

До особливостей реалізації концепції Smart Grid в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі

Сінчук О. М., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
e-mail speet@ukr.net

ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Кривий Ріг, Україна

Бойко С. М., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)
e-mail boiko_s_n@mail.ru

Мінаков І. А., ORCID [0000-0002-8332-5446](https://orcid.org/0000-0002-8332-5446)
e-mail minakov92@i.ua

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Кременчук, Україна

Реферат—У статті наведено особливості впровадження концепції Smart Grid для умов підприємств гірничо-видобувної галузі. Доведено, базуючись на оцінці та враховуючи особливості вітчизняних гірничо-видобувних підприємств, актуальність впровадження концепції Smart Grid, в умовах аналізованих видів підприємств. Запропоновано авторське бачення структури схеми інтелектуальної системи електропостачання-електроспоживання підприємств гірничо-видобувної галузі на основі концепції Smart Grid з використанням відновлюваних джерел енергії. Проаналізовано моделі керування споживанням і генерацією, що побудовані на основі активного споживання електричної енергії в розрізі Smart Grid. Проаналізовано особливості визначення та запропоновано метод визначення рівня електроенергоєфективності в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі, при впровадженні складових концепції інтелектуальної енергетики Smart Grid. При цьому пропонується впровадження факторів та їх коефіцієнтів.

Бібл. 6, рис. 1.

Ключові слова — концепція Smart Grid; електропостачання; електроспоживання.

1. Вступ

Одним з головних напрямків розвитку енергетики України на період до 2035 року є забезпечення енергоєфективного споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій, в тому числі очікується збільшення виробництва електроенергії (ЕЕ) потужними установками, що використовують переважно енергію сонця, вітру та додатково малопотужними відомчими установками на базі традиційних та інших типів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Між тим поки-що надійність мереж електропередачі в Україні є нижчою, ніж у європейських країнах в силу високих показників SAIDI та значного рівня втрат у мережі (понад 20%). При цьому втрати електроенергії у розподільних мережах складають до 75% від загальних втрат. Даний фактор негативно впливає як на якість ЕЕ, так і на енергетичну безпеку України в цілому [1].

В свою чергу, концепція інтелектуальної енергетики Smart Grid 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, згідно з цим було сформовано такі ключові, для сучасних умов підприємств, вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоєфективність, екологічність та електроенергетична безпека [1].

Тож, зважаючи на вище перераховані фактори та на те, що гірничі підприємства, є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів, а приблизно 90% всього об'єму енерговитрат на виробництво продукції – залізорудної сировини, складають електроенергетичні, актуальним є дослідження питання впровадження концепції Smart Grid, з метою очікуваного зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання цих підприємств [2].

II. МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як відзначалося раніше, одним з основних факторів впровадження концепції Smart Grid в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі (ГВГ) є зниження



собівартості залізородної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, впровадження ВДЕ [2].

При цьому система електропостачання підприємств ГВГ повинна відповідати таким вимогам: забезпечення безперебійного живлення електроенергією відповідальних електроприймачів; бути безпечною у відношенні пожеж та ураження людей електричним струмом; забезпечувати якість електроенергії; бути економічною при дотриманні всіх перелічених вимог [6].

У ряді наукових досліджень розглядається ефективне споживання, переваги активного споживання ЕЕ в умовах підприємств ГВГ та її заощадження з можливістю використання ВДЕ в умовах підприємств ГВГ [6]. Між тим, вся та ж специфіка підприємств ГВГ не дозволяє «тиражувати» ці дослідження в дану галузь [2-6].

На рис. 1 представлено рекомендований варіант інтелектуальної системи електропостачання - електроспоживання підприємств ГВГ. Вона у своєму складі має: блок нетрадиційних відновлювальних джерел електричної енергії (НВДЕЕ) ЕУ (де ЕУ1-2 – мережа (два незалежні джерела), ЕУ 3-4 – ГЕС – гідроелектростанція, ВЕС – вітроенергетична станція, ЕУ5 – СЕС – сонячна енергетична станція); блок системи керування електропостачанням цеху (СКЕПЦ);

СКН1-2 – блок системи керування навантаженням; К – елементи керування комутаторів, інвертор, АКБ – блок акумуляторних батарей; ЕП1-4 – споживачі (як приклад, у даному випадку), БД1-5 – блоки датчиків; І – інвертор; РП – розподільчі пристрої мережі та НВДЕЕ.

