

- ческая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 115. – С. 147–155.
4. Флейшман Б. С. О живучести сложных систем / Б. С. Флейшман // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1966. – №5. – 14–23.
 5. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с
 6. Спришевский А. И. Подшипники качения / А. И. Спришевский. – М.: Машиностроение, 1969. – 632 с.
 7. Монастырский В. Ф. Исследование движения крупных кусков груза по роликоопорам ленточного конвейера / В. Ф. Монастырский, Р. В. Кирия, А. Н Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 112. – С. 35–49.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.
Надійшла до редакції 11.09.2014*

УДК 621.515.004.82: 621.57

© О.В. Самуся

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ГЕНЕРАЦИЮ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Проанализированы условия применения теплонасосных технологий для утилизации бросового тепла на угольных шахтах и факторы, определяющие их энергетическую и экономическую эффективность. Разработана методика расчета удельных затрат на генерацию тепловой энергии с помощью теплонасосных установок на угольных шахтах.

Проаналізовані умови використання теплонасосних технологій для утилізації викидного тепла на вугільних шахтах та фактори, що визначають їх енергетичну та економічну ефективність. Розроблена методика розрахунку питомих витрат на генерацію теплової енергії за допомогою теплонасосних установок на вугільних шахтах.

The conditions of application of heat pump technologies for the utilization of waste heat in coal mines and the factors determining their energy and economic efficiency have been analyzed. The technique of calculating unit costs for generation of thermal energy using the heat pump systems in coal mines has been developed.

На угольных шахтах мощными источниками бросового тепла являются шахтная вода, исходящая вентиляционная струя, обратная вода систем охлаждения компрессорных установок. Эти источники имеют невысокую температуру, поэтому для использования отбираемого от них тепла в системах теплоснабжения шахт необходима его трансформация в тепло более высокого потенциала с помощью тепловых насосов.

За последние 50 лет в мировой практике теплоснабжения теплонасосные технологии получили весьма широкое распространение. Сегодня в мире эксплуатируется более 130 млн. теплонасосных установок различного назначения [1]. По данным Международного Энергетического Агенства к 2020 году в раз-

витых странах доля отопления и горячего водоснабжения (ГВС) за счет тепловых насосов будет составлять 75 % [2]. В «Концепции развития топливно-энергетического комплекса Украины на 2006–2030 годы» прогнозируется, что производство тепловой энергии за счет тепловых насосов будет эквивалентно использованию 20 млн. т условного топлива [3]. Важными достоинствами теплонасосных технологий являются высокая энергетическая эффективность и экологическая чистота. Основным недостатком является высокая стоимость, причем не только оборудования самих теплонасосных установок, но также и систем сбора низкопотенциального тепла. В этой связи применение тепловых насосов на горных предприятиях выглядит весьма перспективно, так как в данном случае низкопотенциальное геотермальное тепло выносится из недр Земли на поверхность в виде потоков шахтной воды и вентиляционного воздуха системами обеспечения функционирования шахт, вследствие чего дополнительные затраты по системам сбора низкопотенциального тепла будут минимальны.

В 2010 году Национальным горным университетом на шахте «Благодатная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» создана первая в Украине и наиболее мощная в странах СНГ теплонасосная установка (ТНУ), использующая тепло шахтной воды. Положительный опыт эксплуатации этой ТНУ способствовал усилению интереса к данной технологии и поставил вопрос о применении ее на других шахтах.

Стратегия внедрения теплонасосных технологий утилизации низкопотенциального тепла на горных предприятиях зависит, прежде всего, от корректности оценок их экономической эффективности.

Исследованию экономической эффективности и целесообразности применения теплонасосных технологий посвящено достаточно много публикаций [1,4–7], в которых излагаются результаты оценочных технико-экономических анализов, выполнявшихся с целью выяснения выгодности и обоснования перспектив применения теплонасосных технологий теплоснабжения по сравнению с традиционными. На основе анализа сделан вывод о перспективности применения теплонасосных технологий в Украине.

