

УДК 621.314

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., Р.І. КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ, аспірант

Криворізький національний університет

С.М. БОЙКО, канд. техн. наук

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

## АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Мета.** Розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств.

**Методи дослідження.** Тактика проведення досліджень базується на комплексі аналітичних методів, котрі дозволяють синтезувати структури енергоефективних електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації електричної енергії для умов гірничорудних підприємств

**Наукова новизна.** Розроблена структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств, що враховує особливості реконфігурації системи електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств, у тому числі залізорудних. Для досягнення поставленої мети на кожному рівні управління необхідно застосовувати свій клас моделей управління та свою стратегію їх використання з урахуванням наявності інформаційних зв'язків між функціями управління та зовнішніми факторами.

**Практична значимість.** Підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств за рахунок впровадження джерел розосередженої генерації в структури розподільних мереж цих підприємств.

**Результати.** В умовах гірничорудних підприємств проводяться заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але ці заходи все ж таки мають свою межу, яка на даний час вже близька до насичення на гірничих підприємствах України.

Безумовно, що в комплексі напрямків підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки гірничорудних підприємств. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе впровадження розосередженої генерації.

Відповідно до концепції Енергетичної Стратегії України, ЄС та концепції сучасної енергетики Smart grid, запропонована, структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу.

**Ключові слова:** розосереджена генерація, енергетичне обладнання, електропостачання залізорудних підприємств, оптимізація режимів роботи.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-41-45

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Гірничорудні підприємства є джерелом близько 60% валових надходжень до бюджету країни. Між тим, ці підприємства є одними з енергоємних виробництв. Однак на цих підприємствах є власний запас паливно-енергетичних ресурсів. За результатами сучасних вітчизняних та зарубіжних досліджень було встановлено, що собівартість власної генерації на порядок дешевше ніж вартості електроенергії спожитої з енергомережі.

Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30% від вартості її вироблення [1].

Між тим, освоєння потенціалу джерел розосередженої генерації (ДРГ) - це технічно складне в реалізації в даний час завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від ДРГ і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишаються значно вище, ніж у традиційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки не існує.

Технологічне об'єднання енергії ДРГ і енергії вуглеводневого палива в одній системі має суттєві техніко-економічні переваги. Ця перевага полягає у високій енергетичній ефективності, що недосяжна в існуючих системах енергопостачання, в простоті інтеграції з додатковими генеруючими потужностями на основі ДРГ з будь-яким ступенем заміщення [1].

На часі є певні територіальні обмеження щодо впровадження ДРГ поблизу об'єктів електроспоживання. Однак, зважаючи на те, що залізорудна сировина видобувається як відкритим (кар'єр), так і підземним (шахта, рудник) способами, при цьому займаючи великі площі, що непридатні для сільськогосподарських робіт, залізорудні підприємства мають стати полігоном для впровадження ДРГ в структури розподільчих систем цих підприємств.

В даний час все більша увага приділяється ДРГ, що використовує генератори невеликої потужності, які екологічно чистіші, енергоефективні та економічно більш прийнятні. Ця нова техніка викидає в атмосферу менше шкідливих речовин, включаючи двоокис вуглецю, який впливає на зміну клімату на 70 ... 100% менше, ніж звичайні електростанції. Це відбувається тому, що вони використовують природний газ або поновлювані джерела енергії, а також тому, що вони більш ефективні, тобто мають значно більш високі коефіцієнти корисної дії.

Все це зумовлює швидке зростання і розвиток ДРГ, що базується на розосередженні електричних генераторів невеликої потужності в сучасних системах енергозабезпечення споживачів енергії. З огляду на переваги ДРГ в порівнянні з традиційними електричними станціями, слід очікувати її подальший розвиток і в Україні, оскільки викладені важливі аргументи є визначальними в сучасній сфері енергозабезпечення.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У ряді попередніх досліджень [4-9] автори обґрунтовують той факт, що підвищення енергоефективності та енергозбереження гірничорудних підприємств є головною задачею сьогодення.

Між тим, ці об'єкти, а це в масштабах України сотні гектарів, по всіх своїх параметрах можуть і повинні стати полігоном для розміщення комплексів РГ, які по суті повинні стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем електропостачання підприємств України у тому числі гірничих [3].

**Постановка задачі.** Актуальною науково-практичною задачею розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств.