Схема працює наступним чином. Електроприймач ЕП1, надсилає сигнал на систему керування навантаженням СКН1, а та в свою чергу відсилає сигнал на систему керування електропостачанням цеху СКЕПЦ. СКЕПЦ зчитує сигнали з блоків датчиків БД1-5 та керує всіма контактами К1-8.

Система має традиційне джерело живлення, а також відновлювані джерела, до яких входять ВЕС, СЕС, ГЕС, оскільки за попередніми дослідженнями в умовах підприємств ГВГ вони мають найбільший потенціал [2, 6], та інші види відновлювальних та альтернативних джерел електричної енергії. Тобто є можливість споживати електричну енергію від блоку НВДЕЕ або від мережі.

Відповідно до навантаження вибирається та установка, яка в даний момент виробляє електричну енергію і в достатній кількості, тоді система керування під'єднує один з видів відновлювального джерела електричної енергії, що через комутаційні пристрої, з'єднується з активним споживачем, яких може бути підключено декілька.

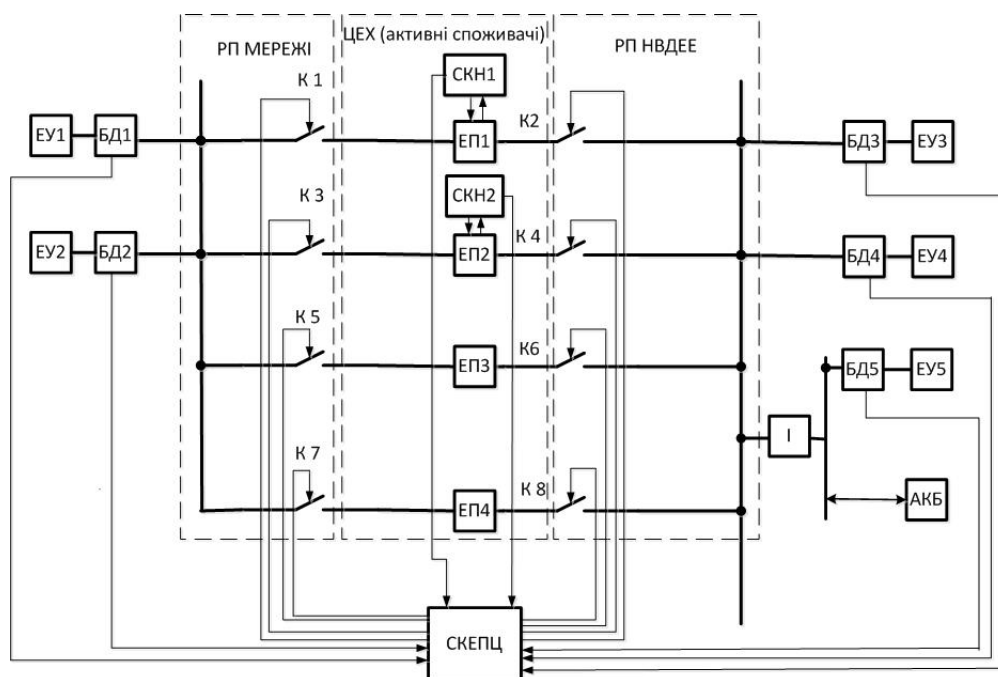


Рис. 16 Рекомендований варіант інтелектуальної системи електропостачання-електроспоживання при впровадженні концепції Smart Grid в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі

Кожний активний споживач має в собі блок датчиків, виходи якого з'єднанні з погоджувачим пристроєм споживача, який з'єднаний з системою керування. Тобто, дана система може самостійно вибирати яке джерело електричної енергії є найбільш вигідним за рядом критеріїв, перерахованих раніше (екологічність, надійність, економічність) [4, 5], а також може розподіляти споживання електроенергії по тарифним зонам, що дозволить зменшити собівартість залізородної сировини, не порушуючи технологічного процесу, тим самим дана продукція буде більш конкурентоспроможною на ринку.

