

А.Р.Черненко, Н.А.Олейник, В.Е. Андрийчук // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1988. – №1. – С. 43-45.

15. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика обрушенной руды. – М.: Недра, 1968. – 311 с.

16. Прохода А.З. Совершенствование системы подэтажного обрушения / А.З.Прохода, Н.И.Ступник, В.В. Маркитан // *Разраб. рудн. месторождений*. К.: Техніка, 1981. – Вып. 32. – С. 62-64.

17. Ступник Н.И. Снижение потерь и засорения руды, за счет применения переуплотняемого слоя руды / Н.И. Ступник, С.В. Письменный // *Горная промышленность*. – 2011. – Вып. Специальный выпуск. – С. 35-37.

18. Ступник Н.И. Обоснование параметров очистной камеры параболической формы при отработке железных руд в неустойчивых породах / Н.И. Ступник, В.А. Калиниченко, С.В. Письменный, М.Б. Федько, И.О. Музыка, Е.В. Калиниченко // *Гірничий вісник: Науково-технічний збірник*. – Кривий Ріг, 2016. – Вып. 101. – С. 7-12.

19. Ступнік М.І. Удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт з урахуванням напружено-деформованого стану масиву при його обваленні на похиле оголення / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, М.Б. Федько, О.В. Калініченко, І.О. Музыка, С.В. Письменний // *Гірничий вісник: Науково-технічний збірник*. – Кривий Ріг, 2017. – Вып. 102. – С. 47-53.

20. Цариковский В.В. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса / В.В.Цариковский, В.В.Сакович, А.В. Недзвецкий и др. – Кривой Рог, НИГРИ, 1987. – 35 с.

21. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1990. – 176 с.

22. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян З.З. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

23. Малахов Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна. – К.: Наукова думка, 1990. – 204 с

Рукопис подано до редакції 02.04.2021

УДК 681.5:621.311.1

О.О. ГРАММ, С.О. РОМАНОВ, асистенти, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. тех. наук, доц.

Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Мета. Аналіз і визначення основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу і аналіз їх впливу на споживання електричної енергії для підвищення точності системи автоматичного прогнозування рівня споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що дозволить підвищити енергоефективність підприємства, зменшити його витрати на енергопостачання і збитки, пов'язані з виходом споживання електричної енергії за межі замовлення, та знизити собівартість продукції завдяки зниженню витрат на електропостачання.

Методи дослідження у роботі засновані на методах аналітичної обробки статистичних даних та кореляційного аналізу впливу різних факторів на споживання електричної енергії.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні основних аналітичних залежностей та коефіцієнтів кореляції між різними факторами, що впливають на споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, спираючись на що можна розробити більш точну модель для прогнозування споживання електроенергії.

Практична значимість роботи полягає у визначенні переліку основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що у перспективі має дозволити підвищити точність прогнозування споживання електричної енергії при розробці моделі прогнозування.

Результати. Споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу найбільший вплив мають такі фактори, як параметри технологічного процесу і його циклічність у часі, значення історичного споживання електричної енергії і температура навколишнього середовища. Визначено також, що генерація реактивної енергії має незначний вплив на споживання активної енергії, тому доцільно в подальшому розглянути можливість використання цього фактору для підвищення точності прогнозування автоматичного споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу. Також визначено, що такий параметр як день тижня, що часто використовується для прогнозування споживання електроенергії різними підприємствами та населенням використовувати для прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу недоцільно через те, що зв'язок між цими параметрами не явний і не постійний. Середній коефіцієнт кореляції споживання електричної енергії з днем тижня становить 0,34, споживання електроенергії зі споживанням у попередній період 0,984, споживання електроенергії з середньодобовою температурою -0,47, споживання електроенергії з генерацією реактивної енергії 0,2.

