

Н. В. Ічанська, О. В. Шурпик

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава. Україна

## АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ В УКРАЇНІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Анотація.** Сучасний статус промислового розвитку характеризується вивченням статистики, аналізом негативних явищ у розвитку та розміщенні промислового виробництва, оцінкою технологічного рівня та економічної ефективності. У роботі розглядається математична модель, що базується на застосуванні методів апроксимації до заданих даних шляхом побудови кривих регресій. Побудова математичних моделей, що описують тенденції та напрями розвитку різних галузей народного господарства є актуальною проблемою потенціалу продуктивних систем енергоменеджменту та енергосервісу забезпечить реалізацію промислового потенціалу енергозбереження та сприятиме підвищенню енергоефективності. Гірничодобувна промисловість є основою обробної промисловості і вагомою складовою економіки країни. Її сучасний стан та розвиток тісно пов'язані з загальним станом національної економіки, що підкреслює актуальність розглянутої авторами тематики. У даній статті проаналізовано динаміку видобутку вугілля за 2003-2020 рр. та проведено обробку статистичних даних за допомогою сучасних математичних методів. Авторами побудовано математичну модель, дослідження якої може стати основою для пошуку ефективних рішень важливих проблем у видобувній галузі. Аналізуючи побудовані графіки, можна зробити висновки, що найбільш точно апроксимує квадратична залежність і тому повне вивчення даної моделі може стати фундаментом для пошуку ефективних шляхів вирішення важливих проблем добувної галузі промисловості. Проведене в роботі дослідження є ефективним для побудови алгоритмів розв'язання задач видобувної галузі та підвищення ефективності сталого розвитку вугільного сектору промисловості. Основним фактором прогресивного розвитку видобувної галузі є забезпечення зростання обсягів видобутку вугілля. Вивчення шляхів вирішення, проаналізованих у роботі проблем, є запорукою ефективного розв'язку проблем розвитку промисловості, первинного сектору економіки та господарства України в цілому.

**Ключові слова:** математична модель, математичні методи, добувна промисловість, вугілля, вугільна промисловість, математичне моделювання.

### Вступ

Промисловість - це один з ключових секторів економіки країни, її прогрес є вагомим показником визначення рівня економічного розвитку, конкурентоспроможності та рівноправної участі у світовому ринку. Видобувна галузь є вагомою ланкою промисловості України, тому її стабільність та прибутковість є першочерговим завданням розвитку національної економіки, враховуючи значний потенціал по запасам природних ресурсів. Україна може забезпечити обсяги споживання та експорту і має утримувати лідерство за багатьма позиціями на міжнародному ринку.

Паливно-енергетичні ресурси є особливо важливими для нинішньої національної економіки. Умови економічного розвитку держави залежать від масштабів і ефективності використання енергетичної мінеральної сировини та продуктів її переробки, що забезпечує, з одного боку, роботу провідних промислових підприємств та агропромислових комплексів, а з іншого – енергетичну безпеку країни.

За динамікою видобутку твердих корисних копалин в Україні переважає кам'яне вугілля. Проте слід зазначити, що саме видобуток вугілля належить до найбільш проблемних галузей у промисловості України. Важливою обставиною є те, що вугільна індустрія держави дуже строката як за природними умовами, так і за виробничим та технічним рівнем підприємств. Сталий економічний розвиток країни вимагає забезпечення ефективного енергетичного розвитку, вагомою складовою якого

є видобувна галузь. Впровадження ефективних систем енергоменеджменту та енергосервісу забезпечить реалізацію промислового потенціалу енергозбереження та сприятиме підвищенню енергоефективності країни [1]. Сучасні реалії підкреслили вагомість відбудови вугільних шахт, які було пошкоджено з 2014 року і на сьогодні не функціонують. Ремонт і подальша експлуатація цих шахт може забезпечити вихід України на новий економічний рівень, стати стартом стабільного розвитку вугільної промисловості.

