

модель процесса спекания или обжига будет являться универсальной и современной на протяжении своего существования. Для того чтобы осуществить создание такой модели, необходимо объединить усилия ученых и производителей, умения программистов, используя современные технические возможности программного обеспечения.

Список литературы

1. Цаплин А.И. Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / А.И. Цаплин, И.Л. Никулин // Из-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. - С. 19-20.
 2. Люстерник Л.А. Краткий курс функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев // Высшая школа, 1982. - С. 128.
 3. Калашников С.Н. Математическое моделирование тепло-массообменных процессов в металлургических агрегатах на основе объектно-ориентированной технологии: Дис. д-ра техн. наук: 05.13.18: Новокузнецк, 2002. - С. 18, 276-278.
 4. Боковиков Б.А. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата / Б.А. Боковиков, В.В. Брагин, В.М. Малкин и др. // Сталь, 2010. - №9. - С. 84-87.
 5. Елисеев А.А. Исследование тепло-массообменных процессов про агломерации шихты / А.А. Елисеев // Дис. канд. техн. наук: 05.14.04: Череповец, 2006. - С. 51-63, 163-165.
- Рукопись поступила в редакцию 12.03.12

УДК 622.7:621.1.016

В.В. ТКАЧ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Облік і контроль витрачання енергоматеріальних ресурсів на різних етапах технологічного циклу в ГМК здійснюється із застосуванням різних методик, заснованих на аналізі процесів з використанням вузькоспеціалізованих критеріїв. Ексергетичний аналіз процесу механотермохімічної переробки мінеральної сировини є необхідним для отримання повної характеристики термодинамічних втрат від безповоротності внутрісистемних процесів.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В умовах зростаючої енергетичної кризи і дефіциту власних енергетичних ресурсів перед українськими підприємствами гірничо-металургійного комплексу стоїть серйозна проблема, пов'язана з енергетичним і матеріальним забезпеченням існуючих обсягів виробництва. При цьому слід звернути увагу не лише на економію енергетичних ресурсів, але й розробити сучасну єдину методологію і методику обліку споживання та нормування енергоматеріальних ресурсів, оцінки технологій за параметром енергоємності, їх впливу на довкілля.

Аналіз досліджень і публікацій. За минулі десятиліття проведена значна кількість досліджень з ефективного використання енергоресурсів в багатьох галузях промисловості і сферах соціального життя суспільства. Питанню розробки методології оцінки енергоспоживання приділяється усе більш зростаюча увага [1-3]. Запропоновані різні методики, розроблені принципи, математичні, термодинамічні критерії оцінки енергоспоживання в технологічних процесах, окремих апаратах, технічних пристроях, у різних сферах діяльності людини.

У ряді публікацій пропонується методологія і різні методики розрахунку показників енергоспоживання й енергоємності технічних об'єктів та технологічних систем [4-6]. Разом з цим звертають на себе увагу такі недоліки методик :

при розрахунках і аналізі витрат енергії на виробництво продукції, як правило, енергоємність розподіляють на енергетичну (електроенергія) і паливну складові. При цьому враховуються статті балансів енергоносіїв, що тільки вводяться в технологічну систему без урахування енергетичної складової вироблюваної енергоматеріальної продукції і відходів виробництва;

усі складові енергоємності об'єднуються шляхом перерахунку їх в умовне паливо по перевідних коефіцієнтах;

під час розробки енергозберігаючих заходів для технологічного процесу, аналізу нових технологій не враховуються потенційна хімічна енергія мінеральних речовин сировини і продуктів виробництва, енергоекологічні дії виробництва на довкілля, величина і кваліфікаційні параметри трудовитрат персоналу, енергетичний потенціал інформаційного забезпечення виробничого процесу та ін.

Технологічні процеси, засновані на використанні механічної і електричної енергії (до них відносяться процеси гірничо-збагачувального виробництва ГМК), нині не вивчаються методами термодинамічного аналізу. Для аналізу технологічних процесів металургійної промисловості розроблена методика складання енергетичного балансу, побудованого на базі не лише першого, але також другого і третього законів термодинаміки з використанням понять хімічної енергії і ексергії речовини. Ці методики не застосовуються для аналізу енергоспоживання в гірничо-збагачувальних процесах. Отже, енергоємність і енергоспоживання в технологічних процесах гірничо-збагачувального і металургійного комплексів вивчається з використанням різної методології і методик.

