЕЗОННОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ  
КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

*Н.В. Давиденко, аспірант, Луцький національний технічний університет*

Важливим елементом управління водопостачанням є побудова та дотримання оптимальних експлуатаційних режимів по кожному об'єкту системи комунального водопостачання. Цільовою функцією оптимізації технологічних режимів є мінімізація енергетичних витрат при забезпеченні безперебійної подачі води споживачу і за умови дотримання заданого напору в контрольних точках водопровідної мережі відповідно до реального режиму водоспоживання. Основним режимним показником є добовий графік водоспоживання (ГВС). Для формування графіка характерних режимів роботи водопостачальних об'єктів слід створити базу даних про водоспоживання в системі водопостачання. Це забезпечить здійснення аналізу добового ГВС, дослідження його основних параметрів, виявлення спільних рис у водоспоживанні та побудову типових графіків режимів водоподачі.

Для виявлення сезонних особливостей водоспоживання дослідження добових ГВС необхідно здійснювати з урахування пори року: зима, літо та осінь-весна. Для виявлення змін у добовому водоспоживанні, пов'язаних із зміною кліматичних умов, доцільно враховувати максимальну (мінімальну) добову та середньодобову температуру повітря, кількість та тривалість опадів протягом доби.

Аналіз графіків добового водоспоживання дозволяє стверджувати, що добовий цикл містить чітко виражені періоди основного водоспоживання (денний час доби), періоди фонового водоспоживання (нічний час) та перехідні періоди, причому відмінність у ГВС проявляється у денні години доби. Для підвищення достовірності виявлення характерних особливостей добових ГВС аналіз всіх його параметрів, характеристику кліматичних умов необхідно здійснювати для нічного та денного періоду доби окремо.

Для виявлення спільних рис у водоспоживанні доцільним є використання методів кластеризації, здатних до самоорганізації, зокрема, карт Кохонена. Це дозволить створити базу даних про водоспоживання здатну враховувати зміну кліматичних умов, сезон та період доби, що сприятиме формуванню сімейства типових графіків водоподачі та моніторингу і планування електроспоживання.

## **НАСТРОЙКА НЕЧЁТКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА НАГРЕВА ДУТЯ В ВОЗ- ДУХОНАГРЕВАТЕЛЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

*Е.И. Кобыли, аспирант, А.И. Симкин, доцент, ГВУЗ «ПГТУ»*

При организации работы блока доменных воздуходогревателей возникает необходимость прогнозирования продолжительности периода нагрева дутья, что позволит управлять нагревом насадки всех воздуходогревателей группы таким образом, чтобы не допустить недогрева насадки при переключении воздуходогревателя в режим нагрева дутья. При разработке модели прогнозирования особый интерес представляет рассмотрение процесса нагрева дутья с применением принципов нечёткой логики, что дает возможность определить структуру нечёткой базы знаний о нагреве дутья и осуществлять прогнозирование на основе систематизированной базы логических правил «если - то». Каждому правилу соответствует весовой коэффициент, принимающий значение из диапазона  $[0; 1]$  и характеризующий субъективную меру уверенности эксперта в истинности данного правила. Настройка модели, разработанной на основе нечёткой базы знаний типа Мамдани, представлена задачей многомерной оптимизации, которая решена методом сопряженных градиентов.

Входными параметрами нечёткой модели приняты температура горячего дутья на выходе из насадки и расход холодного воздуха на смешение, а выходное значение представлено прогнозируемым временем, в течение которого воздуходогреватель будет находиться в режиме нагрева дутья. Для входных и выходных параметров сформированы лингвистические термы. Для температуры воздуха на выходе из насадки:  $T_{\kappa 1}$  - «высокая»,  $T_{\kappa 2}$  - «выше среднего»,  $T_{\kappa 3}$  - «ниже среднего»,  $T_{\kappa 4}$  - «низкая». Для расхода холодного воздуха на смешение:  $F_1$  - «высокий»,  $F_2$  - «средний»,  $F_3$  - «низкий». Для выходного параметра (прогнозируемой продолжительности периода нагрева дутья):  $\tau_1$  - «начало»,  $\tau_2$  - «первая половина»,  $\tau_3$  - «вторая половина»,  $\tau_4$  - «завершение».