В целом, можно отметить, что в публикациях, посвященных применению теплонасосных технологий, приводятся, как правило, лишь результаты технико-экономических расчетов. Методической же стороне их получения уделяется гораздо меньше внимания. Как исключение, в этом плане можно отметить работу [4], в которой изложены методики расчета простого и дисконтированного сроков окупаемости затрат на реализацию теплонасосной технологии. Таким образом, на основе анализа имеющихся в литературе данных можно сделать вывод, что излагаемые в публикациях результаты технико-экономических расчетов относятся к тем или иным частным случаям, определенным постановкой решаемых задач, и получены при ряде значительных упрощений и допущений.

Типовые методики расчета показателей экономической эффективности теплонасосных технологий в настоящее время отсутствуют.

В связи с этим, учитывая перспективность и необходимость получения объективных оценок экономической целесообразности применения теплонасосных технологий на горных предприятиях Украины, целью настоящей рабо-

ты является разработка методики расчета удельных затрат на генерацию тепловой энергии с использованием ТНУ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ условий применения теплонасосных технологий на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», выбрать и принять для этих условий возможные схемные решения ТНУ.

2. Выполнить анализ факторов, определяющих энергетическую и экономическую эффективность ТНУ.

3. Разработать методику расчета удельных затрат на генерацию тепловой энергии с использованием ТНУ.

На шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» основным назначением теплонасосных технологий является получение горячей воды для систем ГВС шахт. Возможно также их применение для кондиционирования воздуха и обогрева отдельных проблемных помещений в зданиях административно-бытового комплекса (АБК).

В качестве источников низкопотенциального тепла могут быть использованы шахтная вода, исходящая вентиляционная струя, вода систем охлаждения компрессорных установок, сточные воды. Для реализации теплонасосных технологий важно также наличие на шахтах помещений, которые можно приспособить под ТНУ, так как от этого зависит стоимость строительной части проекта, составляющая значительную долю в общих затратах на реализацию технологии

Вид используемых источников низкопотенциального тепла определяет схемное решение систем отбора низкопотенциального тепла и общее схемное решение, на которое оказывает влияние также назначение конкретной ТНУ.

Оценка экономической эффективности теплонасосных технологий может выполняться на различных стадиях ее реализации:

- технико-экономического обоснования (ТЭО) ее применения;
- по результатам рабочего проектирования;
- для эксплуатируемой ТНУ.

Расчеты показателей экономической эффективности ТНУ, в том числе удельных затрат на генерацию тепловой энергии, на этих стадиях выполняются на единой методической основе. Различие состоит в степени достоверности данных об энергетических и стоимостных показателях ТНУ.

На стадии ТЭО определяются источники низкопотенциального тепла, принимаются возможные схемные решения ТНУ, рассчитываются такие основные энергетические показатели, как теплопроизводительность и потребляемая электрическая мощность. На этой стадии целесообразно определить также рациональную длительность суточного рабочего цикла ТНУ по подготовке горячей воды, поскольку этот параметр определяет как теплопроизводительность ТНУ, так и стоимость потребляемой электроэнергии, поскольку существует возможность реализации цикла во время действия льготного тарифа оплаты за потребленную электроэнергию. На этой стадии оборудование еще не выбирается, поэтому капитальные затраты по ТНУ рассчитываются по укрупненным показателям на основе данных по теплонасосным установкам-аналогам.

После разработки рабочей документации и составления локальных смет на строительство и монтаж ТНУ показатели экономической эффективности спроектированной ТНУ уточняются.

Наиболее достоверные показатели экономической эффективности могут быть получены на основе данных о фактических капитальных и эксплуатационных затратах, полученных после ввода ТНУ в эксплуатацию.

Методику расчета показателей экономической эффективности ТНУ в сравнении с традиционным для шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» способом получения тепла в угольной котельной рассмотрим на примере ТЭО целесообразности применения теплонасосной утилизации тепла шахтной воды для подготовки горячей воды на шахте им. Н.И. Сташкова.

