

УДК 631.22

А. А. РЕДЬКО, д-р техн. наук, профессор

А. И. КОМПАН, аспирант

А. Ф. РЕДЬКО, д-р техн. наук, профессор

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков

А. М. ГОЛЫШЕВ, профессор

Криворожский технический университет, г. Кривой Рог

## КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА В ТЕПЛОВОЙ СХЕМЕ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ ЖЕЛЕЗНОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

*Проведен анализ тепловых схем обжиговой машины и параметры когенерационной энергетической установки. Показана возможность применения когенерационной установки в тепловой схеме.*

*Проведено аналіз теплових схем обжигової машини та параметри когенераційної енергетичної установки. Наведена можливість застосування когенераційної установки у тепловій схемі.*

### Введение

Увеличение добычи мелкокусковых руд приводит к преимущественному применению агломерата в доменной шихте. Современные условия требуют от металлургических предприятий увеличения объемов производства и экономии энергоресурсов. В настоящее время технико-экономические показатели различных обжиговых конвейерных машин отличаются по удельным затратам топлива и электроэнергии – в 2–2,5 раза, по удельной производительности – на 20–30 %, что указывает на наличие неэффективных технических решений, конструктивных и режимных параметров [1–6, 22].

При этом цены на электроэнергию, топливо, транспорт в себестоимости металлопродукции составляют 50–55 %, и ежегодно увеличиваются [7].

Поэтому вопросы снижения расхода топлива и электроэнергии при термообработке железорудных окатышей путем освоения энергосберегающих технологий и утилизации теплоты отходящих газов являются актуальными.

Цель работы. Анализ структуры теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин и оценка их эффективности.

Постановка проблемы и основные результаты

Способ окускования руд путем их спекания будет преобладать в будущем. Обжиговая конвейерная машина осуществляет упрочняющий обжиг железорудных окатышей в плотном фильтрующем слое с развитой системой газоздушных потоков и непрерывным процессом загрузки, термообработки и разгрузки окатышей. Окатыши последовательно поступают в зоны сушки, подогрева, обжига, рекуперации и охлаждения.

Тепловая схема обжиговой машины (рис. 1) включает значительное количество потребителей электроэнергии: двигатели привода машины, дозаторы, питатели, смесители, грануляторы, дымососы и вентиляторы, и другие механизмы. Так, мощность привода дымососа составляет 2–5 тыс. кВт.

Теплотехнические показатели обжиговой машины зависят от конструктивных и технологических решений:

- по зоне сушки;
- по зоне утилизации теплоты из зоны охлаждения в зону нагрева;
  - вентиляторная с разбавлением теплоносителя;
  - с переточным коллектором (безвентиляторная и безпереточная);
  - с двумя и более переточными коллекторами;
- по системе отопления горно-обжиговой машины:
  - с двухпроводными турбулентными горелками;

- с инъекционными горелками.
- по организации процесса охлаждения:
  - реверсивное охлаждение;
  - охлаждение в выносном охладителе;
  - охлаждение атмосферным воздухом;
  - комбинированное охлаждение (нагретым и атмосферным воздухом).