Постановка завдання. Необхідно розробити єдиний методичний підхід до методики визначення енергетичних параметрів гірничо-збагачувального і металургійного виробництва.

Викладення матеріалу та результатів досліджень. Теоретичним інструментом для енергетичного аналізу технологічної системи є термодинаміка. Розглянемо методологічні основи ексергетичного аналізу системи механотермохімічної переробки мінеральної сировини (МТХП) в готову продукцію. Елементи такої системи застосовуються в цементній промисловості [8], вона є основою в аналізі металургійних процесів. Умовно система МТХП представлена на рис. 1 у вигляді блок-схеми, де один вхід – це введення основного потоку E_M , тобто перетворюваних початкових компонентів, таких як: залізняк ($E_{руднат}$), покривні породи ($E_{покпород}$), коксове вугілля й антрацит ($E_{вугилнат}$), шихтові матеріали та реагенти гірничо-збагачувального переділу ($E_{шихтов}$), шихтові матеріали металургійного переділу ($E_{шихмет}$).

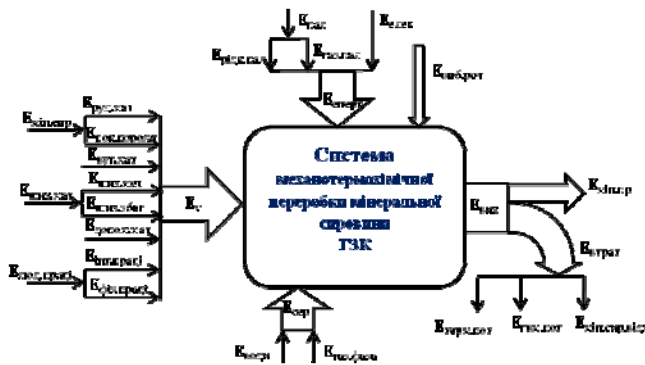


Рис. 1. Умовна блок-схема системи МТХП мінеральної сировини

Другий – уведення допоміжного потоку, необхідного для перетворення і транспортування основного - ($E_{свр}$).

Третій вхід – потоки енергетичних матеріалів і речовин: електроенергія ($E_{елект}$), паливо ($E_{пал}$), вибухові речовини ($E_{вндреч}$). Особливим компонентом схеми є енергетичні затрати праці людини різної кваліфікації для забезпечення роботи

усього технологічного процесу – ($E_{тод.прац}$). Так само слід враховувати ексергетичний еквівалент інформаційного забезпечення технологічного процесу. Під виходом з системи ($E_{внх}$) матимемо на увазі сукупність вихідних газо-водо-матеріальних потоків ($E_{газ.пот}$), теплових потоків ($E_{тепл.пот}$), відходів збагачення ($E_{від.сир.пдп}$) готової мінеральної продукції ($E_{від.пр}$).

Особливості процесу переробки мінеральної сировини зумовлює облік усіх складових енергетичного балансу

$$E_M + E_{енерг} + E_{свр} = E_{від.пр} + E_{втрат} \quad (1)$$

Під ексергією перетворюваного матеріалу E_M та середовища $E_{свр}$ розумітимемо міру термодинамічного стану всіх складових у довкіллі. Ексергія перетворюваного матеріалу характеризує здатність цього матеріалу максимально реагувати на здійснювану по відношенню до нього дію. Ексергія твердого перетворюваного мінерально-сировинного ресурсу визначає міру (ступінь) практичної придатності цього матеріалу з певними фізико-хімічними, фізико-механічними властивостями до подальшого його використання в різних процесах.

