

Силовая электроника

УДК 621.311.4.031

О.М. Сінчук¹, І.О. Сінчук¹, С.М. Бойко², І.А. Мінаков²

¹ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
вул. XXII Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна.

²Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна, E-mail: bsn1987@i.ua.

Алгоритм вибору нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії до локальної системи електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу

У статті запропоновано впровадження локальних енергетичних систем (ЛЕС) в комплекс електропостачання підприємств вітчизняного гірничо-видобувного комплексу (ГВК) на базі нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії (НВДЕЕ). Проаналізовано особливості використання ЛЕС та обґрунтовано актуальність розробки і реалізації в практику роботи підприємств ГВК НВДЕЕ, як додаткових джерел живлення у складі системи електропостачання, з метою забезпечення умов безперебійності та надійності електропостачання електроприймачів та зменшення собівартості видобутку корисних копалин. Для реалізації локального електропостачання підприємств ГВК обґрунтовано та пропонується для практичної реалізації алгоритм вибору НВДЕЕ до ЛЕС підприємств ГВК. Бібл. 7, рис. 2.

Ключові слова: система електропостачання; автономні генеруючі установки; нетрадиційні та відновлювані джерела електричної енергії.

Вступ

Гірничі підприємства, є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) України [7]. Як встановлено [1, 6, 7], основними видами ПЕР гірничих підприємств є електрична енергія (ЕЕ), частка якої сягає більш ніж 90% від загального обсягу енергоспоживання. Між тим, сучасні тенденції енерговикористання ЕЕ потребують відповідності її якості до відповідних стандартів [6, 7]. Так, сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів зумовлюють використання вартісного обладнання, яке в свою чергу накладає жорсткі вимоги на якість ЕЕ. В свою чергу, потужні підприємства ГВК, враховуючи особливості технологічних процесів,

потребують безперебійного забезпечення якісною ЕЕ [7]. Між тим, ціна на ЕЕ зростає і сягає більше ніж 33% від загальної собівартості видобутої залізородної сировини.

Одним з шляхів покращення електропостачання підприємств ГВК в умовах зростання вартості традиційних джерел енергії (особливо електричної енергії) є застосування ЛЕС на базі НВДЕЕ, що дасть змогу не лише покращити якість електропостачання, а й зменшити втрати електроенергії за рахунок власної генерації [6, 7]. Особливо актуальною є можливість підприємств гірничо-видобувного комплексу самостійно забезпечувати власні потреби відповідальних споживачів чи частково покривати графік електропостачання підприємства.

При виборі НВДЕЕ, для роботи в умовах підприємств ГВК, потрібно враховувати багато факторів, таких як віддаленість НВДЕЕ від підприємства, переріз лінії електропередач, по яких буде здійснюватись передача електроенергії, можливість резервування, потужність НВДЕЕ, керованість та ін.

Цій проблемі присвячено значну кількість публікацій відомих учених, зокрема Астахова Ю. М., Буткевича О. Ф., Кириленка О. В., Лажнюка П.Д., Кулика В.В., Денисюка С. П., Сінчука О.М., Тугая Ю. І., та інших вчених [2-7]. Проте, зважаючи на активне впровадження НВДЕЕ та питання впровадження їх в умовах підприємств ГВК, проблема потребує більш детального вивчення.

Мета роботи – обґрунтування можливості та необхідності розробки і реалізації в практику роботи підприємств ГВК ЛЕС на базі НВДЕЕ та розроблення алгоритму вибору НВДЕЕ для роботи в ЛЕС в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання зазначених підприємств.

Основний матеріал

Зважаючи на те, що однією з ключових тенденцій розвитку світової електроенергетики є реформування галузі енергетики у рамках концепції Smart Grid, до електроенергетичних систем висувається ряд ключових вимог, таких як доступність, надійність, економічність, ефективність, екологічність і безпека [4].

Smart grid – є концепцією інтелектуальної енергетики та включає в себе такі положення, як активне споживання ЕЕ, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом [5].

Відповідно до концепції Smart grid, активний споживач – це споживач, який реагує та впливає на ринок ЕЕ через систематичні дії, які націлені на мінімізацію витрат на ЕЕ [5].

У зв'язку з тим, що пристосування до миттєвих цін на ринку та можливість керувати навантаженням для стабілізації графіка добового електроспоживання є одними з найважливіших стимулів до розвитку активних споживачів та формування ЛЕС, а сучасний рівень розвитку НВДЕЕ дозволить активним споживачам генерувати необхідну кількість ЕЕ для власних потреб та постачання надлишків у мережу [4, 5], є доцільним розглядати електропостачання та електроспоживання підприємств ГВК як єдиний комплекс електропостачання-електроспоживання, з метою подальшої модернізації комплексу відповідно до концепції Smart grid.