Ключові слова: автоматизація, електроенергії, прогнозування, енергетична біржа, кореляція, залежності.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-67-73

© Грамм О.О., Романов С.О., Савицький О.І., 2021

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Проблема енергоефективності на промислових підприємствах є актуальною, так як безпосередньо впливає на результати роботи підприємства. На підприємствах розглядається питання енергоефективності та раціонального використання електроенергії в якості одного із можливих заходів для зниження загальних витрат підприємства, собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності. Разом з тим, шлях розвитку вітчизняної економіки для вирішення проблеми енергозбереження можливий тільки при створенні і подальшого впровадження програм енергозбереження на підприємствах, а для цього необхідно дослідження і збір відповідної статистичної та методичної баз. Затримка у проведенні енергозберігаючих заходів негативно позначається на загальній екологічній та соціально-економічній ситуації і призводить до значного економічного збитку на підприємствах. Щоб скоротити фінансові втрати, при впровадженні сукупності заходів з енергозбереження, необхідно створення методів оцінки ефективності таких заходів, які враховують багатоваріантність використання джерел інвестицій, які виділені для реалізації енергозбереження. Зниження витрат підприємства, а саме енергетичної складової, призведе до можливості отримати додаткові кошти, які можна використовувати для забезпечення прийнятного рівня морального і фізичного зносу технологічного устаткування. На виробничих підприємствах зростання витрат на енергетичні ресурси викликає збільшення собівартості, що також негативно позначається на конкурентоспроможності підприємства.

Вивчення підходів у прогнозуванні показує, що для якісного прогнозування обсягів електроспоживання не існує стандартного, єдиного методу: будь-яке підприємство має особливі технологічні цикли, які, всі разом, утворюють тимчасовий унікальний процес для кожного окремого підприємства. Звичайно, у всіх виробничих циклах споживання електроенергії можна знайти схожі тенденції, тим самим збираючи статистичні дані, аналіз яких має призвести до підвищення точності прогнозів, однак, в нашому випадку такі дані необхідно доповнити, враховуючи специфіку підприємства.

Процеси споживання електроенергії мають функціональні, циклічні і випадкові тенденції. Найпростіше піддаються прогнозуванню циклічні залежності (зазвичай добові, тижневі та сезонні). Циклічні тенденції, за попередніми оцінками, становлять близько 70-80% всіх змін в процесі споживання електроенергії. Наприклад, найбільш істотними циклічними факторами практично у всіх виробничих процесах вважаються погодинна робота упродовж дня, день тижня і довгота світлового дня.

Другим з основних чинників, що вивчаються під час розв'язання задачі прогнозування, є закономірності функціонального характеру. Їх частка становить 10-15% від загального обсягу відхилень. У цю групу можна включити відхилення, що пояснюються відомими та передбачуваними факторами, які є специфічними для підприємства: температура повітря або використовуваного теплоносія, обсяг поставок сировини, тиск газу, об'єми самого виробництва та ін.. Аналіз даних допомагає виявити ці фактори і розрахувати їх вагову частку в процесі енергоспоживання. Вирішивши завдання впливу факторів теоретично, на практиці можлива проблема нестачі або недостовірності вихідних даних: недоступність інформації, помилкові дані або затримка інформації про обсяги виробництва.

Третім чинником, що впливає на прогноз є випадкові тенденції. Їх частина в загальних процесах споживання електроенергії невелика, але амплітуда відхилень може бути значною. Не завжди випадкові тенденції є саме випадковими, кожне відхилення може бути пояснено закономірними причинами після їх тривалого вивчення. Але в момент складання заявки, виконати правильну оцінку в такому випадку буде або неможливим (наприклад, спрогнозувати через аварію раптове відключення електроенергії), або недоцільним (наприклад, збір відомостей для передбачення режиму електроспоживання в святкові дні може виявитися економічно невиправданим та непотрібним). Тому, при складанні прогнозів для випадкових тенденцій вносять ймовірнісні характеристики відповідних явищ.