Цільовим продуктом у системі МТХП мінеральної сировини є концентрат або огрудкований матеріал. Під ексергією цільових продуктів $E_{від.пр}$ системи розуміється міра їх енергетичного стану в довкіллі. Чим вище ексергія кінцевого цільового продукту системи, тим більш ефективно пройшов процес дії перетворюючих потоків на перетворюваний матеріал. Іншими словами, ексергія (сумарна ексергія готових продуктів) цільових продуктів системи характеризує максимальну здатність цього продукту сприймати дії, що робляться на нього, у ході пода-

льшої переробки. Дослідження показують [2,7,10], що використання ексергетичного аналізу в технології переробки мінеральної сировини забезпечить гарантоване зниження енерговитрат. З цієї точки зору, технологічна схема виробництва має бути оптимізована так, щоб на конкретній сировині й устаткуванні отримати цільові продукти з максимальною ексергією і мінімальними енерговтратами. При переробці мінеральної сировини на цільовий продукт з використанням тільки механічних методів переробки загальна ексергія вхідних потоків будь-якого сталого процесу завжди перевищує загальну ексергію вихідних потоків – цільового продукту (концентрат, кускова збагачена руда) [7]. Ця різниця є мірою термодинамічної безповоротності процесів, а її кількісне визначення в процесі ексергетичного аналізу дозволяє встановити, скільки і де втрачається енергія, де існують можливості для енергозбереження).

До найважливіших завдань, що вирішуються на основі вивчення енергетичних балансів технічних систем, відноситься оцінка ефективності використання підведеної до них енергії. Найбільш відомим і поширеним показником такої оцінки є коефіцієнт корисної дії ККД, що є відношенням корисної (цільовий) енергії до витраченої [2,9]. При ексергетичному аналізі вводиться поняття термодинамічного ККД процесу або ексергетичного ККД, що відбиває міру безповоротності процесу енергоспоживання. Термодинамічний ККД такої системи визначається як відношення кількості ексергії відведених з системи цільових продуктів $E_{відв.пр}$ до усієї витраченої ексергії в технологічному процесі [10]

$$\eta_{сист} = E_{відв.пр} / (E_{ex} + E_{енер} + E_{сер} + E_{в.в.р.ч.}) \quad (1)$$

Завдяки правильній оцінці якості різних видів енергії ексергетичний ККД є мірою ступеня досконалості процесу. Абсолютне значення ексергетичного ККД (1) показує лише досягнутий рівень енерговикористання в процесі, що вивчається, але не показує, наскільки він високий і чи є можливість його подальшого підвищення. Тільки в зіставленні цього значення ККД з показниками еталонного процесу (технологічного процесу аналогу) можна судити про міру його досконалості. У інженерній практиці вже давно і досить широко користуються поняттям ідеального аналогу для оцінки енергетичної досконалості процесів і машин, щоб отримати уявлення про те, наскільки вони можуть бути поліпшені і яка межа зниження витрати енергії на процес. При цьому залежно від характеру вирішуваних завдань використовується аналог з різною мірою ідеалізації. Для аналогу можуть бути розраховані ексергетичний ККД з виразу (1)

$$\eta_{сист}^{від} = \frac{\eta_{сист}^{реал}}{\eta_{сист}^{ідеал}} = \frac{E_{відв.пр}^{реал}}{E_{відв.пр}^{ідеал}} \quad (2)$$

Для гірничо-збагачувального виробництва за величину $E_{відв.пр}^{ідеал}$ слід набути граничне мінімальне значення, яке можна досягти при сучасному рівні техніки і технології в конкретних умовах розвитку виробництва. Ідеальний аналог технологічного процесу є мірою ідеалізації технологічного процесу на підставі глибокого теоретичного аналізу з використанням результатів наукових досліджень і досягнутих показників при переробці аналогічної мінеральної сировини. В першу чергу для умов гірничо-збагачувального виробництва в розробках і розрахунку повинні знайти віддзеркалення найбільш важливі чинники, що впливають на енергетичні та сировинні витрати в досліджуваній технології. Чим вище значення $\eta_{сист}^{від}$ тим досконаліший в енергетичному сенсі реальний процес і тим важче знайти шляхи подальшого його вдосконалення. На основі відносного ексергетичного ККД можна порівнювати різні технологічні процеси й прогнозувати раціональну структуру технологій виробництва готового продукту на гірничо-збагачувальному комбінаті. Характер зміни відносного ексергетичного ККД реального процесу в часі є зростаючою кривою, що асимптотично наближається до 1 (рис. 2).