Экономическую эффективность теплонасосной технологии определяем на основе сравнения с существующей технологией подготовки горячей воды.

В настоящее время шахта получает горячую воду от угольной котельной «Энергопредприятия» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». По данным шахты средняя стоимость 1 Гкал в прошедшем году составила $c_T = 283,66$ грн/Гкал. Эта стоимость не включает в себя стоимость угля, затраченного на производство тепла, так как при расчетах между ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и «Энергопредприятием» используется система взаимозачетов. В связи с этим положительная составляющая годовой экономии определится суммой годовых затрат на тепло и стоимости сжигаемого на его производство угля. Отрицательная составляющая будет определяться стоимостью электроэнергии, потребляемой за год ТНУ. Таким образом, годовая экономия от применения теплонасосной технологии

$$E_{\text{год}} = C_{T \text{ год}}^{\text{баз}} + C_{у \text{ год}}^{\text{баз}} - C_{\text{эл год}}^{\text{тну}},$$

где $C_{T \text{ год}}^{\text{баз}}$, $C_{у \text{ год}}^{\text{баз}}$ и $C_{\text{эл год}}^{\text{тну}}$ – стоимость тепла, полученного шахтой в виде горячей воды от «Энергопредприятия», стоимость сэкономленного угля, который сжигается для выработки этого тепла, и стоимость электроэнергии, затрачиваемой ТНУ в течение года.

Затраты на тепло, полученное от котельной установки в виде горячей воды,

$$C_{T \text{ год}}^{\text{баз}} = c_T Q_{\text{год}}.$$

Количество сэкономленного угля, тыс. т/год,

$$G_{у \text{ год}} = \frac{Q_{\text{год}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{ку}}},$$

где $Q_{\text{н}}^p$ – теплота сгорания угля, Гкал/т (принимается равной 5,6 Гкал/т); $\eta_{\text{ку}}$ – КПД котельной установки (принимается равным 0,8).

Стоимость сэкономленного угля, тыс. грн/год,

$$C_{у \text{ год}}^{\text{баз}} = 0,001 G_{у \text{ год}} c_{у}.$$

Стоимость электроэнергии, потребленной ТНУ за год, рассчитывается с учетом различной нагрузки в зимний и летний периоды и действия различных тарифов оплаты за потребленную электроэнергию в течение суток:

$$C_{\text{эл год}}^{\text{ТНУ}} = (N_{\text{эл1}}\tau_1c_{\text{эл1}} + N_{\text{эл2}}\tau_2c_{\text{эл2}} + N_{\text{эл3}}\tau_3c_{\text{эл3}})(n_{\text{зим}} + n_{\text{лет}}k_{\text{лет}}),$$

где $N_{\text{эл1}}$, $N_{\text{эл2}}$ и $N_{\text{эл3}}$ – электрическая мощность, потребляемая ТНУ во время действия ночного, полупикового и пикового тарифов оплаты за потребленную электроэнергию при работе в наиболее нагруженный зимний период, кВт; τ_1 , τ_2 и τ_3 – длительность работы ТНУ во время действия ночного, полупикового и пикового тарифов в течение суток, ч/сут; $c_{\text{эл1}}$, $c_{\text{эл2}}$, $c_{\text{эл3}}$ – тарифы оплаты за потребленную электроэнергию в ночной полупиковый и пиковый периоды, грн/кВт·ч; $k_{\text{лет}}$ – коэффициент, учитывающий снижение нагрузки на ТНУ в летний период по сравнению с зимним, и равный

$$k_{\text{лет}} = \frac{t_{h2} - t_{h1\text{лет}}}{t_{h2} - t_{h1\text{зим}}}.$$

Капитальные затраты при применении теплонасосной технологии рассчитываем, основываясь на данных о капитальных затратах по установке-аналогу, сооруженной на шахте «Благодатная», по формуле

$$K^{\text{ТНУ}} = A + k_q Q_h,$$

где A – постоянная составляющая капитальных затрат (затраты на проектные работы), принимаем равной 480 тыс. грн без НДС; k_q – удельные капитальные затраты (капитальные затраты, отнесенные к 1 кВт теплопроизводительности установки), принимаем 4,6484 тыс. грн/кВт.