Однак, ЛЕС на базі НВДЕЕ (наприклад, вітрових енергетичних установок (ВЕУ), гідро енергетичних установок (ГЕУ), сонячних енергетичних установок (СЕУ), різного типу та ємності блоків акумуляторних батарей (АКБ) та інших типів накопичувачів та нетрадиційних джерел ЕЕ) характеризуються наявністю в них генеруючих установок обмеженої потужності, використанням різних типів нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, широким діапазоном зміни параметрів навантаження тощо [3].

Тому, виходячи з аналізу попередніх досліджень [2, 3], загальними вимогами щодо забезпечення конкурентоздатності автономних генеруючих установок у складі ЛЕС є те, що: вартість електроенергії, що генерується автономними енергетичними установками (ЕУ), повинна бути мінімальною, при цьому забезпечуючи надійність електропостачання; автономні генеруючі установки повинні максимально економити, а в ідеалі, взагалі виключити із застосування виходне вуглеводне паливо для отримання ЕЕ;

автономні генеруючі установки мають зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище, при цьому не погіршуючи ландшафту; автономні генеруючі установки на базі НВДЕЕ повинні максимально використовувати потенціал відновлюваних джерел енергії в регіоні використання та бути безпечними в експлуатації.

Таким чином, виходячи із вище перерахованих вимог до автономних генеруючих установок на базі НВДЕЕ, в якості критеріїв оптимальності до автономних НВДЕЕ може бути застосовано вартість згенерованої ЕЕ, вартість самої енергетичної установки, надійності електропостачання, вплив на навколишнє середовище. Водночас, параметри автономної НВДЕЕ, що входить до складу ЛЕС, визначаються з параметрів системи автономного електропостачання, в даному випадку ЛЕС. Враховуючи вище перераховане, параметри автономної генеруючої установки на базі НВДЕЕ, що працює у складі ЛЕС в умовах підприємств ГВК, повинні визначатися з врахуванням особливостей перетворення енергії всіма генеруючими установками, що входять до складу ЛЕС, особливості експлуатації НВДЕЕ в умовах підприємств ГВК та з врахуванням графіку навантажень електроприймачів ЛЕС.

При цьому система електропостачання підприємств ГВК повинна відповідати наступним вимогам: забезпечувати безперебійне живлення електроенергією основних електроприймачів, бути безпечною у відношенні пожеж та ураження людей електричним струмом, забезпечувати необхідну якість електроенергії в умовах безперервної зміни технологічних параметрів гірських розробок і відповідних змін структур електричних мереж, бути економічною при дотриманні вимог, перелічених вище.

Таким чином, виходячи з вимог електропостачання підприємств ГВК, вимог до автономних генеруючих установок на базі НВДЕЕ та у рамках концепції Smart Grid було запропоновано алгоритм вибору НВДЕЕ для роботи в ЛЕС в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання підприємств ГВК (рис. 1).

Відповідно до алгоритму, введення початкових даних щодо комплексу електропостачання-електроспоживання підприємства ГВК вносено на початок алгоритму з метою аналізу існуючої системи електропостачання, графіків електроспоживання електроприймачів та підприємства ГВК в цілому.

На другому етапі, передбачено введення даних щодо тарифів на електропостачання та зеленого тарифу, з метою розрахунку обсягу та вартості електропостачання за існуючої системи електропостачання.

За умови необхідності модернізації та впровадження НВДЕЕ до системи електропостачання ($C > C_{max}$ – вартість електропостачання перевищує граничну максимально допустиму межу, що встановлюється на підприємстві індивідуально, виходячи із собівартості продукції) відбувається третій етап введення даних щодо потенціалу підприємства ГВК для впровадження НВДЕЕ (корисна площа, на якій є можливість встановлення енергетичних установок без впливу на технологічний процес підприємства; опис рельєфу місцевості; база даних архівів погоди, середньомісячні, середньорічні швидкості вітру, інтегральна повторюваність вітру, розрахунок коефіцієнта розподілення Вейбула, визначення повторення вітру по Вейбулу; середньорічна та середньомісячна інсоляція; інші специфічні умови експлуатації (склад повітря та його густина); специфічні місця встановлення енергетичних установок, при використанні частини енергії технологічного процесу, без впливу на його функціональність та енергетичний їх потенціал).