Енергетична стратегія України передбачає, що після 2020 року вугільна галузь не буде підпорядковуватись державі, а повністю функціонуватиме в рамках ринкових відносин. Зміни у регулюванні галузі стануть впевненим підґрунтям для залучення приватних інвестицій, що сприятиме її розвитку [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Шляхи розвитку видобувної галузі України завжди викликали жвавий інтерес науковців через актуальність проблеми. Питання особливості функціонування видобувної галузі України досліджено у роботах Т.М. Артюха, В.В. Федія, І.В. Григоренка, М.Д. Красножона, А.А. Макурина, З.Я. Шацька, Т.Д. Ганзюка, К.В. Слюсаренка, О.В. Бондар-Підгурської та інші [3, 4]. Питання енергозабезпечення та енергетичної безпеки у своїх працях вивчено А.К. Шидловським, М.П. Ковалком, М.М. Куликом, Б.С. Стогнієм, В.А. Жовтянським, О.М. Суходольським [5]. Зацікавленість цією проблемою пояснюється тим, що розвиток промислового сектору України є вагомим фактором високотехно-

логічного розвитку рівня добувної галузі та сталого розвитку економіки країни.

Математичне моделювання — метод дослідження процесів або явищ шляхом створення та опису відповідних математичних моделей. Застосування методів математичного моделювання до розв'язання прикладних задач присвячено багато робіт (наприклад, [6-8] та інші).

У цій роботі проведено аналіз обсягів видобутку вугілля та побудовано математичну модель, що якнайближче описує вивчене дослідження. Авторами за допомогою методів прогнозування побудовано та описано моделі лінійної, параболічної та гіперболічної регресії, що апроксимують дані обсяги видобутку вугілля в Україні у 2003-2020 роках.

**Метою статті** є дослідження обсягів й аналіз динаміки виробництва видобутку вугілля, побудова та опис математичних моделей апроксимації, вивчення яких дає можливість знаходження ефективних шляхів розв'язку проблем розвитку промислового комплексу та первинного сектору економіки України, базовою складовою якої є видобувна галузь.

### Виклад основного матеріалу

Економіка України складна та багатогранна комплексна структура, основним завдання якої є підвищення рівня життя громадян та сталий розвиток конкурентоспроможного бізнесу. Для виконання поставлених цілей потрібно підтримувати баланс між секторами економіки, які залежать від рівня економічного розвитку.

Основним сектором економіки від якого залежить подальший розвиток інших двох секторів є первинний. Ця секція відповідає за видобуток сировини, які використовуються у інших галузях. Однією із найважливіших корисних копалин, яка активно видобувається в нашій країні залишається вугілля.

Вугільна промисловість є базовою галуззю економіки України та основним енергоносієм. Проте видобуток даної корисної копалини характеризується надзвичайно складними умовами розробки родовищ. Коли йде мова про великі запаси вугілля в надрах країні, слід зауважити, що більше 80% цих запасів зосереджено в пластах потужніс-

тю 1,2 м, які є дуже газоносними, часто небезпечними за раптовими викидами вугілля і газу, вибуховістю пилу, схильністю до самозагорання, які переважно залягають на великих глибинах [1].

У теперішній час видобуток вугілля відбувається на старих шахтах та у складних гірничо-геологічних умовах. Приблизно 96% шахт більше 20 років працюють без модернізованого обладнання, понад 50% машин і спорядження повністю зношені [9-11]. Складним залишається питання із східною частиною вугільної промисловості України. Ситуація, яка складається на окупованих територіях, які в свою чергу є базовими регіонами вугільної промисловості, руйнує систему функціонування видобутку та реалізації горючої корисної копалини. Руйнування інфраструктури та зупинка вугільного бізнесу в окремих східних районах України викликає ризики втрати ролі вугільної промисловості у забезпеченні енергетичної безпеки держави.

Динаміка відновлення розвитку вугільної галузі буде залежати від ефективного відновлення функціонування вугільних підприємств та реформування взаємовідносин на ринку вугільної діяльності.