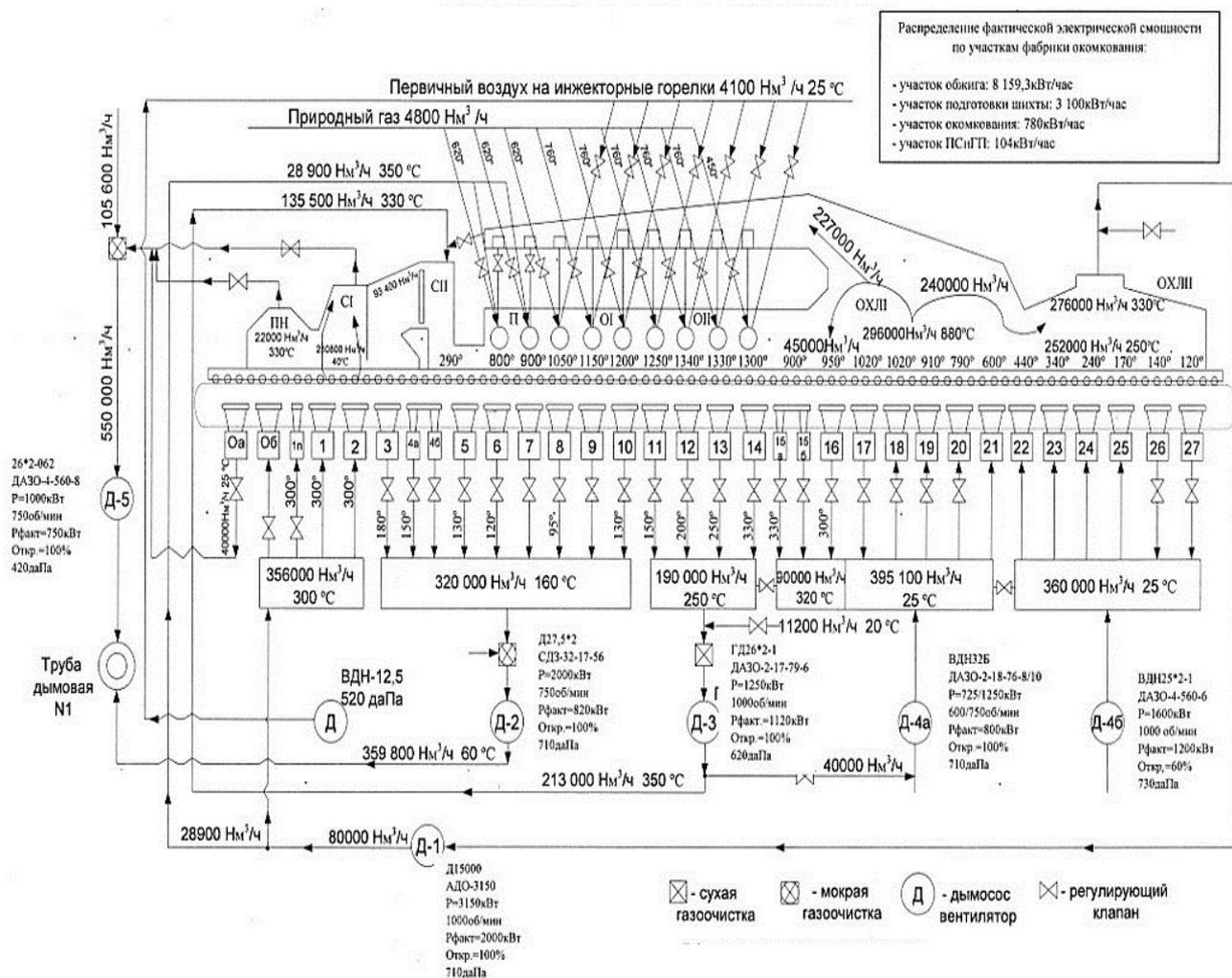


Рис. 1. Схема газовоздушных потоков обжиговой машины ОК-324/336

Потери теплоты обжиговой машины подразделяются следующим образом [6, 9]:  
 теплота уходящих газов – 38,3 %;  
 потери теплоты в окружающую среду – 16,8 %;  
 теплота металла ленты – 16,5 %;  
 теплота испарения влаги – 11,7 %;  
 теплота охлаждения окатышей – 8,2 %;  
 химическая энергия на диссоциацию известняка – 4,9 %;  
 теплота донной и бортовой «постели» – 3,6 %.

Исследование влияния конструктивных решений на снижение расходов топлива и электроэнергии [7, 8] показали следующее:

1. Сушка с просасыванием теплоносителя или послышной загрузкой менее эффективны по сравнению с реверсивной сушкой;
2. Система возврата теплоты с переточным коллектором (безвентиляторная) с точки зрения экономии топлива и электроэнергии более экономичная;

3. Системы отопления с инжекционными горелками более эффективные, чем с двухпроводными горелками;

4. Процесс охлаждения более эффективен при охлаждении атмосферным воздухом или комбинированном охлаждении, чем реверсивное охлаждение.

В [8] установлено, что поток, отходящий из зоны охлаждения, необходимо группировать (смешивать) таким образом, чтобы теплоноситель, имеющий наиболее высокую температуру, направлять в один коллектор, имеющий меньшую – в другой и т. д.