На наступному етапі проводиться розрахунок загального потенціалу енергії, що може бути використаний для генерування електричної енергії в умовах підприємства ГВК. За умови достатнього потенціалу енергії ($P_{НВДЕЕ} > P_{minген}$ – визначається на підприємстві індивідуально, враховуючи потужності електроприймачів та структуру системи електропостачання), проводиться вибір автономних генеруючих установок (ВЕУ, ГЕУ, СЕУ).

Вибір автономних генеруючих установок проводиться за номінальною потужністю (встановлюється індивідуально для кожного випадку в залежності від потужності електроприймачів,

потенціалу енергії та габаритів), за типом установки та за загальною потужністю ЛЕС (енергетичні ЕУ та пристрої вибираються з метою повного покриття розрахункового графіка електроспоживання енергооб'єктом ЛЕС) в послідовності ВЕУ, ГЕУ, СЕУ, інші установки та блок акумуляторних батарей (вибирається обов'язково за умови повної автономності функціонування ЛЕС). За необхідності проводиться коригування графіка електроспоживання. Після вибору обладнання ЛЕС перевіряється за критерієм надійності.

Наступним кроком проводиться розрахунок згенерованої електричної енергії вибраними енергетичними установками на базі НВДЕЕ, капіталовкладення на впровадження ЛЕС та вартість електричної енергії при запропонованому способі живлення. За умови що капіталовкладення не перевищують граничну максимально допустиму межу, що визначається на підприємстві індивідуально ($C_{кан} < C_{канmax}$), проводиться проектування ЛЕС на базі НВДЕЕ в умовах підприємства ГВК. Після оптимізації ЛЕС з метою мінімізації втрат, проводиться остаточний розрахунок обсягу та вартості електропостачання при впровадження ЛЕС на базі НВДЕЕ.

Таким чином, зважаючи на важливість раціонального вибору основного обладнання та техніко-економічне обґрунтування проекту, за запропонованим алгоритмом було вибрано систему електропостачання ЛЕС на базі НВДЕЕ для одного з енергооб'єктів Полтавського ГВК. Беручи до уваги раніше отримані результати [2] досліджень, в середовищі програми Homer energy було змодельовано запропоновану систему електропостачання на базі ЛЕС на базі НВДЕЕ (рис. 2).

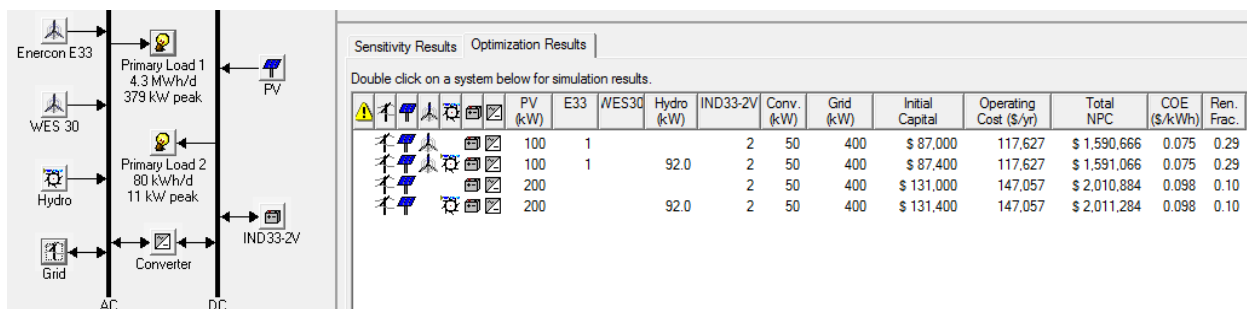


Рис. 2. Схема електропостачання на базі локальної енергетичної системи в програмі Homer energy

Отже, виходячи з аналізу запропонованої структури електропостачання на рис. 2, що була змодельована в програмі Homer energy, сумарна згенерована потужність ЛЕС на базі НВДЕЕ визначається з виразу:

$$S_{\Sigma DES} = \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \quad (1)$$

де S_{VES} – згенерована потужність ВЕУ; S_{SES} – згенерована потужність СЕУ; S_{GES} – згенерована потужність ГЕУ.

Тоді, спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі НВДЕЕ в системі електропостачання, виходячи з виразу (1) дорівнює:

$$S_{PP} = S_{PS} + \left(\sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right) \quad (2)$$

де S_{PS} – спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми.