**Викладення матеріалу та результати.** Спільною рисою гірничих порід є необхідність подальшої їх переробки, для виділення з них корисних компонентів. Границя між рудними та нерудними корисними копалинами умовна. Тому термін «руда» на сьогоднішній день, використовують для назви рудних, ще й багатьох нерудних корисних копалин. Між тим, слід відзначити той факт, що умови розробки рудних та нерудних родовищ схожі, і системи електропостачання також типові. Тому, у цьому контексті цей термін буде використано в подальшому. Враховуючи той факт, що родовища залізних руд найбільш потужні, серед підприємств цієї галузі, то в подальшому аналіз гірничорудних підприємств буде розглядатися на прикладі залізорудних.

Здебільшого на світовому ринку рудної сировини (РС) аспекти розвитку безпосередньо стосуються України - одного з вагомих, але поки що далеко не провідних гравців світового процесу із можливостей видобутку і реалізації руди [5].

Разом з тим РС - як і раніше стратегічний продукт України, багато в чому визначає стан економіки країни, мінімум на найближчі десятиріччя.

Від загальних запасів залізних руд України близько 60-70% запасів складають запаси Криворізького залізорудного басейну [9]. Із загального обсягу РС, яка видобувається в Україні, на частку залізорудних підприємств Кривбасу припадає понад 80%, при цьому питомий обсяг РС одержаної підземним способом видобутку, що складає близько 30% зі стійкою тенденцією збільшення даного сегмента в загальному вітчизняному обсязі видобутку РС [6].

Гірничорудні підприємства (ГРП) у різних країнах світу мають типову, або близьку до типової, структуру системи електропостачання та типовий і обмежений в номенклатурі, склад електроприймачів. Тож в подальшому вирішення поставленої мети буде ґрунтуватися на дослідженнях проведених в умовах гірничорудних підприємств України.

При цьому система електропостачання ГРП безпелеяційно повинна відповідати таким вимогам: 1)забезпечення безперебійного живлення електроенергією відповідальних електроприймачів; 2) бути безпечною у відношенні пожеж та ураження людей електричним струмом; 3) забезпечувати якість електроенергії; 4) бути економічно виправданою при дотриманні всіх перелічених вимог [7].

ГРП постають як динамічні системи, що розвиваються у часі і просторі, стан яких визначається сукупністю різних гірничо-геологічних і технологічних факторів, які характеризують умови виробництва. Одні з цих чинників поступово змінюються в міру розвитку гірничорудного підприємства (наприклад, потужність, споживання електричної енергії (ЕЕ) вентиляторів і калориферними установками, водовідливом і т.п.), інші залежать від пори року (наприклад, приплив води порівняно неглибоких шахт) і т.п. Об'єктивна оцінка стану підприємства виходить в результаті аналізу спрямованості змін його техніко-економічних показників і чинників, що впливають на них [24].

У ряді досліджень, [7-9] пропонувалось формалізувати як регульовані, частково регульовані, які і викликають під дією випадкових факторів. При цьому чинники, в тій чи іншій мірі мають вплив на стан деякого промислового об'єкта, об'єднуються в наступні п'ять груп: кліматичні, гірничо-геологічні, технологічні, організаційно-економічні, технічні. Певний фактор, в результаті аналізу думок фахівців-експертів, складається із ряду чинників, які впливають на процес електроспоживання об'єкта, який приймається за основу при формуванні його математичної моделі.

Врахувати всі фактори при визначенні електроспоживання тим чи іншим окремим механізмом неможливо, так як майже кожний із них рідко залишається режимно постійним навіть протягом нетривалого часу, а окремі фактори непередбачувано впливають на цей процес.

Безумовно, в умовах ГРП проводяться певні заходи щодо підвищення їх електроенергоєфективності, але вони (заходи), даючи деяку економію коштів за спожиту ЕЕ, все ж таки мають свою межу, яка на даний час вже близька до насичення на гірничих підприємствах України [8, 9].

Безумовно, що в цьому комплексі напрямків підвищення енергоєфективності ключова роль відводиться саме підприємствам [9]. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки конкретних видів підприємств. Особливо це стосується ГРП, які мають комплекс своїх специфік. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе такі складові, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня електричної енергії [9]. Згідно з цим було сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств, вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоєфективність, екологічність та електроенергетична безпека [8].