У цій роботі вивчено й проаналізовано динаміку обсягів видобутку горючої корисної копалини, а саме вугілля, в Україні. Зауважимо, що горючі корисні копалини (г.к.к) – це природні сполуки, які мають здатність горіти і використовуються в народному господарстві як джерело теплової енергії.

Вугілля є тверда осадова порода, яка утворилася під час вуглефікації рослинних залишків під дією тиску та високих температур без доступу кисню. Воно слугує цінним паливом для металургійної та хімічної промисловості [4].

Проведене в цій роботі дослідження базується на даних обсягів видобутку вугілля, які взято сайту державної служби статистики України, з розділу економічна статистика та економічна діяльність, у підрозділі промисловість та пункті виробництво окремих видів промислової продукції [12].

Наведемо вибірку даних державної служби статистики України щодо видобутого вугілля за 2003-2020 роки [12].

Таблиця 1 – Обсяг виробленої продукції добувної промисловості (вугілля, млн т)

Рік	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Вугілля (млн. т)	59,8	59,4	60,4	61,7	58,9	59,5	55	55	62,7	65,7	64,4	45,9	30,2	31,6	24,2	26,3	25,5	24,2

Виклики сучасного життя, суспільно-політичні проблеми суттєво вплинули на обсяги видобутку вугілля в тих підприємствах галузі, які розташовані на сході України, особливо з 2014 року. Наслідком цих змін стало стрімке зменшення загальних обсягів видобутку горючих корисних копалин, зокрема й вугілля. Тому авторами, з метою підвищення точності апроксимації, у дослідженні

використовуються дані табл. 2, які отримано з відповідних показників табл. 1 шляхом усереднення значень з 2014 року та застосування формули (1). Зауважимо, що для усереднення за основу було взято дані за останні чотири роки.

$$\bar{x} = x_0 + \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}, \quad (1)$$

Таблиця 2 – Обсяг виробленої продукції добувної промисловості (вугілля, млн т з перерахунком)

Рік	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Вугілля (млн. т)	59,8	59,4	60,4	61,7	58,9	59,5	55	55	62,7	65,7	64,4	61,95	46,25	47,65	40,45	42,35	41,55	40,25

Зобразимо дані табл. 2 у вигляді графічної залежності (рис. 2). Зауважимо, що значення 1 по вісі абсцис відповідає обсягу виробленої продукції за

2003 р. і всі інші значення вісі абсцис (OX) – це обсяги за відповідний рік. По вісі ординат (OY) подано значення видобутого вугілля (млн. т) по рокам.

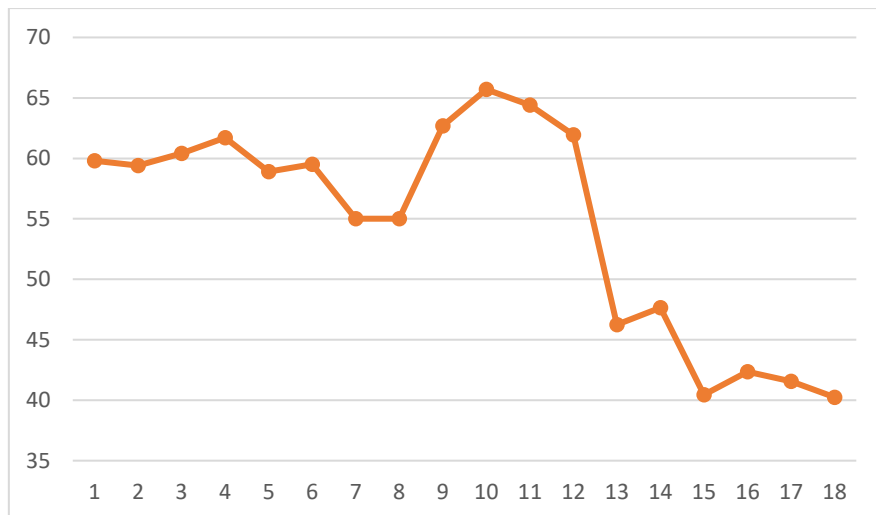


Рис. 1. Обсяг виробленої продукції добувної промисловості (вугілля, млн т)

На графіку суттєво виокремлюється значення обсягів в околі 2010 року, що можна пояснити стрімким ростом обсягів видобутку вугілля згідно до програми розвитку Енергетичної стратегії України [9].