За умови можливості накопичення надлишку згенерованої електричної енергії НВДЕЕ потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми, беручи до уваги вирази (1) і (2), дорівнює:

$$S_{PS} = S_{PP} \pm S_{\Sigma EB} - \left(\sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right) \quad (3)$$

де $S_{\Sigma EB}$ – закумуляована електрична енергія (за додатнього значення), електрична енергія, що була накопичена АКБ (за від'ємного значення).

Беручи до уваги наведені вище результати досліджень, та результати досліджень, отримані раніше [2, 3], можна зробити висновок про те, що використання ЛЕС на базі НВДЕЕ в умовах ГVK є реальним та актуальним, і для оцінки можливості використання відновлюваних джерел енергії можна використовувати програмний пакет *Home energy*. В свою чергу для вибору НВДЕЕ для роботи в умовах ГVK необхідно більш ґрунтовно вивчати умови функціонування енергетичних установок в умовах підприємства у кожному випадку окремо та особливості електроспоживання підприємств ГVK як в цілому так і кожного енергетичного об'єкту (цеху, енергоустановок тощо) окремо. Детальний аналіз може надати повноту катини при проектуванні ЛЕС на базі НВДЕЕ в умовах підприємств ГVK, та збільшить ефективність її функціонування.

Висновки

1. Розробка і реалізація в практику роботи підприємств ГVK ЛЕС на базі НВДЕЕ, є актуальною для забезпечення умови безперебійності та надійності електропостачання електроприймачів та дозволить зменшити собівартість видобутку корисних копалин.

2. Запропонований алгоритм вибору НВДЕЕ для ЛЕС в умовах підприємств ГVK дозволить виконати обґрунтований вибір енергетичних установок у складі ЛЕС при її проектуванні, врахо-

вуючи особливості умов їх експлуатації та особливості комплексу електропостачання-електроспоживання підприємств ГVK, що в свою чергу, збільшить ефективність її функціонування.

Список умовних скорочень:

- ЛЕС – локальні енергетичні системи;
- ГVK – гірничо-видобувний комплекс;
- НВДЕЕ – нетрадиційні та відновлювальні джерела електричної енергії;
- ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;
- ЕЕ – електрична енергія;
- ВЕУ – вітрова енергетична установка;
- ГЕУ – гідро енергетична установка;
- СЕУ – сонячна енергетична установка;
- АКБ – блок акумуляторних батарей;
- ЕУ – енергетична установка;
- $P_{ВЕУном}$, $P_{СЕУном}$, $P_{ГЕУном}$, $P_{ЕУном}$ – потужність номінальна генеруючих установок відповідно ВЕУ, СЕУ, ГЕУ та ЕУ інших типів НВДЕЕ;
- $P_{ВЕУpot}$, $P_{СЕУpot}$, $P_{ГЕУpot}$, $P_{ЕУpot}$ – енергетичний потенціал генеруючих установок відповідно ВЕУ, СЕУ, ГЕУ та ЕУ інших типів НВДЕЕ;
- $P_{ВЕУрозр}$, $P_{СЕУрозр}$, $P_{ГЕУрозр}$, $P_{ЕУрозр}$ – розрахункова потужність генеруючих установок відповідно ВЕУ, СЕУ, ГЕУ та ЕУ інших типів НВДЕЕ;
- $P_{АКБ}$ – потужність (ємність) АКБ;
- $P_{ЛЕС}$ – потужність ЛЕС;
- $P_{НВДЕЕрозр}$, $P_{НВДЕЕном}$ – сумарна потужність НВДЕЕ відповідно розрахункова та номінальна;
- C , C_{max} – вартість електропостачання відповідно розрахункова та максимально допустима;
- $P_{minген}$ – мінімально допустима потужність потенціалу енергії НВДЕЕ;
- $C_{кап}$, $C_{капmax}$ – капіталовкладення відповідно розрахункові та максимально допустимі;
- $P_{втр}$, $P_{max втр}$ – втрати в мережі ЛЕС відповідно розрахункові та максимально допустимі;
- S_{VES} – згенерована потужність ВЕУ;
- S_{SES} – згенерована потужність СЕУ;
- S_{GES} – згенерована потужність ГЕУ;
- S_{PS} – спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми;
- $S_{\Sigma EB}$ – закумуляована електрична енергія (за додатнього значення), електрична енергія, що була накопичена АКБ (за від'ємного значення);
- $S_{\Sigma DES}$ – сумарна згенерована потужність ЛЕС на базі НВДЕЕ;

S_{pp} – спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі НВДЕЕ в системі електропостачання.