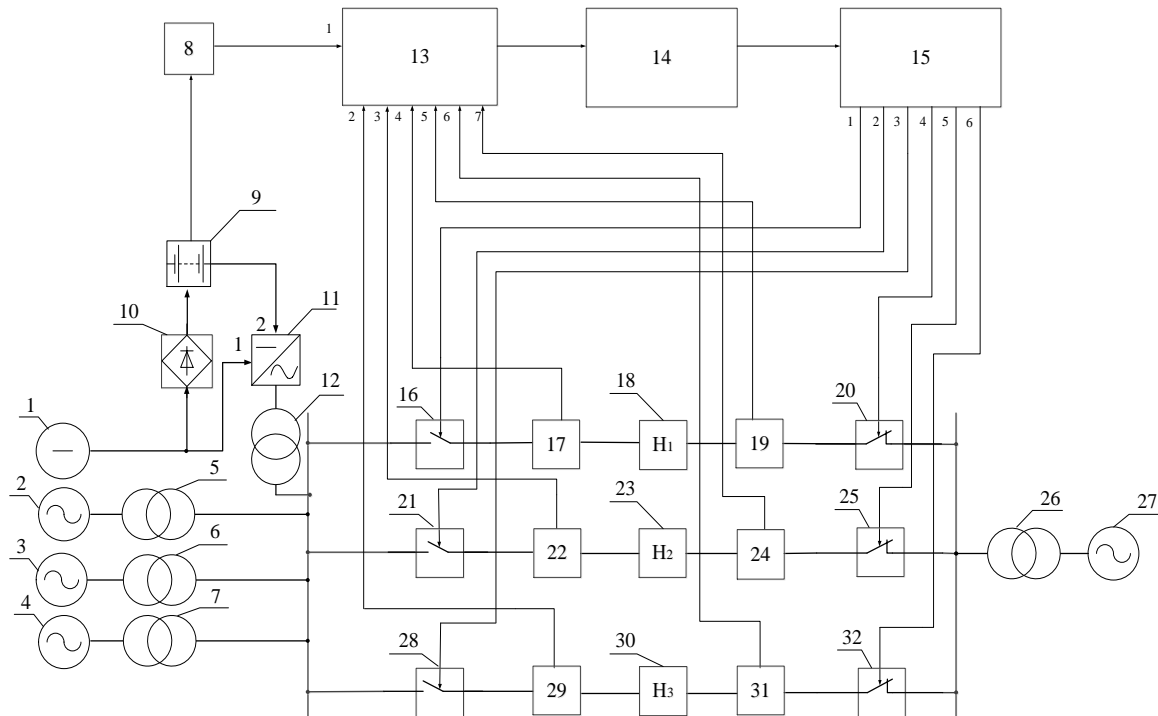
Тому було розглянуто основні напрямки підвищення електроенергоєфективності залізрудних підприємств [9] (рис. 1).



Рис 1. Основні напрямки підвищення електроенергоєфективності гірничорудних підприємств

Між тим до пріоритетних напрямків розвитку сучасної енергетики можна віднести концепцію SmartGrid. Таким чином, в подальшому розгляд теоретичних аспектів формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств будуть у розрізі Regional Smart Grid (RSG) – напруга від 3 до 110 кВ і Micro Smart Grid (MSG) – напруга 0.4-3 кВ. Між тим, слід зауважити, що засоби силової електроніки є органічними елементами розглянутих систем при впровадженні Smart Grid [10].

Враховуючи проблематику та поставлену науково-практичну задачу, розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств, запропоновано структурну схему синергетичного електротехнічного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації (рис. 2).



**Рис 2.** Структурна схема електроенергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації: 1 – сонячна електростанція; 2 – вітроенергетична станція; 3 – мікрогідроелектростанція; 4 – гідроакumuлююча електростанція; 5 – перший трансформатор; 6 – другий трансформатор; 7 – третій трансформатор; 8 – система діагностики акумулятора; 9 – блок акумуляторних батарей; 10 – блок заряду акумуляторної батареї; 11 – інвертор; 12 – четвертий трансформатор; 13 – погоджуючий пристрій блоків датчиків; 14 – система керування електропостачання; 15 – погоджуючий пристрій системи керування електропостачання; 16 – перший керуючий комутатор; 17 – перший блок датчиків; 18 – перший активний споживач; 19 – другий блок датчиків; 20 – другий керуючий комутатор; 21 – третій керуючий комутатор; 22 – третій блок датчиків; 23 – другий активний споживач; 24 – четвертий блок датчиків; 25 – четвертий керуючий комутатор; 26 – п'ятий трансформатор; 27 – мережа; 28 – п'ятий керуючий комутатор; 29 – п'ятий блок датчиків; 30 – третій активний споживач; 31 – п'ятий блок датчиків; 32 – шостий керуючий комутатор

Таким чином, запропонована структурна схема електроенергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації дасть можливість впровадити відновлювальні джерела електричної енергії в розподільчі мережі цих підприємств.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Відповідно до концепції Енергетичної Стратегії України, ЄС та концепції сучасної енергетики Smart grid, запропонована, структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу.