Реверсирование теплоносителя в зоне охлаждения приводит к снижению удельной производительности; снижению температурного потенциала воздуха, увеличению удельного расхода воздуха. Увеличение количества теплоты, поступающего в зону нагрева за счет использования сбросного тепла нагретого воздуха в зоне охлаждения, достигает 7,2 %, однако приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии на 68 %.

При использовании теплоты отходящих газов с температурой 180-350 °С в первой секции охлаждения, необходимо учитывать, что подача нагретого воздуха приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии и снижению производительности зоны. При этом существенно влияет значение температуры слоя на входе в зону охлаждения.

Эффективность процесса охлаждения зависит от температуры воздуха, так повышение температуры от 20°С до 80°С приводит к тому, что удельная производительность зоны охлаждения снижается на 23 %, а удельный расход электроэнергии увеличивается на 47 %. При использовании сбросного нагретого газозвдушного потока с температурой 180-350 °С в секции охлаждения 1, с целью оптимизации теплового баланса, необходимо учитывать, что подача нагретых газов приводит к снижению производительности зоны и увеличению удельного расхода электроэнергии.

Эти вышеуказанные положения использованы при разработке тепловой схемы, предложенной в НИИМТ (рис. 2), в которой газозвдушный поток с температурой 350 °С из секции охлаждения 2 подается дымососом ДЗ в секцию сушки 1.

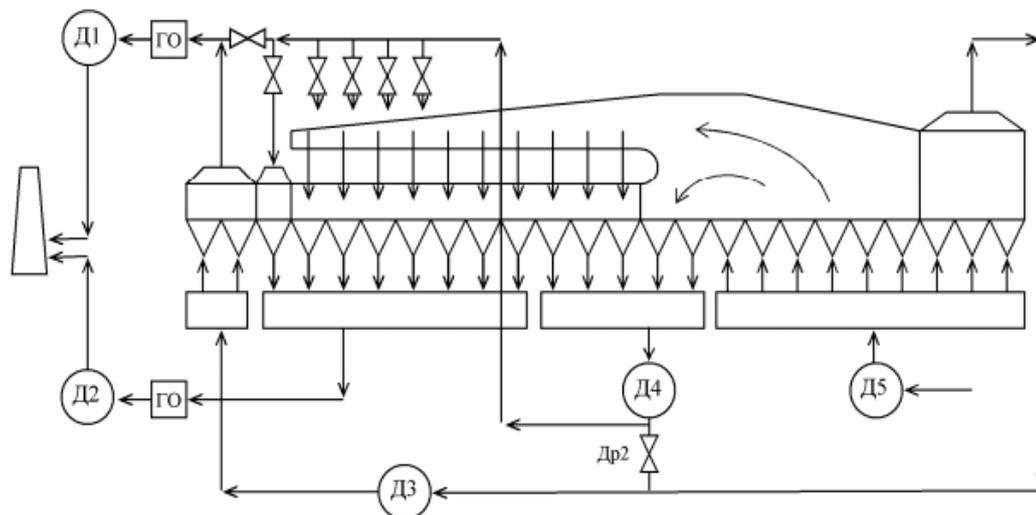


Рис. 2. Теплотехническая схема обжиговой машины (схема 1) Д1...Д5-ТДУ; ГО – газочистка

В тепловой схеме (рис. 3) осуществляется по двухпоточному переточному коллектору подача (безвентиляторная) высокотемпературного газа в зону обжига, а низкотемпературного – в зону сушки и подогрева.

Однако как указывают разработчики, тепловая схема характеризуется существенным недостатком – это обратная связь зон обжига и рекуперации с секцией сушки 1. Поэтому, используя преимущества этой тепловой схемы, в настоящей работе предлагается

газовоздушный поток от дымососа Д6 направить вместо зон сушки и подогрева на выработку электроэнергии, а затем после охлаждения в испарителе в зону сушки.