Аналіз досліджень та публікацій. В даний час для вирішення питання енергоефективності розробляють програми енергозбереження, визначають систему показників ефективності програм, роблять оцінку економічної ефективності від сукупності енергозберігаючих заходів, і отриману економічну вигоду. Впровадження заходів енергоефективності призведе до позитивних змін у прибутку підприємств, за рахунок скорочення збитків [1]. Однією з важливих складових заходів по оптимізації енергетичних витрат підприємства стає прогнозування споживан-

ня електричної енергії. Моделі прогнозування та фактори впливу на споживання електричної енергії розглядалися багатьма авторами для різних об'єктів. Так у роботі [2] автори розглядали прогнозування для всього енергетичного ринку країни, а як фактори впливу розглядалися ВВП, енергоємність ВВП і чисельність населення. У роботі [3] розглядався вплив типів дня на споживання електричної енергії містом. Часто розглядається питання впливу метеорологічних показників на споживання електричної енергії різними об'єктами [4-6]. Для прогнозування споживання електричної енергії вугільною шахтою у роботі [7] авторами запропоновано використовувати такі фактори, як історичне споживання електроенергії та об'єми видобутку вугілля. Питання аналізу факторів, що впливають на споживання електроенергії енергоємними підприємствами розглядалося у роботі [8], і автори також зробили висновок про важливість врахування такого фактору, як історичне споживання електроенергії. Використання історичного споживання енергії для прогнозування також часто розглядається іншими зарубіжними науковцями [9,10]. Але питання аналізу факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємств гірничо-металургійного комплексу широко не розглядалося, тому актуальною є проблема проведення такого дослідження.

Постановка задачі. У зв'язку з відсутністю універсальної методики та універсального програмно-апаратного забезпечення для вирішення даного завдання, кожне підприємство відпрацьовує завдання отримання прогнозу своїми методами з урахуванням своєї специфіки.

Вибір кількості чинників дуже важливий. Серед безлічі факторів, експертно вибираються ті, що можуть впливати на досліджуване значення. Ця оцінка не є остаточною. У процесі аналізу невідомо, який фактор надавав найбільш сильний вплив на досліджуваний процес електроспоживання. Очевидно, що може виникнути фактор, який експерти порахували дуже важливим, але він не є таким, і, навпаки, незначний з їх точки зору фактор може мати значний вплив для досліджуваного підприємства і досліджуваного регіону. Набір факторів, який використовується для складання прогнозів на будь-якому підприємстві не завжди підходить до всіх інших підприємств, а фактори, що впливають, підбираються індивідуально.

Викладення матеріалу та результати. Для проведення дослідження використовувалися статистичні дані гірничо-металургійного підприємства за січень 2019 року. Досліджувалася статистика з однієї головної понижуючої підстанції, що за чотирма лініями живить збагачувальну фабрику, за двома лініями живить фабрику дроблення руди, одну лінію виділено для тягової понижуючої підстанції, та одну лінію для живлення технічного водопостачання та шламового господарства. Графіки середньодобового споживання за цими лініями зображено на рис. 1.