На сьогодні невідома модель керування споживанням і генерацією при активному споживанні ЕЕ, яка підходила б для опису всіх типів промислових споживачів, давала змогу врахувати втрати споживача в разі різних графіків навантаження, включала в себе керування власною генерацією і в той же час була б досить простою для обчислення та такою, щоб стати основою поведінки агентів-споживачів у рамках мультиагентної системи.

Модель, описана в [1], дає змогу виділити основні економічні фактори, які впливають на поведінку активного споживача, допомагає оцінити порядки їх значень у фінансовому вираженні і може бути використана для опису його поведінки при розробці, як механізмів мотивації споживачів до участі в регулюванні, так і механізмів керування попитом. Представлена модель дає змогу виділити основні економічні чинники, що впливають на поведінку споживача, і допомагає оцінити порядки величин цих факторів у фінансовому вираженні й може бути використана для опису його поведінки при розробці, як механізмів мотивації споживача до участі в регулюванні, так і механізмів керування попитом.

Розглянута цільова функція споживача являє собою такий вигляд:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot k_i)}{n} \rightarrow 1$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_i$ – фактори, k_i – коефіцієнти факторів, n – кількість факторів.

Тоді

$$\frac{\sum \left[\begin{aligned} &(\alpha_{\text{nadijn}} \cdot k_1) + (\alpha_{\text{ekonomiy}} \cdot k_2) + \\ &+ (\alpha_{\text{efektivn}} \cdot k_3) + (\alpha_{\text{NVDEE}} \cdot k_4) + \\ &+ (\alpha_{\text{vtrati}} \cdot k_5) + (\alpha_{\text{pributok}} \cdot k_6) + \\ &+ (\alpha_{\text{kapitalovklad}} \cdot k_7) \end{aligned} \right]}{7} \rightarrow 1,$$

де $\alpha_{\text{nadijn}} \cdot k_1$ – фактор надійності системи електропостачання за критеріями; $\alpha_{\text{ekonomiy}} \cdot k_2$ – фактор економії ЕЕ та економії при цьому грошей на закупівлю ЕЕ; $\alpha_{\text{efektivn}} \cdot k_3$ – фактор енергетичної ефективності

використання ЕЕ; $\alpha_{\text{NVDEE}} \cdot k_4$ – фактор впровадження ВДЕ; $\alpha_{\text{vtrati}} \cdot k_5$ – фактор втрат ЕЕ в розподільчих мережах; $\alpha_{\text{pributok}} \cdot k_6$ – фактор прибутку від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу; $\alpha_{\text{kapitalovklad}} \cdot k_7$ – фактор капіталовкладень на впровадження заходів для підвищення ефективності використання ЕЕ.

Розглянемо особливості визначення рівня електроенергоефективності при впровадженні концепції Smart Grid в умовах підприємств ГВГ. При цьому пропонується впровадження факторів та їх коефіцієнтів. При цьому середнє арифметичне суми добуток факторів повинне бути рівном або наближеним до одиниці.

Кожен фактор описується в залежності від певних умов окремо за допомогою коефіцієнта k , який вказує значимість того чи іншого фактору від 0 до 1. Де максимум з фактору відповідає одиниці, а мінімум, тобто відсутність будь-якого прояву відповідного фактору, відповідає 0.

Оскільки, однією з ключових цінностей концепції Smart Grid є максимальна ефективність використання, передачі, розподілення та споживання ЕЕ, розглянемо за якими критеріями пропонується визначати значення коефіцієнтів факторів, спираючись на результати попередніх досліджень електроенергоефективності підприємств ГВГ (що є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів, але не є еталоном в електроенергоефективності) [5].

Фактор надійності системи електропостачання (0, 0,25, 0,5, 0,75, 1): 1) одне мережеве джерело ЕЕ; 2) два мережевих джерела ЕЕ; 3) додаткове джерело ЕЕ на базі невідновлювальних джерел ЕЕ; 4) додаткове джерело ЕЕ на базі ВДЕЕ; 5) додаткове джерело ЕЕ на базі ВДЕЕ та застосування додаткового акумулявання ЕЕ, для подальшого вирівнювання графіків електропостачання (в піка, напівпіках та інших режимах роботи).