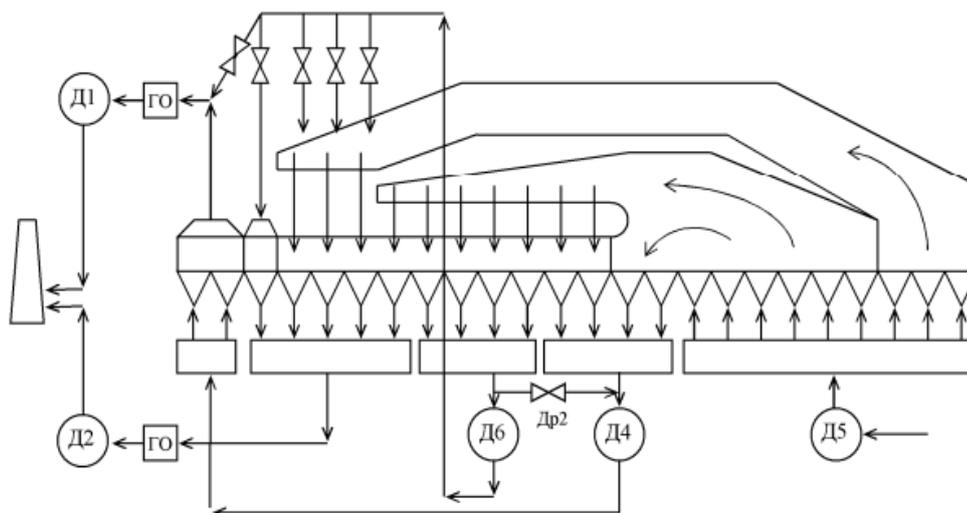


Рис. 3. Теплотехническая схема обжиговой машины (схема 2)

Для этого в канале устанавливается теплообменник-испаритель утилизационной энергетической установки, подключенный к силовому контуру – турбине с генератором, конденсатору, насосу (рис.4).

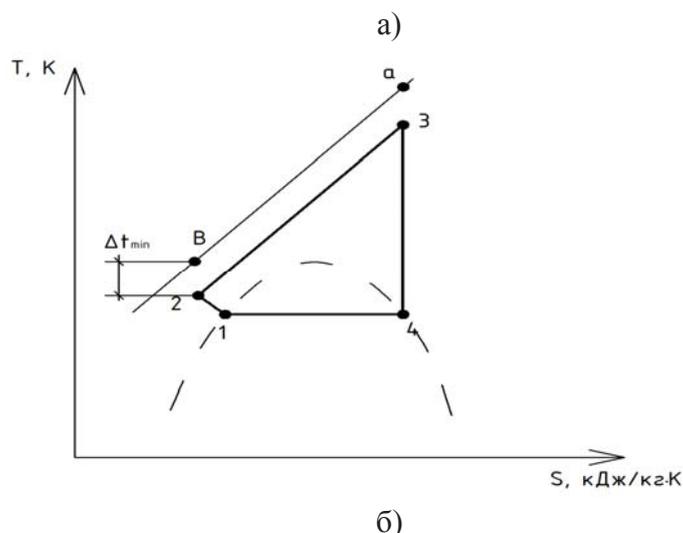
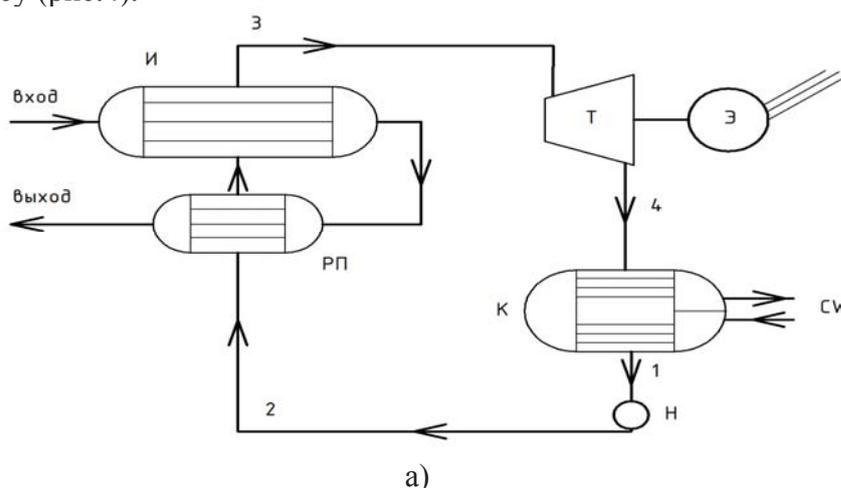


Рис. 4. Тепловая схема использования теплоты уходящих газов обжиговой машины

В работе приводятся результаты численных расчетов циклов Ренкина с органическими рабочими веществами процессов преобразования низкопотенциальной теплоты отходящих газов в электроэнергию [10–14].