Для аналізу динаміки видобутку вугілля побудуємо математичну модель за допомогою лінійної, квадратичної та гіперболічної залежностей. Щоб побудувати дані залежності використовуємо метод найменших квадратів.

Метод найменших квадратів (МНК) має широкий спектр застосувань, особливе місце займає в методах математичної статистики. Завданням МНК є оцінка спостережуваної закономірності на фоні стохастичних коливань, використовуючи її для подальших розрахунків, зокрема для прогнозування. МНК вплинув на методи опису, відновлення і прогнозування даних самої різної природи. Сутність даного методу полягає в визначенні параметрів моделі тренда, яка найкраще буде описувати тенденцію розвитку якого-небудь явища, в нашому випадку видобутку нафти. Завданням методу найменших квадратів (МНК) – знаходження оптимальної моделі. Ця модель буде оптимальною, якщо сума квадратичних відхилень між спостережуваними фактичними величинами й відповідними їм розрахунковими величинами тренда буде мінімальною (найменшою):  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_x)^2 \rightarrow \min$ , де  $(y_i - \bar{y}_x)^2$  – квадратичне відхилення між спостережуваною фактичною величиною та відповідною їй розрахунковою величиною тренда;  $y_i$  – фактичне (спостережуване) значення явища, що вивчається;  $\bar{y}_x$  – розрахункове

значення моделі тренда;  $n$  – число спостережень за явищем, що вивчається.

МНК використовується як необхідний технічний прийом при кореляційних дослідженнях, інформаційною основою якого може бути лише достовірний статистичний ряд, причому мінімальне число спостережень 4.

Розв'язання задачі апроксимації та побудови математичної моделі завжди цікавило науковців, а особливо актуально є зараз, коли сучасне суспільство переживає глобальні виклики. У цій роботі авторами знайдено розв'язок цієї задачі методом побудови моделей, які використовують дані обсягів видобутку вугілля за 2003-2020 роки і базується на застужанні МНК.

Першим етапом МНК ми приймаємо, що  $x$  – номер дослідження, у даному випадку 2003 рік – 1 спостереження, 2020 рік – 18 спостереження;  $y$  – кількість видобутої вугілля. Перевірку гіпотези про існування залежності між « $x$ » та « $y$ » авторами виконано за допомогою комп'ютерних програм, що дозволяє працювати з широкою базою даних та автоматизує проведення обчислень.

Другим етапом методу є визначення траєкторії, яка краще всього може описати тенденцію зміни видобутку обсягів вугілля.

Третій етап – це розрахунок параметрів регресійного рівняння, яке характеризує дану лінію. Знаходження значень параметрів рівняння регресії, у нашому випадку параметрів  $a$  і  $b$ , є головною частиною МНК. Цей процес зводиться до розв'язання відповідних систем нормальних рівнянь:

- лінійна залежність;

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i; \end{cases} \quad (2)$$

- параболічна залежність;

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n y_i x_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n y_i x_i^2; \end{cases} \quad (3)$$

- гіперболічна залежність.

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \end{cases} \quad (3)$$

Результати розрахунків з параметрами регресійного рівняння, в залежності від вигляду траєкторії опису подаємо у вигляді наступних трьох графіків (рис. 2 – 4). Усі ці траєкторії описують тенденцію зміни видобутку обсягів вугілля. Аналізуючи побудовані графіки, можна зробити висновки, що найбільш точно апроксимує квадратична залежність і тому повне вивчення даної моделі може стати фундаментом для пошуку ефективних шляхів вирішення важливих проблем добувної галузі промисловості.