Фактор економії ЕЕ та економії при цьому грошей на закупівлю ЕЕ (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1): 1) 0%; 2) до 1% включно; 3) від 1 до 5% включно; 4) від 5 до 10% включно; 5) від 10 до 25% включно; 6) від 25%.

Фактор енергетичної ефективності використання ЕЕ (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1): 1) F, G; 2) E; 3) D; 4) C; 5) B; 6) A [5]. Фактор енергетичної ефективності, у даному випадку, визначається встановленим класом енергетичної ефективності споживачів (відповідним маркуванням від А до G). Найбільший рівень енергетичної ефективності мають споживачі з найменшим рівнем споживання ЕЕ (класу А). Споживачі класу С споживають ЕЕ на нормативному рівні. Інші класи споживачів (D, E, F, G) мають рівень споживання ЕЕ більше нормативного.

Фактор впровадження ВДЕ (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1): 1) не впроваджуються ВДЕ; 2) ВДЕ забезпечують до 10% потужності навантаження; 3) ВДЕ забезпечують до 25% потужності навантаження; 4) ВДЕ забезпечують до 50% потужності навантаження; 5) ВДЕ забезпечують до 75% потужності навантаження; 6) ВДЕ забезпечують до 100% потужності навантаження.



Фактор втрат ЕЕ в розподільчих мережах (0, 0,25, 0,5, 0,75, 1): 1) максимальні втрати ЕЕ (понад 20%); 2) втрати ЕЕ фіксуються на рівні 16% на нижче; 3) втрати ЕЕ фіксуються на рівні 13% на нижче; 4) втрати ЕЕ фіксуються на рівні 10% на нижче; 5) втрати ЕЕ фіксуються на рівні 7% на нижче.

Фактор прибутку від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу (0, 0,25, 0,5, 0,75, 1): 1) відсутній прибуток, або мінімальний прибуток від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу до 5%; 2) прибуток від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу від 5 до 30%; 3) прибуток від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу від 30 до 50%; 4) прибуток від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу від 50 до 75%; 5) максимально можливий прибуток від генерування ЕЕ ВДЕ в мережу від 75 до 100%.

Фактор капіталовкладень на впровадження заходів для підвищення ефективності використання ЕЕ (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1): 1) окупність капіталовкладень складає більше 5 років; 2) окупність капіталовкладень складає від 1 до 5 років; 3) окупність капіталовкладень складає від 6 місяців до 1 року; 4) окупність капіталовкладень складає від 2 до 6 місяців; 5) окупність капіталовкладень складає від 1 до 2 місяців; 6) капіталовкладення відсутні, або окупність капіталовкладень складає до 1 місяця.

Як приклад, розрахуємо за запропонованою методикою, зміну рівня електроенергоефективності до впровадження заходів, спрямованих на підвищення електроенергоефективності (живлення від двох незалежних мережевих джерел ЕЕ, не відбувається економія грошей на закупівлю ЕЕ, не впроваджуються ВДЕ і відповідно відсутність прибутку від їх використання, значні втрати ЕЕ в розподільчих мережах, використання не енергоефективного обладнання, капіталовкладення на модернізацію відсутні):

$$\frac{0,25+0+0,2+0+0+0+1}{7} = 0,21.$$

В той же час, рівень енергоефективності після впровадження заходів у розрізі концепції Smart Grid в умовах підприємства ГВГ (живлення від двох незалежних мережевих джерел ЕЕ та додаткове джерело ЕЕ на базі НВДЕЕ та застосування додаткового акумулювання ЕЕ, економія грошей на закупівлю ЕЕ від 5 до 10%, ВДЕ забезпечують до 50% потужності навантаження, але відсутній прибуток від їх використання (тільки економія спожитої з мережі ЕЕ), втрати ЕЕ фіксуються на рівні 16%, Споживачі класу С споживають ЕЕ на нормативному рівні, окупність капіталовкладень складає від 1 до 5 років:

$$\frac{1+0,6+0,6+0,6+0,25+0+0,2}{7} = 0,46.$$

Таким чином, підвищенню електроенергоефективності на підприємствах ГВГ сприятиме заміна електротехнічного обладнання на більш енергоефективне та впровадження НВДЕЕ в систему електропостачання (у тому числі, використання незадіяного надлишку енергії від технологічного процесу підприємств ГВГ, для генерування ЕЕ), що в свою чергу вплине на зниження втрати ЕЕ в розподільчих мережах підприємств ГВГ.