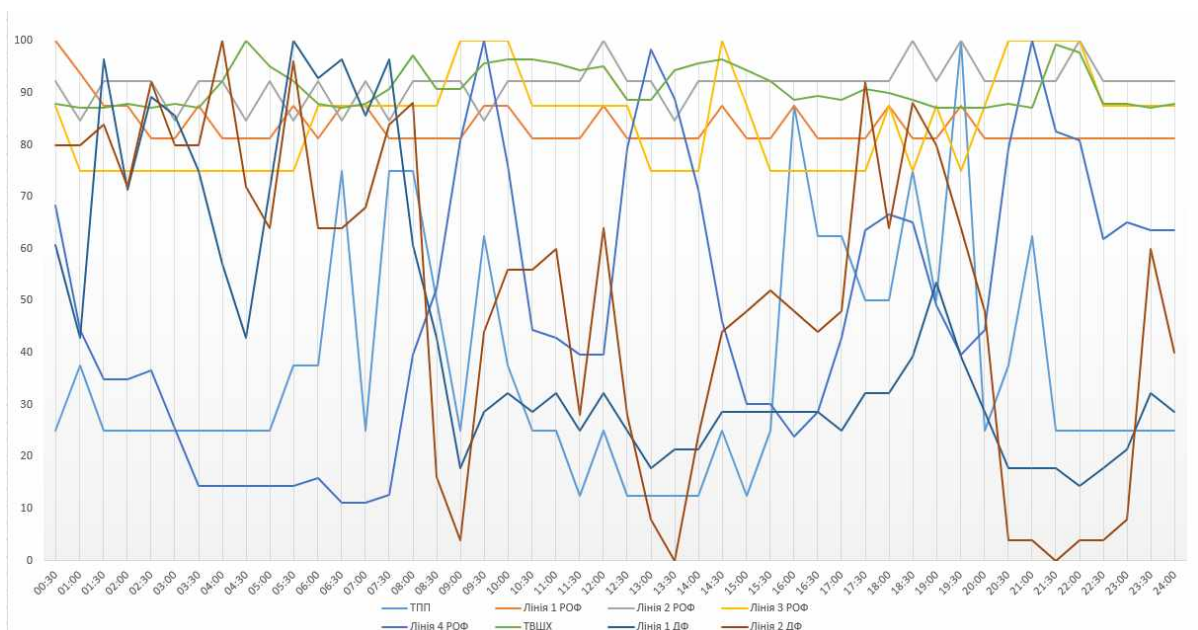


Рис. 1. Нормоване споживання ГПП за різними лініями

Для проведення дослідження виходячи з наявних даних було отримано нормований графік середнього добового споживання електроенергії, який зображено на рис. 2. Виходячи з отриманого графіку можна сформулювати перші аналітичні висновки, необхідні для прогнозування споживання. Так основне споживання електроенергії даного об'єкту приходить на нічний час (21:30 – 7:30), відсутні явні піки максимального споживання електроенергії, а мінімального значення споживання електроенергії досягає о 8:30 і 20:30, що пов'язано з графіком технологічних змін. При чому з 7:00 до 13:00 спостерігається плавне падіння споживання, з 13:00 до 22:00 споживання плавно зростає, а з 22:00 до 6:00 споживання залишається майже постійним.

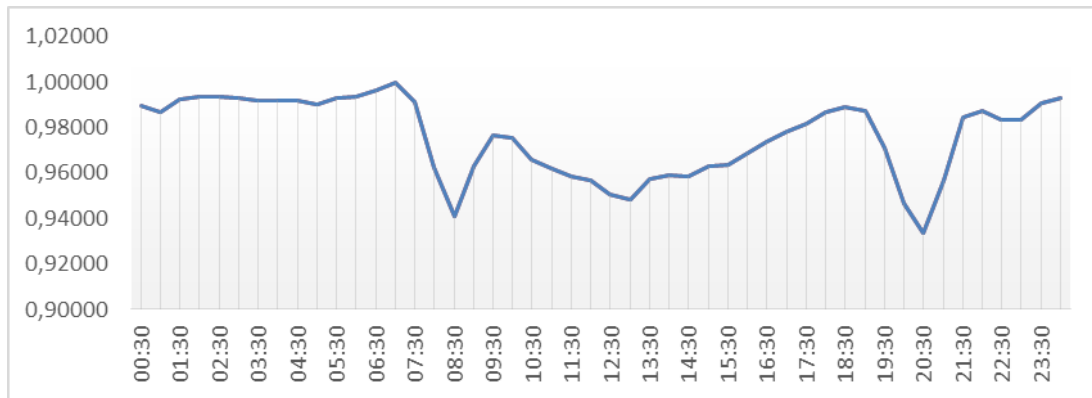


Рис. 2. Нормоване середньодобове споживання електроенергії

Розглянемо вплив на споживання електричної енергії такого фактору, як день тижня. Для цього було побудовано нормовані графіки споживання електричної енергії за місяць за днями тижня з понеділка по неділю. Отримані графіки зображено на рис. 3. Як видно з отриманих графіків у понеділок, четвер та п'ятницю присутні постійні закономірності з незначним відхиленням. У інші дні тижня ці відхилення стають значно більшими, а в суботу та неділю ці відхилення становляться ще більшими. Для більш точного виявлення закономірностей доцільно визначити наявність кореляції між отриманими статистичними даними.