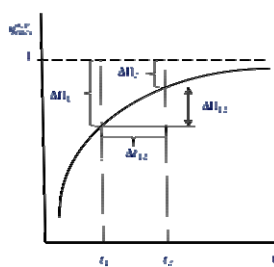


Рис. 2. Потенціал і резерви економії енергоресурсів за рахунок вдосконалення технологічного процесу

Відповідно до цього енерговитрати на виробництво продукту з часом прагнуть до деякої граничної, практично недосяжної величини $E_{відв.пр}^{ідеал}$ енерговитратам його аналогу. Виходячи з цього, можна сформулювати поняття "потенціал енергозбереження" Π_i у момент t_i як теоретично можлива величина зниження енерговитрат в технологічному процесі до рівня витрат енергії в його аналогу $E_{відв.пр}^{ідеал}$. Отже, подібно до

того, як реальні енерговитрати (знижуючись з розвитком техніки і технології) прагнуть до величини енерговитрат процесу аналога, потенціал енергозбереження внаслідок тих же причин є величиною змінною і в межі асимптотично наближається до нуля $\lim_{\Delta T_1 \rightarrow 0} \Delta P_1 / \Delta T_1 \rightarrow 0$.

При реалізації цієї на перший погляд простої методології виникає проблема, як визначити теоретично необхідні енерговитрати для величезної кількості різнотипних по характеру і призначенню технологічних процесів гірничо-збагачувального і металургійного виробництва, тобто як підібрати аналог для кожного досліджуваного процесу. Очевидно, що термодинамічний аналіз будь-яких процесів повинен здійснюватися на єдиних принципах, проте при дослідженні конкретних систем не можна не враховувати їх специфічні особливості. Можна запропонувати методологію визначення мінімально необхідних витрат ексергії на виробництво. Початковими положеннями при цьому ми вважаємо такі. Будь-який процес може бути представлений як сукупність елементарних технологічних операцій, заснованих на загальних фізико-хімічних і механічних процесах переробки мінерального ресурсу, відповідно до характеру яких для кожного з них підбирається відповідний аналог.

Таким чином, методологія ексергетичного аналізу технологічної системи МТХП мінеральної сировини полягає в наступному:

Перший рівень.

1. Визначають термодинамічні межі досліджуваного технологічного процесу та компонентів аналізованої системи МТХП мінеральної сировини.
2. Виконують декомпозицію системи на компоненти, що сполучаються матеріальними й енергетичними потоками (міра декомпозиції визначається необхідною мірою детальності аналізу, а також доступною інформацією).
3. Визначають термодинамічні характеристики потоків: масову витрату, тиск, температуру, мінеральний і гранулометричний склад, потужність, потік тепла і т. ін. При аналізі існуючої системи для отримання цієї інформації проводять виміри, а при проектуванні нового об'єкта використовують моделювання.

Другий рівень

1. Розробляють нові або застосовують відомі методики розрахунку ексергії матеріально-енергетичних потоків.
2. Проводять ексергетичний аналіз компонентів (операцій) технологічного процесу МТХП мінеральної сировини. Визначають мінімальний рівень витрат ексергії для забезпечення роботи технологічної операції, апарату, витратних параметрів і фізико-хімічних характеристик середовища проведення процесу.
3. На основі реальних термодинамічних характеристик потоків ексергії визначаються величини втрат ексергії в різних компонентах системи. Визначають ексергетичні коефіцієнти окремих елементів системи, технологічного процесу загалом. Розраховують реальний і відносний ексергетичний ККД.

Третій рівень

1. Виявляють взаємозв'язки елементів технологічної системи МТХП мінеральної сировини.
2. Встановлюють взаємозв'язок між термодинамічними й економічними характеристиками виробництва.
3. Розробляють методику оптимізації технологічного процесу за ексергоекономічними показниками. Проводять оптимізацію системи МТХП мінеральної сировини термодинамічними і економічними показниками. Визначають потенціал і резерви економії енергоресурсів за рахунок удосконалення технологічного процесу.

Ексергетичний аналіз окремих технологічних операцій, порівняння їх з альтернативними способами переробки дозволить оптимізувати процес гірничо-збагачувального циклу, на основі отримання продукції з максимальною придатністю для металургійного переділу та мінімальними витратами енергоматеріальних ресурсів. Ексергетичний метод аналізу дозволяє розглядати комплексно гірничо-металургійний процес на єдиній методологічній базі.