Настройка нечёткой модели по экспериментальной выборке позволяет адаптировать разработанную модель к реальным условиям, в которых происходит нагрев дутья, путём внесения соответствующих корректив в нечёткую базу знаний.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЕНЕРГОГОСПОДАРСТВА  
УСТАНОВКИ ВДУВАННЯ ПИЛО ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА**

*В.П. Кравченко, доцент, ДВНЗ «ПДТУ», В.П. Снурников, ООО «ГППРМЕЗ»*

В 2015 році на Дніпродзержинському металургійному комбінаті (ДМКД) побудований комплекс по виготовленню та вдуванню пиловугільного палива (ПВП) по технології фірми Пауль Вюрт (Люксембург). Комплекс складається із трьох технологічних частин – установки по виготовленню і вдуванню ПВП, допоміжного устаткування і енергогосподарства. Комплекс дозволив вдувати до 120 кг ПВП на тону чавуну і, тим самим, економити до 100 кг коксу на кожній тоні чавуну. Для окремих технологічних частин комплексу розроблені автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП), які були інтегровані на базі інформаційної мережі Ethernet. АСК ТП установки виготовлення і вдування ПВП поставлена комплексно с основним устаткуванням фірмою Пауль Вюрт, АСК ТП допоміжного устаткування розроблена АТ «Струм» (м. Харків), а АСК ТП енергогосподарства проектувалась і впроваджувалась ООО «ГППРМЕЗ» та ПДТУ (м. Маріуполь).

В енергогосподарство установки ПВП входять трубопроводи енергоносіїв (природний і доменний газ, азот, вода) з відповідною арматурою, компресорна станція азоту з устаткуванням охолодження, установки осушення стислого повітря, три насосні станції води, установки по збору та очищенню стічних вод. АСК ТП енергогосподарства структурно є розподіленою в просторі системою, яка складається із окремих автономних АСК ТП, об'єднаних мережею Ethernet. До складу основної системи входять - АСК ТП компресорної станції азоту, АСК ТП насосних станцій і установок збору та очищення стічних вод, АСК ТП установок осушення повітря, а також підсистема централізованого обліку витрат енергоносії на весь комплекс ПВП.

Технічною базою, на якій побудовані всі системи керування окрім систем керування компресорами азоту, є контролери фірми Allen Bradley, а також контрольно-вимірювальні прилади передових закордонних фірм. Автономні системи керування азотними компресорами фірми Samsung використовують контролери Omron цієї ж фірми. Контролери Omron системи керування компресорами інтегровані в АСК ТП компресорної станції через спеціальний шлюз, що дозволяє відображати на моніторі робочої станції параметри всього устаткування, включно з компресорами.

Окрім функцій контролю та автоматичного керування роботою компресорної станції, АСК ТП виконує функцію оптимізації розподілення стислого азоту на виході станції з метою економії азоту. Найбільш

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ

економною роботою компресорів азоту є робота з максимальною паспортною продуктивністю, однак забезпечити такий режим роботи компресорів складно, оскільки установка ПВП нерівномірно споживає азот. Раніше, у разі такої ситуації, «зайвий» азот скидався в атмосферу. Для забезпечення стабільної роботи компресорної станції в рамках АСК ТП була розроблена підсистема контролю споживання азоту установкою ПВП. У разі зменшення кількості азоту, який приймає установка ПВП, підсистема автоматично перерозподіляє надлишок азоту в азотний розподільчий пункт (АРП) киснево-конвертерного цеху. При цьому забезпечується стабільна робота компресорів і економія азоту.

Особливістю АСК ТП енергогосподарства установки ПВП є наявність підсистеми обліку споживання енергоресурсів на установку в режимі реального часу. Це дає можливість в режимі «on-line» мати інформацію про витрати кожного виду енергоносія на тону виробленого ПВП, що дозволяє виявити надмірні витрати енергоносія і скорегувати технологічний процес.

## **ЗАСТОСУВАННЯ SOLIDWORKS SIMULATION В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ**

*О.Ю. Рудик, доцент, М.В. Гетьман, студент, Хмельницький національний університет*

Одним із засобів інформаційних технологій є комп'ютерне моделювання, яке викликає підвищений інтерес у студентів можливістю розглядати фізичні процеси, які характеризують напружено-деформований стан твердих тіл, з використанням 3D системи твердотілого параметричного моделювання SolidWorks. Завдяки застосуванню сучасних методів тривимірного твердотілого проектування стає можливим побудувати точну модель деталі й методом скінченних елементів (МСЕ) визначити експлуатаційні параметри (додаток SolidWorks Simulation), які виникають у ній за конкретних умов експлуатації.