Беручи до уваги наведені раніше результати досліджень, щодо можливості впровадження ВДЕ в умовах підприємств ГВГ [6], та наведені результати розрахунків та досліджень, можна зазначити актуальність запропонованої методики розрахунку рівня електроенергоефективності при впровадженні заходів з метою її підвищення у розрізі концепції Smart Grid.

В свою чергу, до особливостей реалізації концепції Smart Grid в умовах підприємств ГВГ можна віднести: впровадження на підприємствах ГВГ автоматизованої системи обліку ЕЕ на всіх контрольних вузлах системи електропостачання, заміну застарілого електрообладнання на сучасне енергоефективне, впровадження ВДЕ, з метою економії ЕЕ, спожитої з мережі (оскільки згенерована ЕЕ в умовах підприємств ГВГ найбільш ефективно може використовуватися при живленні електроприймачів цехів).

ВИСНОВКИ

- 1) Розробка та впровадження в практику роботи вітчизняних гірничо-видобувних підприємств концепції Smart Grid, дозволить підвищити ефективність та надійність систем електропостачання розглянутих типів підприємств.
- 2) Розроблена та рекомендована для практичної реалізації структурна схема інтелектуальної системи електропостачання-електроспоживання підприємств гірничо-видобувної галузі на основі концепції Smart Grid.
- 3) Запропоновано метод визначення електроенергоефективності в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі, при впровадженні складових концепції інтелектуальної енергетики Smart Grid враховує специфіку даних підприємств, в достатній мірі відповідає критеріям функціонування цих підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] A. V. Kirilenko; [et al.], *Intellektualnyie elektroenergeticheskie sistemy: elementy i rezhimy* [The smart power system: elements and modes], Kyiv: Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine, 2014.
- [2] Sinchuk, O. N.; Sinchuk, I. O.; Guzov, E. S.; Yalovaya, A. N.; Boyko, S. N., *Potentsial elektroenergoeffektivnosti i puti ego realizatsii na proizvodstvah s podzemnymi sposobami dobyichi zhelezorudnogo syry* [The potential of electroenergoinvest and its implementation in production work with underground methods of mining iron ore, Kremenchuk: Izd. CHP Sherbatyh A.V., 2015, p. 296. ISBN: 978-617-639-072-5
- [3] Prahovnik, A. V.; Denisyuk, S. P.; Kotsar, O. V., «Printsypy organlzatsii vzaiedodlii komponent smart merezh [Principles of the organization of interaction component of the smart grid],» *Tehn. elektrodinamika*, № 3, pp. 51-52, 2012.
- [4] Kirilenko, O. V.; Tankevich, S. Ie.; Zhuykov, V. Ya., *Intellektualni elektrichni merezhi: elementi ta rezhimy* [Smart grid: elements and modes], Kyiv: Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine, 2016, p. 400. ISBN: 978-966-02-7913-1
- [5] Sinchuk, O. M.; Sinchuk, I. O.; Guzov, E. S.; Yalovaya, A. N.; Boyko, S. N., *Energoeffektivnost zhelezorudnyih proizvodstv. Otsenka, praktika povyisheniya* [Energy efficiency of iron ore production. Assessment, practice improvement], LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH, 2016, p. 346. ISBN: 978-3-659-87427-7



[6] Sinchuk, O. M.; Sinchuk, I. O.; Boyko, S. M.; Mel'nik, O. Ie., VidnovliuvanI ta alternatyvni dzhherela energii: navchalnyi posibnik [Renewable and alternative energy sources. Tutorial],

Kremenchuk: Vidavnistvo PP Sherbatih O.V., 2015. ISBN: 978-617-639-065-7

Надійшла до редакції 24 травня 2017 р.