## Список літератури

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року. **Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Негодуйко В.О., Пертко П.П., Блінов І.В.** – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. *World Energy Outlook –2019*, OECD/IEA, Paris.
3. **С.М. Бойко** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія / Бойко С.М., під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, ПП Щербатих О.В. 2020. – 263с.
4. Ю.Г. Вілкул, Л.А. Азарян, В.А. Колосов, Ф.І. Караманиць та А.С. Ватарєв Сучасний стан залізорудної галузі, прогноз розвитку та пропозиції, *Якість сировини*. Сборник наукових трудов, т.1, , 2017 – с. 9-24.
5. **Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О.** Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізорудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
6. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. / **О.М. Сінчук, А.Г. Багал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.
7. Електрифікація гірничого виробництва: Підручники для ВНЗ: у 2-х т. – Вид. 2-ге перероб. то допов./ За редакцією **Л.О. Пучкова і Г.Г. Півняка**. – Д.: Нац. гірн. університет, 2010, т. 1. – 503 с.
8. **Синчук О.Н.** Оценка потенциала и тактика повышения электроэнергоэффективности подземных железорудных производств / **Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С., Баулина М.А., Яловая А.Н.** // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: ЧП «Технологический центр». – 2014. – с.34 – 39.
9. **Сінчук І.О.** Методологічні засади оцінювання електроенергоєфективності залізорудних підприємств – монографія / **І.О. Сінчук** – Кременчук, ПП Щербатих О.В. 2019. – 284с.
10. **Buchholz V., Styczynski Z.** Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.

Рукопис подано до редакції 15.04.2020

УДК 621.929.6:622.781

**В. Й. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ**, д-р техн. наук, проф., С.В. ШВЕД,

**І. В. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ**, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький металургійний інститут НМетАУ,

**М. І. ШЕПЕЛЕНКО**, аспірант, Криворізький національний університет

## ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ЗМІШУВАЧА ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ РУСІ ШАРУ МАТЕРІАЛУ НА КОНВЕЄРІ

**Мета.** Обсяги вантажних перевезень шихтових матеріалів в гірничо-металургійному комплексі визначаються в мільйони тон щороку. Це обумовлено використанням даних матеріалів в гірничо-рудній агломераційній і коксохімічній промисловості. При довгих перевезеннях компоненти таких матеріалів (вугілля, руди, рудні концентрати, флюси), що мають певну природну вологу, в зимовий період змерзаються та окрім цього передрібнюються та сегрегують, це призводить до погіршення розвантажувальних робіт, що знижує якість підготовки металургійної шихти та як наслідок зростає собівартість готової металургійної продукції та виникають додаткові витрати на їх підготовку. Таким чином використання для шихтових матеріалів передусім додаткове розпушення та їх перемішування, переважно для цього використовують змішувачі безперервної дії, які встановлюються над конвеєрною стрічкою. Саме вдосконалення змішувачів, як базисного обладнання для підготовки компонентів шихти, є перспективним шляхом в питаннях підвищення ефективності агломераційного і коксохімічного виробництва. Метою даної роботи стало визначення раціональних кінематичних параметрів і геометричних параметрів робочого органу змішувача встановленого над конвеєрною стрічкою, що сприяє підвищенню якості підготовки шихтових матеріалів в гірничо-металургійній галузі.

**Методи.** У науковій праці розглянуті: методи аналітичного дослідження функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрі; методи руху частини матеріалу на лопатці змішувача горизонтально-направленою дією.

**Наукова новизна** полягає у встановленні нових закономірностей, що описують вплив конструктивних і режимних параметрів робочого органу змішувача на шар (та відповідно на частину) матеріалу, яка рухається на конвеєрній стрічці.

**Практична значимість.** Результати цієї роботи мають практичне значення, так як одержані в ній залежності дають змогу обрати раціональні кінематичні параметри робочого органу змішувача безперервної дії та підвищити якість підготовки шихтових матеріалів перед їх подальшим використанням.

**Результати.** Робота супроводжується математичними рівняннями, з допомогою якої є можливість встановлення раціональних параметрів основних елементів роторного змішувача безперервної дії, що встановлюється безпосередньо над конвеєрною стрічкою, що стануть основою для проектування прототипу лопатки роторного змішувача, що в свою чергу є перспективним засобом збільшення ефективності існуючої конструктивної схеми.

**Ключові слова:** змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, шихта.