МСЕ у даний час є стандартом при розв'язуванні задач механіки твердого тіла за допомогою чисельних алгоритмів, який із звичайної процедури перетворився на загальний метод чисельного розв'язування диференціального рівняння або системи диференціальних рівнянь.

Перший етап комп'ютерного моделювання включає створення графічної моделі досліджуваної деталі в програмному комплексі SolidWorks. На другому етапі до моделі застосовують програмний модуль SolidWorks Simulation.

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ

При використанні МСЕ модель ділиться на малі частини (створення сітки) з простими формами (елементи), які ефективно спрощують складну задачу. При цьому програмне забезпечення SolidWorks Simulation, враховуючи з'єднання між елементами, розробляє рівняння, які пов'язують реакцію з властивістю матеріалу, обмеженням і навантаженням. Після цього, упорядковувачи рівняння у велику систему спільних алгебраїчних рівнянь, знаходяться невідомі.

При проведенні статичного аналізу моделі назначають матеріал деталі; вводять обмеження, позначають контактні поверхні й характеристики контакту; прикладають навантаження; створюють сітку в моделі та виконують розрахунок. Результатом статичного аналізу є: напруження (еквівалентні, головні, нормальні й дотичні), переміщення вузлів деталі; деформації, реакції, запаси міцності.

Метою роботи ставилось дослідження фланця заднього моста автомобіля МА3-509 (сталь 45Х), з можливістю заміни даного матеріалу на дешевший - сталь 20.

З бібліотеки SolidWorks вибрані сталь DIN 1,7006 (46Cr2) - аналог сталі 45Х, та AISI 1020 - аналог сталі 20, з границями міцності на розтяг 900,000 МПа і 420,507 МПа відповідно. Параметри сітки:

- якість – висока;
- розмір елементу 7,15676 мм;
- допуск 0,357838 мм;
- всього вузлів 35461;
- всього елементів 21330;
- максимальне співвідношення сторін 17,226.

Встановлено, що при шкалі деформації 415,418 вузлові напруження Von Mises, переміщення URES і деформація ESTRN для фланця зі сталі 40Х складають 191,871 МПа, 0,045 мм і 0,00046 мм відповідно, а для сталі 20 – 190,818 МПа, 0,047 мм і 0,00049 мм відповідно, тобто в обох випадках не перевищують допустимих значень. При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності знаходиться у вузлі № 31199 і для фланця зі сталі 40Х становить 3,41, а зі сталі 20 – 1,84 (рис. 1 і 2). Тобто, у випадку заміни сталі 40Х на сталь 20 для виготовлення фланця запас міцності достатній.

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ

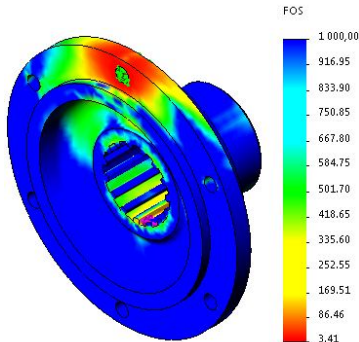


Рисунок 1 – Вузлові напруження Von Mises для фланця зі сталі 45X

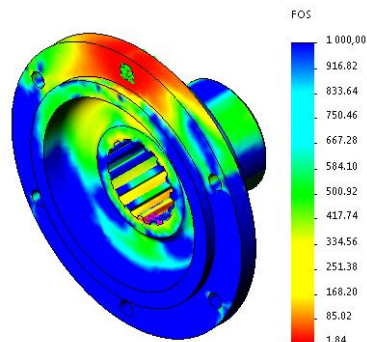


Рисунок 2 – Вузлові напруження Von Mises для фланця зі сталі 20

Таким чином, комп'ютерне моделювання з використанням програмного комплексу SolidWorks дозволяє оптимізувати матеріал деталей у сторону економії витрат на їх виготовлення.

### **ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ КРОНШТЕЙНА ЗАСОБАМИ SOLIDWORKS SIMULATION**

*О.Ю. Рудик, доцент, Д.А. Лівецький, студент, Хмельницький національний університет*

Метою роботи ставилось енергоресурсозбереження підшипника ковзання кронштейна модернізованого поворотного стенду моделі 801-9 для підрозбирання коробок передач автомобілів ЗІЛ і МАЗ: зменшення навантаження на підшипник призведе до підвищення його живучості.