Висновки та напрями наукових досліджень. Найбільш ефективним і плідним методом, що використовує обидва принципи термодинаміки, є ексергетичний метод термодинамічного аналізу. Ексергетичний метод знайшов практичне застосування в різних галузях техніки і технології, та є основним для аналізу металургійного виробництва. Однак не розроблено мето-

логію його застосування для аналізу гірничо-збагачувальних процесів переробки мінеральної сировини.

Ексергетичний аналіз окремих технологічних операцій, порівняння їх з альтернативними способами переробки дозволить оптимізувати процес гірничо-збагачувального циклу, на основі отримання продукції з максимальною придатністю для металургійного переділу. Ексергетичний метод аналізу дозволяє розглядати комплексно гірничо-металургійний процес на єдиній методологічній базі.

Список літератури

1. Turner, Wayne C., "Energy Management Handbook", 5 ed., (Lilburn, Georgia: The Fairmont Press, Inc., 2005), p.1-7.
2. В.С.Степанов, Т.Б.Степанова. Эффективность использования энергии. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1994. - 257 с.
3. Грищенко С.Г., Сталинский Д.В., Литвиненко В.Г. Применение метода сквозной энергоёмкости для анализа затрат энергоресурсов в горно-металлургическом комплексе// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2009.- №1.- С.110-114.
4. Расход энергоресурсов на производство металлургической продукции //В.Г.Литвиненко, Д.В.Сталинский, Г.Н.Грецькая и др. //Сталь.- 2005.- №7. - С. 124-128.
5. Определение энергоёмкости металлургической продукции// В.Г.Литвиненко, В.Н.Майорченко, Г.Н.Грецькая и др.//*Металлургическая и горнорудная промышленность*.// - 1997.- №xx. - С. 90-93.
6. Евсин В.Г., Першуков А.А., Першуков В.А. Топливо-энергетические затраты на окучивание железорудного сырья // *Сталь*. - 1995.- №11. - С. 4-8.
7. М.А.Вердян, Д.А.Бобров, О.Е.Адаменко и др. Эксергетический анализ при снижении энергозатрат в технологии цемента (части 1-4)// *Цемент*.-1995.-№5/6.- С. 35-44.
8. Андрущенко А.И. Методика расчета эксергетической эффективности технологических процессов и производств. - Саратов: СПИ, 1989.
9. В.С.Степанов, Т.Б.Степанова. Эффективность использования энергии. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1994. - 257 с.
10. Szargut J, Morris D. R., Steward F. R. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes. -N.Y.: Hemisphere, 1988.

Рукопис подано до редакції 12.03.12

УДК 622.233

А.А. ГУЛИВЕЦ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА

Изложены результаты исследований по обоснованию структуры и параметров погружного пневмоударника.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из основных процессов при подземной добыче полезных ископаемых является бурение взрывных скважин (их доля составляет около 85% при подземной добыче) погружными пневмоударниками. При этом актуальным является вопрос о необходимости повышения ударной мощности применяемых пневмоударников для обеспечения необходимой сменной производительности.

Анализ исследований и публикаций. Для интенсификации процесса пневмоударного бурения рядом ведущих зарубежных фирм [1] "Atlas Copco" (Швеция), "Ingersoll-Rand" (США), "Holman" (Великобритания), "Böhler" (Австрия) и другими созданы оригинальной конструкции погружные пневмоударники, работающие на повышенном (до 1,4 - 2,4 МПа и более) давлении сжатого воздуха, который получают в шахтных условиях путем дополнительного сжатия воздуха, отбираемого из шахтной пневмосети, в специальных передвижных компрессорных установках. Анализ работы буровых комплексов фирм "Atlas Copco" и "Ingersoll-Rand" в условиях шахт Кривбасса показал необходимость создания такого отечественного бурового оборудования. Выполненными исследованиями в СССР (институты "ВНИПИрудмаш", НИПИгормаш, НИГРИ) показана перспективность работ в этом направлении.

Постановка задачи. На основании результатов выполненных исследований в нашей стране, изучения опыта зарубежных фирм и объективной необходимости увеличения сменной производительности бурового оборудования при бурении взрывных скважин в крепких породах в подземных условиях сформулирована цель - создание погружных пневмоударников с повы-