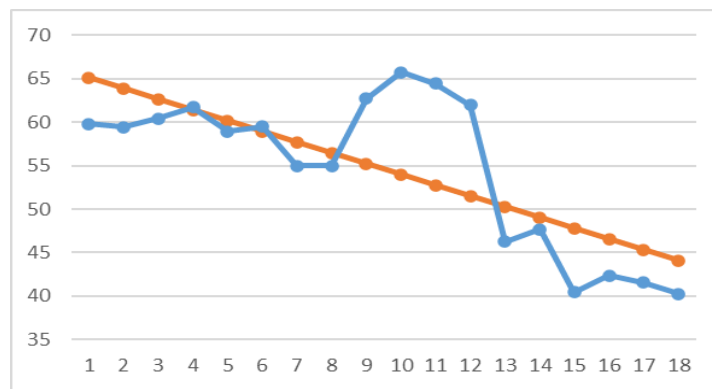


Рис. 2. Лінійна залежність

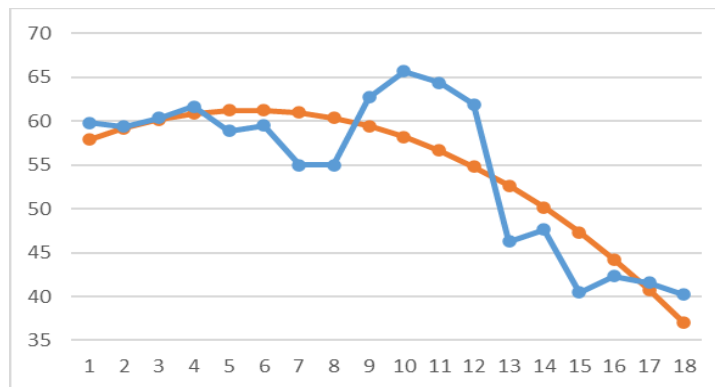


Рис. 3. Параболічна залежність

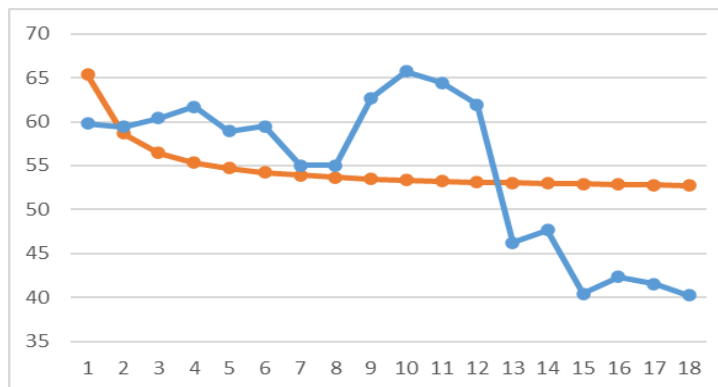


Рис. 4. Гіперболічна залежність

Зауважимо, що проведені в роботі дослідження базуються на даних до 2020 року. На жаль авторам не вдалося знайти статистику по теперішній час, та наведені в [12] дані за 2021 рік про видобуток вугілля ілюструють зменшення обсягу видобутку вугілля на 0,44 млн т, що підтверджує правильність зроблених авторами висновків щодо апроксимації обсягів видобутку вугілля.

### Висновки

Важливою складовою загального комплексу економіки України є добувна промисловість, стабільність і прибутковість якої суттєво впливає на функ-