Для визначення характеру напружень в зоні контакту підшипника з поверхнею поворотної осі та оцінки деформацій (переміщень) кронштейна використали прикладний програмний комплекс SolidWorks і, зокрема, його модуль для розрахунків SolidWorks Simulation [1].

SolidWorks Simulation дозволяє проводити оптимізацію конструкції за критеріями мінімізації/максимізації маси, об'єму, власних частот і критичної сили; імітувати деформацію конструкції з урахуванням нелінійності; моделювати ефект падіння конструкції та проводити втомний розрахунок. Спираючись на результати оптимізації можна зробити конструкцію міцнішою та легшою, тобто економічно вигіднішою (уникнення непотрібних витрат на зайвий матеріал) та практичнішою.

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ

SolidWorks Simulation для формування розрахункової моделі використовує геометричну модель SolidWorks, а для проведення аналізу застосовує метод скінченних елементів.

Основна ідея методу скінченних елементів полягає у тому, що будь-яку безперервну величину (напруження, деформацію, переміщення тощо) можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусково-неперервних функцій, визначених на кінцевому числі підобластей.

При моделюванні створювалася геометрична модель кронштейна, потім вводилися властивості матеріалу, з якого він виготовлений (сталь DIN 1.7045,  $\sigma_T = 670$  МПа). Після цього задавалася область навантаження (нормальна сила  $F = 7850$  Н), визначалися контактні взаємодії, створювалася скінченно-елементна модель системи (рис. 1, а). Наступним етапом було рішення поставленої задачі та визначення запасу міцності конструкції.

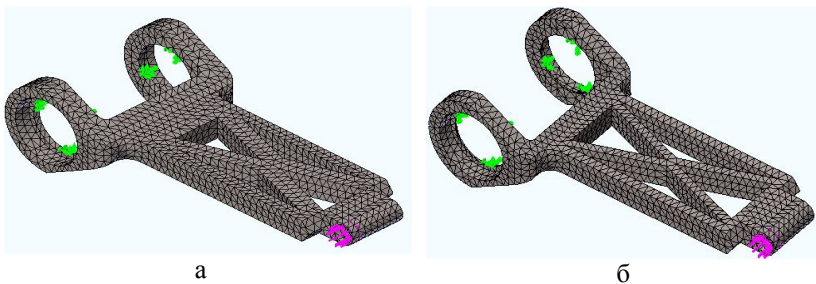


Рисунок 1 – Скінченно-елементна сітка моделі кронштейна

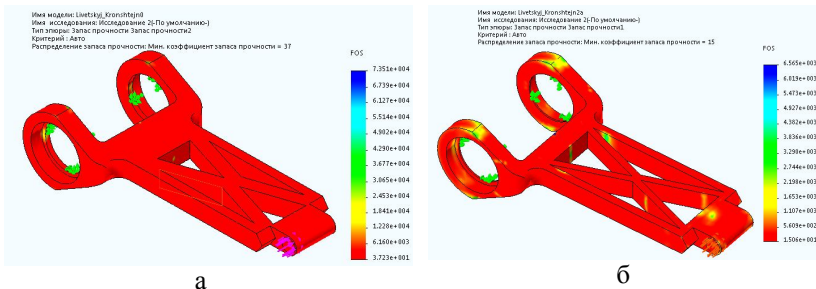


Рисунок 2 – Розподіл запасу міцності у кронштейні

При аналізі результатів моделювання стандартного кронштейна встановлено, що дана конструкція має завищений запас міцності



## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННІ

(рис. 2, а), який має нерівномірний характер розподілу по всій деталі. Тому прийнято рішення модифікувати стандартний кронштейн, зберігаючи його приєднувальні розміри та змінюючи тільки розміри ребер жорсткості (рис. 1, б).

Таким чином, нова конструкція володіє достатнім запасом міцності (мінімальний коефіцієнт запасу міцності  $k = 15$ , тобто можливе подальше модифікування). Оптимізація конструкції кронштейна дозволила понизити масу металу для його виготовлення з 71,6981 до 51,1544 кг, що веде до істотної економії його собівартості та підвищення довговічності підшипника ковзання.

### **Література**

1. Paul Kurowski. Details about Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2010 // Paul Kurowski. – SDC Publications, 2010. – 409 p.