В известных работах [15–17, 21] исследовались различные рабочие вещества (вода и водоаммиачные смеси, диоксид углерода, фреоны). В [8–20] приводятся результаты исследования процессов преобразования теплоты в энергетических установках с органическими веществами. Появление искусственно синтезированных озонобезопасных хладонов, не содержащих хром и бром, открывает определенные перспективы. Исследования [17-20] указывают на перспективность использования смесей органических веществ и, особенно, при сверхкритических параметрах. При этом эффективными являются двухступенчатые и каскадные циклы энергетических установок, трансформирующих теплоту, как в теплонасосных агрегатах, так и в паросиловых установках.

В данной работе приводятся результаты исследований докритических и сверхкритических циклов энергетических установок. В качестве рабочих теплоносителей изучались рабочие вещества: R600, R600a, R601a, R602, R13в, R134a, R142в, R143a, R404a, R407a, R410a, R503в, R600a/R161, R600a/R141, R600a/R601, NH<sub>3</sub>/R170 и другие органические вещества, и их смеси.

Термодинамическая эффективность циклов определяется коэффициентом преобразования (COP) и коэффициентом утилизации теплоты. Термический КПД цикла (или COP) изменяется в узком диапазоне 0,13-0,16, что недостаточно характеризует эффективность циклов и поэтому более важным критерием выбора рабочего вещества является работа, получаемая при расширении пара в турбине.

В результате исследования и оптимизации циклов со многими рабочими веществами, как в докритическом, так и в сверхкритическом цикле в одноступенчатой энергетической установке было установлено, что максимальная выработка электроэнергии обеспечивается в сверхкритическом цикле. В таблице 1 приведены некоторые численные результаты.

Таблица 1

Теплотехнические параметры когенерации энергетической установки

Рабочее вещество	$P_{кр}$ , кПа	$P_T$ , кПа	$t_{кр}$ , °C	$t_T$ , °C	$N$ , кВт/(кг/с)	$\eta_{ц}$ , %
гептан (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	2680	4000	266,8	347	106,5	18,4
октан (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	2460	4000	296,0	347	109	18,9
декан (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )	2130	4000	345,2	347	114,7	19,4
водяной пар (H <sub>2</sub> O)	21800	4000	374,0	347	17,8	10,4
n-бутан (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	3600	3500	153,0	347	58,9	13,1
i-пентан (i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	3300	3200	197,2	347	60,8	14,4

где  $P_{кр}$ ,  $P_T$  – соответственно критическое давление вещества и пара перед турбиной;

$t_{кр}$ ,  $t_T$  – соответственно критическая температура и пара перед турбиной;

$N$  – удельная электрическая мощность, вырабатываемая турбиной;

$\eta_{ц}$  – КПД цикла.

Как показывают результаты расчетов, вырабатываемая удельная электрическая мощность в сверхкритических циклах с органическими веществами выше, чем в циклах с водяным паром в несколько раз.

Использование когенерационных установок в тепловых схемах обжиговой машины ОК-324/336 путем подачи газоздушного потока с температурой 350 °С с расходом 213000 м<sup>3</sup>/ч в испаритель когенерационной установки, может обеспечить выработку электрической мощности в объеме 10600–10900 кВт. Использование вырабатываемой электроэнергии возможно для собственных нужд – привода обжиговой машины, дымососов, вентиляторов и другого оборудования.

### Выводы

Применение когенерационной установки в тепловой схеме обжиговой машины железорудных окатышей возможно и позволит повысить энергоэффективность технологического процесса, снизить потребление электроэнергии.