Модернизация существующей технологии подготовки горячей воды с помощью угольной котельной не предусматривается, поэтому капитальные затраты по базовому варианту принимаются равными $K^{\text{баз}} = 0$. Основные энергетические и стоимостные показатели существующей технологии приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели существующей технологии подготовки горячей воды

Показатели	Значение
Годовая выработка тепла $Q_{\text{год}}$, Гкал/год	1770
Годовое потребление угля $G_{\text{угол год}}$, т/год	395
Годовые затраты на уголь $C_{\text{угол год}}^{\text{баз}}$, тыс. грн/год	196
Годовые затраты на тепло $C_{\text{т год}}^{\text{баз}}$, тыс. грн/год	746
Капитальные затраты $K^{\text{баз}}$, тыс. грн	0

Основные энергетические и стоимостные показатели ТНУ при различной длительности суточного рабочего цикла тепловых насосов приведены в табл. 2.

Здесь же приведены значения годовой экономии от применения теплонасосной технологии и срока окупаемости капитальных затрат.

Таблица 2

Энергетические и стоимостные показатели ТНУ

Показатели	Длительность суточного цикла, ч				
	7	18	24		
			18	6	24
Теплопроизводительность Q_h , кВт	861	335	287	144	-
Электрическая мощность $N_{эл}$, кВт	193	75	64	32	-
Годовая выработка тепла $Q_{год}$, Гкал/год	1770	1770	1517	253	1770
Годовое потребление электроэнергии $N_{эл год}$, тыс. кВт·ч/год	459	459	394	66	459
Затраты на электроэнергию $C_{эл год}^{ТНУ}$, тыс. грн/год	118	256	220	81	301
Капитальные затраты $K^{ТНУ}$, тыс. грн.	4484	2037	-	-	1815
Годовая экономия $E_{год}$, тыс. грн/год	824	686	-	-	642
Срок окупаемости, лет	12,50	3,50	-	-	3,29

Из табл. 2 видно, что наименьшей стоимостью электроэнергии и соответственно наибольшей годовой экономией характеризуется вариант работы установки по 7-и часовому рабочему циклу. Однако для его реализации требуются наибольшие капитальные затраты, что приводит к возрастанию срока окупаемости установки.

Расчет срока окупаемости капитальных затрат и амортизационных отчислений по ТНУ произведен по методу уменьшения балансовой стоимости в соответствии с которым норма амортизационных отчислений рассчитывается как

$$n_{ам} = 1 - \sqrt[T]{\frac{L}{K}},$$

где L и K – ликвидационная и первоначальная стоимость объекта; T – срок полезного использования оборудования.

Срок полезного использования теплонасосного и теплообменного оборудования принимаем равным $T = 15$ лет. Величину ликвидационной стоимости принимаем равной 3,5 % от первоначальной и тогда норма амортизационных отчислений $n_{ам} = 0,2$.

Срок окупаемости капитальных затрат определяется на основе данных о чистом дисконтированном доходе (ЧДД), получаемом в результате работы установки.

Расчет ЧДД производится следующим образом.

Первичная балансовая стоимость установки BC_0 принимается равной капитальным затратам, необходимым для ее создания

$$BC_0 = K.$$

Балансовая стоимость установки на конец каждого t -го года эксплуатации рассчитывается по формуле

$$BC_t = BC_{t-1} - AO_t,$$

где BC_{t-1} – балансовая стоимость установки на конец предыдущего года; AO_t – амортизационные отчисления в текущем t -м году.