УДК 621.311.4.031

К особенностям реализации концепции Smart Grid в условиях предприятий горно-добывающей отрасли

Синчук О. Н., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
e-mail speet@ukr.net

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
Кривой Рог, Украина

Бойко С. Н., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)
e-mail boiko_s_n@mail.ru

Минаков И. А., ORCID [0000-0002-8332-5446](https://orcid.org/0000-0002-8332-5446)
e-mail minakov92@i.ua

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
Кривой Рог, Украина

Реферат—В статье приведены особенности внедрения концепции Smart Grid для условий предприятий горно-добывающей отрасли. Доказано, базируясь на оценке и учитывая особенности отечественных горно-добывающих предприятий, актуальность внедрения концепции Smart Grid, в условиях анализируемых видов предприятий. Предложено авторское видение структуры схемы интеллектуальной системы электроснабжения-электропотребления предприятий горно-добывающей отрасли на основе концепции Smart Grid с использованием возобновляемых источников энергии. Проанализированы модели управления потреблением и генерацией, построенные на основе активного потребления электрической энергии в разрезе Smart Grid. Проанализированы особенности определения и предложен метод определения уровня электроэнергоеффективности в условиях предприятий горно-добывающей отрасли, при внедрении составляющих концепции интеллектуальной энергетики Smart Grid. При этом предлагается внедрение факторов и их коэффициентов.

Библ. 6, рис. 1.

Ключевые слова — концепция Smart Grid; электроснабжения; электропотребления.

UDC 621.311.4.031

The peculiarities of the implementation of the Smart Grid concept in the enterprises of mining industry

O. M. Sinchuk, Dr.Sc.(Eng.), Prof, ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
e-mail speet@ukr.net



Copyright (c) 2017 Синчук О. М., Бойко С. М., Минаков И. А.

State institution of higher education «Kryvyi Rih National University»
Kryvyi Rih, Ukraine

S. M. Boiko, PhD, ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

e-mail boiko_s_n@mail.ru

I. A. Minakov, ORCID [0000-0002-8332-5446](https://orcid.org/0000-0002-8332-5446)

e-mail minakov92@i.ua

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract—One of the main factors of introducing the concept of Smart Grid in terms of mining and extractive industry is reducing the cost of iron ore and increase the reliability of electricity supply. In turn, the greatest effect is expected in the implementation and interoperability technology of intelligent networks, load control, the introduction of renewable energy sources. The article presents the results of investigations of peculiarities of implementation of the Smart Grid for enterprises of the mining industry. Proven, based on the evaluation and considering features of domestic mining enterprises, the relevance of the implementation of the Smart Grid concept, in terms of the analyzed types of businesses. The author's vision of the structure diagram of intelligent power system—the electricity consumption of the mining and extractive industry on the basis of the Smart Grid concept using renewable energy sources. Analyzed models of management of consumption and generation based on the active consumption of electric energy in the context of Smart Grid. The features of the definition and the method of determining the level electroenergoinvest in enterprises of the mining industry, the introduction of components of the concept smart energy Smart Grid. The features of the definition of electric power efficiency the introduction of the concept of Smart Grid in terms of mining and extractive industries. It is proposed the introduction of factors, which includes factor in the reliability of electricity supply, a factor energy savings and economy with money to purchase electricity factor energy efficiency of electric power factor introduction of renewable energy sources, a factor losses in electricity distribution networks, factor income from electricity generation renewable energy network investments factor in the implementation of measures to improve efficiency energy use and their coefficients (weight factor). This sum of products arithmetic mean of the factors to be equal or close to one. Important factor in their equivalent amount, but in the absence of the manifestation of at least one factor in its preliminary determination as meaningful, appropriate, or see its relevance to this case, or see the measures to increase electricity efficiency. As an example, analyzed the proposed method, variations in electric power efficiency the introduction of the concept of Smart Grid in terms of mining and extractive industries. Thus, taking into account given earlier results of studies on the possibility of introduction of renewable energy sources in terms of both mining and extractive industries, and these research results, we note the relevance of the proposed method of calculation of electric power efficiency in implementing measures for its improvement in terms of the concept of Smart Grid.

Ref. 6, fig. 1.

Key words — the concept of Smart Grid; electricity; electricity power supply.