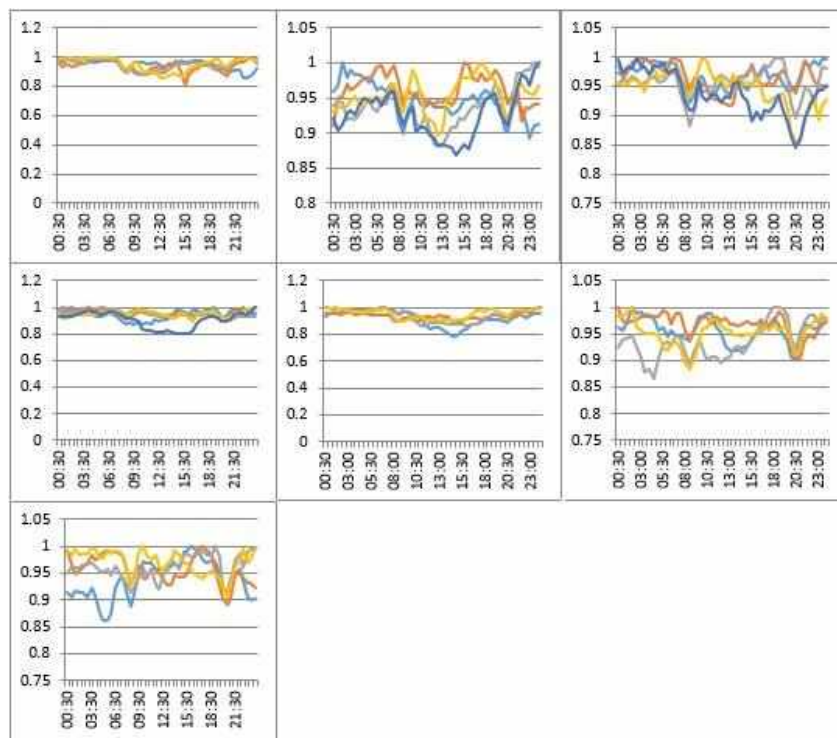


Рис. 3. Нормоване споживання електроенергії у різні дні тижня

Для визначення залежності споживання електричної енергії від дня тижня було визначено коефіцієнт кореляції споживання електроенергії у кожен день поточного тижня зі

споживанням у той же день наступного за три тижні, після чого отримано середній коефіцієнт кореляції за кожен із днів. Графік зі значеннями коефіцієнта кореляції у кожен день тижня зображено на рис. 4.

Рис. 4. Кореляція споживання електричної енергії з днем тижня

Виходячи з отриманого графіку можна сказати про наявність слабкої кореляції між споживанням електроенергії і днем тижня, але вона не постійна.

Наступним фактором, що розглядався, було споживання електроенергії за попередній проміжок часу. Статистичні дані споживання за 31 день були розбиті на інтервали у півгодини і досліджувався взаємозв'язок між споживанням у кожен інтервал зі споживанням у попередній часовий інтервал. Графік кореляції для 48 інтервалів зображено на рис. 5.