Список використаних джерел

1. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г. та ін. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. Денисюк С. П., Базюк Т. М. Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 4. – С. 23–29.
3. Lezhnyuk P. Kulyk V. Functioning optimization of various types of renewable sources of electric energy in electric networks // Papers of the 2012 United Kingdom – Vietnam Clean Energy Conference (UK-VN CECE 2012). – Danang city, Vietnam. – pp. 487-492.
4. Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S. The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
5. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer – 2014. – 396 p.
6. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Мельник О.Є. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270с.
7. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Гузов Э.С., Яловая А.Н., Бойко С.Н. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения. Монография –Изд LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. – 346с.

Поступила в редакцию 19 июля 2016 г.

УДК 621.311.4.031

О.Н. Синчук¹, И.О. Синчук¹, С.Н. Бойко², И.А. Минаков²

¹ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина.

²Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина, E-mail: bsn1987@i.ua.

Алгоритм выбора нетрадиционных и возобновляемых источников электрической энергии в локальные системы электроснабжения предприятий горно-добывающего комплекса

В статье предложено внедрение локальных энергетических систем (ЛЭС) в комплекс электроснабжения предприятий отечественного горно-добывающего комплекса (ГДК) на базе нетрадиционных и возобновляемых источников электрической энергии (НВИЭЭ). Проанализировано особенности использования ЛЭС и обосновано актуальность разработки и реализации в практику работы предприятий ГДК НВИЭЭ, как дополнительных источников энергии в составе системы электроснабжения, с целью обеспечения условий бесперебойности и надёжности электроснабжения электропотребителей и уменьшения себестоимости добычи полезных ископаемых. Для реализации локального электроснабжения предприятий ГДК обосновано и предлагается для практической реализации алгоритм выбора НВИЭЭ в ЛЭС предприятий ГДК.

Библ. 7, рис. 2.

Ключевые слова: система электроснабжения; автономные генерирующие установки; нетрадиционные и возобновляемые источники электрической энергии.

UDC 621.311.4.031

O. Sinchyk¹, I. Sinchyk¹, S. Boiko², I. Minakov²

¹State institution of higher education «Kryvyi Rih National University»,
11, XXII Partz'yizdu str., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine.

²Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
20, Pershotravneva Street, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bsn1987@i.ua.

The algorithm of selection of non-traditional renewable sources of electric energy in the local power supply system of enterprises of mining complex

The article suggests the adoption of local energy systems (LES) in complex supply of the enterprises of the domestic mining complex (DMC) on the basis of renewable sources of electric energy (RSEE). The features of the use of LES and the urgency of development and implementation in practice of work of the enterprises DMC RSEE as an additional power supply is composed of power supply system, with the aim of providing conditions of continuity and reliability of power supply of consumers and decrease the cost of mining. For implementation of a local power enterprises of DMC and reasonably proposed for the practical implementation of the selection algorithm RSEE to LES enterprises DMC. Referense 7, Figures 2.

Keywords: *power system; autonomous generating units; renewable sources.*

Reference

1. *Azaryan, A. A., Vilkul, Yu. G. ta in. (2006). Complex resource and power keeping geotechnologies of booty and processing of mineral raw material, hardwares of their monitoring with the control and optimization of mining productions system. Krivij Rig, Ukraine. P. 219. (Ukr)*
2. *Denysiuk, S. P., Bazjuk, T. M. (2012). Analysis of the impact of distributed generation sources on the grid and the construction of virtual power plants. Electrification of transport. no 4, Pp 23–29. (Ukr)*
3. *Lezhnyuk, P., Kulyk, V. (2012). Functioning optimization of various types of renewable sources of electric energy in electric networks. Papers of the 2012 United Kingdom – Vietnam Clean Energy Conference (UK-VN CECE 2012). Danang city, Vietnam. Pp. 487–492.*
4. *Stognii, B., Kyrylenko, O., Prakhovnyk, A., Denysiuk, S. (2012). The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine. Tekhnichna elektrodynamika, no 5, Pp. 52–67. (Ukr)*
5. *Buchholz, B., Styczynski, Z. (2014). Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer, P. 396.*
6. *Sinchuk, O. N., Sinchuk, I. O., Boiko, S. N., Mel'nik, O. E. (2015). Renewable and alternative energy sources: tutorial – Kremenchug: Publisher CHP Shcherbatykh A.V. P. 270. (Ukr)*
7. *Sinchuk, O. N., Sinchuk, I.O., Guzov, E.S., Yalovaya, A. N., Boiko, S. N. (2016). Energy efficiency of iron ore production. Assessment, practice improvement. Monograph – Izd. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH. P. 346. (Rus)*