ціонування всіх секторів національної економіки. Основним фактором прогресивного розвитку видобувної галузі є забезпечення зростання обсягів видобутку вугілля. Знаходження ефективних шляхів розв'язання проблем видобувної галузі дасть змогу Україні повернути належний статус країни-імпортера на світовому ринку та забезпечити працевлаштування значної частини населення, успішно розвивати національну економіку. У роботі авторами проведено дослідження обсягів й аналіз динаміки виробництва, побудовано описи траєкторії тенденції зміни видобутку обсягів вугілля у вигляді лінійної, параболічної та гіперболічної залежності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красножон М.Д. Мінерально-сировинна база України. Стаття 4. Паливно-енергетичні ресурси й перспективи їх наращування / М.Д. Красножон // Мінеральні ресурси України. – 2015. – № 4. – С. 3–6 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru\\_2015\\_4\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru_2015_4_2)
2. OECD (2020), Ukraine Реформа підприємств державної форми власності у секторі електроенергетики України, <http://www.oecd.org/corporate/soe-reform-electricity-sector-ukraine.htm>
3. Сьомак О. М. Аналіз сучасного стану видобувної галузі. ISSN 1994-1749. 2020. Вип. 1 (45) Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. DOI: [http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2020-1\(45\)-90-95](http://dx.doi.org/10.26642/pbo-2020-1(45)-90-95)
4. Бондар-Підгурська О.В. Науково-методичні аспекти інноваційного розвитку гірничодобувної промисловості в контексті сталого зростання. Науковий вісник НГУ. 2014. № 1. С. 143-152
5. Кулибаба С. В. Сучасний стан та тенденції енергозбереження в Україні та світі / С. В. Кулибаба, В. Г. Дем'янишин // «Економічні науки». – Серія «Облік і фінанси». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. Вип. 7. – Ч. 4. – С. 163-171. «Економічні науки». – Серія «Облік і фінанси». – Випуск 7 (25). – Ч. 4. – 2010
6. Онищенко В., Ічанська Н., Скриль В., Фурманчук О. (2022). Економіко-математичне моделювання інноваційного розвитку підприємств будівельної галузі В: Онищенко В., Мамедова Г., Сівицька С., Гасимов А. (ред.) Матеріали 3-ї Міжнародної конференції з будівельних інновацій. ICBI 2020. Конспект лекцій з цивільного будівництва, тому 181. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_65)
7. Горік А.В., Піскунов В.Г., Серов Н.І. Аналітичне рішення задачі про вигин неоднорідного некруглого циліндричного тіла. Міжнародна прикладна механіка 38, 1261-1271 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1022218731489>
8. Горік А.В., Піскунов В.Г., Серов М.І. та співавт. Аналітичне рішення задачі про вигин складеної балки на основі вдосконаленої моделі деформування. Сила Матер 31, 85-98 (1999). <https://doi.org/10.1007/BF02509745>
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145. Режим доступу: <http://search.ligazakon.ua>
10. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. Дата оновлення: 18.08.2017. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80/sp:dark?dark=0#Text>
11. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. <https://mev.gov.ua/>
12. Офіційний сайт державної служби статистики [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

Received (Надійшла) 16.03.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.05.2023

### Analysis of the dynamics of coal mining in Ukraine using the methods of mathematical modeling

N. Ichanskaya, O. Shurpik

**Abstract.** The current status of industrial development is characterized by a study of statistics, an analysis of negative phenomena in the development and location of industrial production, an assessment of the technological level and economic efficiency. The paper considers a mathematical model based on the application of approximation methods to given data by constructing regression curves. The construction of mathematical models that describe the trends and directions of development of various sectors of the national economy is an urgent problem today. The introduction of productive energy management and energy service systems will ensure the realization of industrial energy saving potential and will contribute to energy efficiency. The mining industry is the basis of the manufacturing industry and a significant component of the country's economy. Its current state and development are closely related to the general state of the national economy, which emphasizes the relevance of the topic considered by the authors. This article analyzes the dynamics of coal production for 2003-2020. and processing of statistical data using modern mathematical methods. The authors have built a mathematical model, the study of which can become the basis for finding effective solutions to important problems in the extractive industry. Analyzing the constructed graphs, we can conclude that the quadratic dependence is most accurately approximated, and therefore a complete study of this model can become the foundation for finding effective ways to solve important problems in the extractive industry. The study carried out in the work is effective for constructing algorithms for solving the problems of the extractive industry and increasing the efficiency of the sustainable development of the coal sector of the industry. The main factor in the progressive development of the mining industry is to ensure the growth of coal production. The study of the ways of solving the problems analyzed in the work is the key to an effective solution to the problems of the development of industry, the primary sector of the economy and the economy of Ukraine as a whole.

**Keywords:** mathematical model, mathematical methods, extractive industry, coal, coal industry, mathematical modeling.