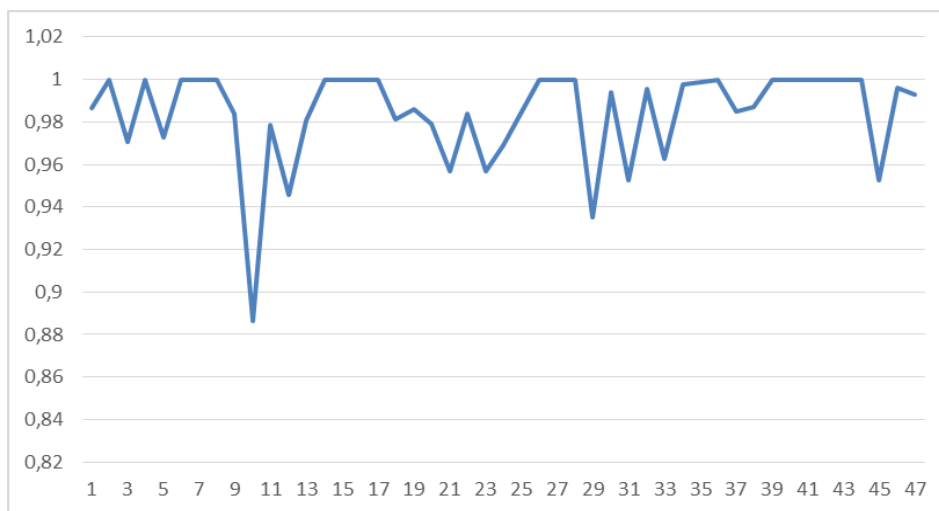
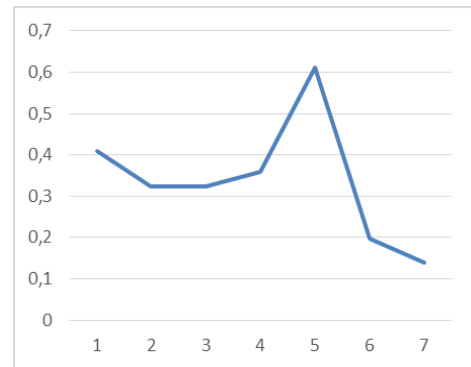


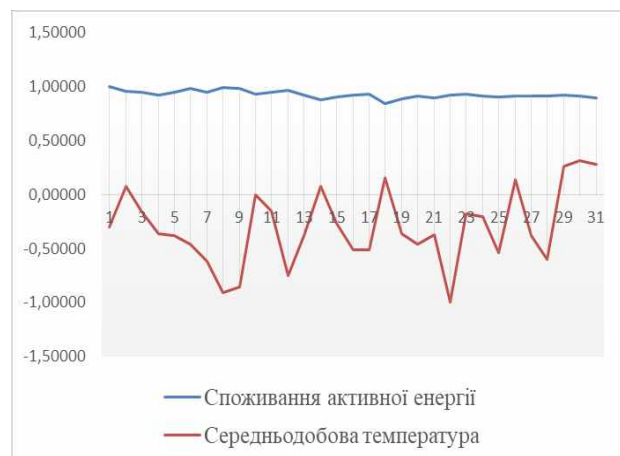
Рис. 5. Кореляція споживання електричної енергії з історичним споживанням

Отриманий графік залежності споживання електричної енергії від споживання у попередній період говорить про наявність постійної дуже високої кореляції між цими параметрами.

Наступним фактором, що розглядався, була температура зовнішнього повітря. Для визначення наявності зв'язку між цими параметрами було отримано статистичні дані середньодобової температури за січень 2019 року та добове споживання електричної енергії об'єктом за вказаний період. Графіки нормованого добового споживання електроенергії і середньодобової температури зображено на рис. 6.

Рис. 6. Нормований графік споживання електричної енергії і середньодобової температури

Виходячи з отриманих графіків можна сказати про те, що температура зовнішнього повітря впливає на споживання електричної енергії, так як різкі зміни температури відображаються на графіку споживання електроенергії. При чому зниження значення температури викликає зростання споживання електроенергії, а її зростання – падіння споживання. Це спостереження підтверджується отриманим коефіцієнтом кореляції між цими параметрами, що дорівнює $-0,47$. Отримане значення говорить про від'ємну середню кореляцію між споживанням електричної енергії і температурою зовнішнього повітря.



Останнім з розглянутих факторів через специфіку об'єкта було обрано генерацію реактивної енергії. Для визначення наявності зв'язку між споживанням активної енергії та генерацією реактивної енергії було проведено аналіз статистичних даних підприємства за 31 день. Нормовані графіки споживання активної енергії і генерації реактивної енергії зображено на рис. 7.