### Список литературы

1. Коротич В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке/ В. И. Коротич. – М.: Металлургия, 1978. – 207 с.
2. Коротич В. И. Агломерация рудных материалов / Коротич В. И., Фролов Ю. А., Бездежский Г. Н. – Екатеринбург; ГОУ ВПО «УГТУУПИ»; 2003.– 400 с.
3. Сулименко Е. И. Производство окатышей. – М.: Металлургия, 1988. – 129 с.
4. Производство агломерата. Технология, оборудование, автоматизация/В. П. Шилкин, Д. Н. Доронин / под ред. Г. А. Шалаева. – Екатеринбург, УЦПР и рекламы, 2004. – 292 с.
5. И. М. Мищенко, Н. С. Хлапонин. Развитие агломерации – основное направление энергосбережения и повышения эффективности в доменном производстве. – Металл и литье Украины. – 2006. – № 3–4.
6. Братчиков С. Г. Теплотехника окусковывания железорудного сырья /С. Г. Братчиков, Ю. А. Берман, Я. Л. Белоцерковский и др. – М.: Металлургия, 1970. – 344 с.
7. Белоцерковский Я. Л., Клейн В. И., Леонтьев Л. И. и др. Энергопотребление при агломерации. – Екатеринбург: УРО РАН, 1998. – 57 с.
7. Копоть Н. Н. Сравнительный анализ теплотехнических схем современных обжиговых конвейерных машин//Н. Н.Копоть, А. Б. Воробьев, С. С. Гончаров, А. А. Буткарев, А. П. Буткарев // Сталь. – 2010. – № 3. – С. 8–13.
8. Буткарев А. А. Исследование и оптимизация теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин и режимов термообработки железорудных окатышей // автореферат диссертации д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2012. – 40 с.
9. А. М. Голышев, С. И. Задорожный, А. В. Герасимчук. Резервы использования теплоты промышленных выбросов для нужд коммунального хозяйства Кривбасса // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб-к.– К. КНУБА, 2011. – вип. 15. – С. 66–70.
10. Басок Б. И., Базеев Е. Г., Диденко В. М., Коломейко Д. А. Анализ когенерационных установок 1. Классификация и основные показатели // Промышленная теплотехника. – 2006. – т. 28. – № 3. – С. 83–89.
11. Басок Б. И., Коломейко Д. А. Анализ когенерационных установок 2. Анализ энергетической эффективности // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – № 4. – С. 79–83.
12. Степаненко В. Реконструкция промышленной энергетики Украины в 21 веке. – ЭСКО, 2005. – № 7.
13. Долинский А. А., Басок Б. И., Коломейко Д. А. Эффективность когенерационных тепловых схем. – К.: ИТТР. – Т. 61. вып.4в. – 2008. – С. 30–38.
14. Барков В. М. Когенераторные технологии: возможности и перспективы. // «ЭСКО» электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – № 7. – 2004.
15. DiPippo R. Geothermal Power Plants: Principles, Applications and Case Studies. –

Oxford OX51GB, UK. – 2005/ – 450 с.

16. Алхасов А. Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии / А. Б. Алхасов. – С.-П.-б.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 376 с.

17. Редько А. А. Методы повышения эффективности систем геотермального теплоснабжения. – Макеевка: – ДонНАСА, 2010. – 302 с.

18. Пятничко В. А. Утилизация низкопотенциального тепла в энергетических установках с органическими теплоносителями. / В. А. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 5. – С. 10–14.

19. Артеменко С. В. Выбор рабочих тел для низкотемпературных циклов Ренкина на органических веществах. II Фторированные эфиры / Артеменко С. В., Никитин Д. Н. // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 1 (123). – С. 6–10.

20. Редько А. А. Рациональные термодинамические параметры циклов многоступенчатой геотермальной станции // Проблемы машиностроения. – Ипмаш НАНУ, 2010. – Т.13. – № 4. – С. 76–82.

21. Зысин В. А. Комбинированные парогазовые установки и циклы. – М.: Госэнергоиздат. – 1962. – 185 с.

22. Бережний М. М., Мовчан В. П. Збагачення та окускування сировини: Монографія / Під ред. М. М. Бережного. – Дніпропетровськ: Пороги, 2002. – 365 с.

#### **THE COGENERATION POWER INSTALLATION IN OBZHIGOVA'S THERMAL SCHEME OF THE CAR OF IRON-ORE PELLETS.**

A. A. REDKO professor, A. I. KOMPAN, graduate student,  
A. F. REDKO, professor of HNUSA, A. M. GOLYSHEV, professor of KTU

*The analysis of thermal schemes of the obzhigovy car is carried out. Possibility of application of the cogeneration installation in the thermal scheme is shown.*

Поступила в редакцию 17.01 2013 г.