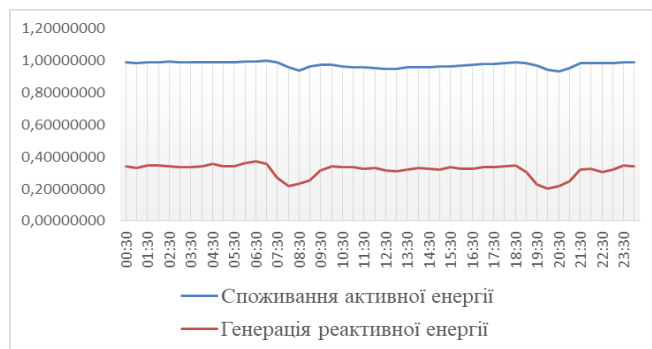


Рис. 7. Нормовані графіки споживання активної та генерації реактивної енергії

Виходячи з отриманих графіків можна говорити про наявний зв'язок між цими параметрами, так як на них видно, що наявні загальні тенденції, і зміна генерації реактивної енергії вже на наступному часовому інтервалі призводить до зміни споживання активної енергії. Це твердження підтверджується отриманим коефіцієнтом

кореляції між вказаними величинами, що становить 0,2 і свідчить про наявність слабкої кореляції між генерацією реактивної енергії і споживанням активної.

Висновки та напрям подальших досліджень. Виходячи з результатів проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що на споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу найбільший вплив мають такі фактори, як параметри технологічного процесу і його циклічність у часі, значення історичного споживання електричної енергії і температура навколишнього середовища. Визначено також, що генерація реактивної енергії має незначний вплив на споживання активної енергії, тому доцільно в подальшому розглянути можливість використання цього фактору для підвищення точності прогнозування автоматичного споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу. Також визначено, що такий параметр як день тижня, що часто використовується для прогнозування споживання електроенергії різними підприємствами та населенням використовувати для прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу недоцільно через те, що зв'язок між цими параметрами не явний і не постійний. В подальшому результати даного дослідження дозволять розробити модель для автоматичного прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу.

Список літератури

1. Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка : Учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006 – 211 с.
2. Krutysyak, Mykhailo Orestovych. Прогнозування попиту на вітчизняному ринку електричної енергії на основі результатів аналізу динаміки соціально-економічних показників. Економічний аналіз, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 37-46, жов. 2018.
3. Карандеев Д.Ю. Влияние типов дней на электропотребление города/ Д.Ю.Карандеев// Современная техника и технологии. – 2015. - №2. – С.34-40.
4. Макоклюев Б.И. Влияние метеофакторов на режимы потребления электроэнергии энергосистем/ Б.И.Макоклюев, А.В.Антонов, А.С.Полижаров// Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сб.тр.конф. – Иркутск, 2015. – Вып.65. – С.405-414.
5. Филатова Е.С. Система краткосрочного прогнозирования электропотребления/ Е.С.Филатова, Д.М. Филатов, А.Д.Стоцкая// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. - №10-1. – С.46-50.
6. Han P. Drought forecasting based on the sensing data using ARIMA model/ P.Han, P.Wang, S.Zhand// Math Comput Model. – 2010.- Vol.51(11). – P.1398-1403.
7. Бурый, С. В.; Халимов, В. В. ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ. Труды ВНТУ 2014.
8. Врахування споживання електроенергії енергоємними підприємствами при короткостроковому прогнозуванні електричного навантаження енергосистеми / П.О. Черненко, О.В. Мартинюк, В.О. Мірошник // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 5. — С. 35-37.
9. Kaytez, Fazil & Taplamacioglu, M. & Çam, Ertuğrul & Hardalaç, Firat. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 67. 10.1016/j.ijepes.2014.12.036.
10. Ekonomou, L. (2010). Greek Long-Term Energy Consumption Prediction using Artificial Neural Networks. Energy. 35. 512-517. 10.1016/j.energy.2009.10.018

Рукопис подано до редакції 05.04.2021