Амортизационные отчисления

$$AO_t = n_a BC_{t-1}.$$

Рассчитывается годовой входной денежный поток, являющийся суммой амортизационных отчислений и годовой экономии,

$$ДП_t = AO_t + Э.$$

Рассчитывается годовой дисконтированный входной денежный поток

$$ДДП_t = КД_t \cdot ДП_t,$$

где $КД_t$ – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования определяется по формуле

$$КД_t = \frac{1}{\left[(1 + r_{инф}) (1 + \alpha) \right]^t},$$

где $r_{инф}$ – темп инфляции (принят 11,2% за год, то есть $r_{инф} = 0,112$); α – дисконтная ставка (принята $\alpha = 0,165$).

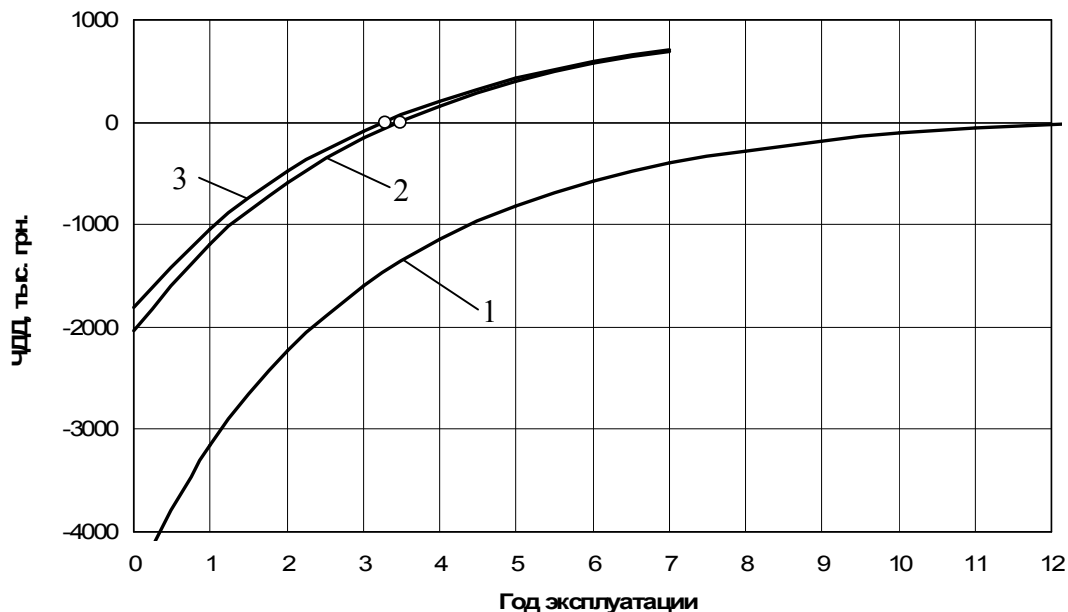


Рис. Изменение ЧДД по годам эксплуатации установки при работе по 7-и (линия 1), по 18-и (линия 2) и 24-х (линия 3) часовым рабочим циклам

Определяется кумулятивный дисконтированный входной денежный поток за T лет эксплуатации установки

$$КДДП_T = \sum_1^T ДДП_t,$$

и чистый дисконтированный доход (ЧДД)

$$ЧДД_T = КДДП_T - БС_0.$$

По результатам проведенных расчетов на рисунке построены графики изменения ЧДД в зависимости от срока эксплуатации установки. Срок, при котором ЧДД становится равным нулю, представляет собой срок окупаемости капитальных затрат.

Из рисунка видно, что в случае 7-и часового рабочего цикла срок окупаемости капитальных затрат по ТНУ составляет более 12 лет, что неудовлетворительно.

При использовании 18-и и 24-х часовых рабочих циклов срок окупаемости капитальных затрат по теплонасосной установке примерно одинаков – 3,5 и 3,3 года, что можно считать приемлемым. Практически одинаковые значения сроков окупаемости капитальных затрат в этих вариантах свидетельствуют об их экономической равноценности. В связи с тем, что возможность работы ТНУ в часы пиковой загрузки электрической сети может быть ограничена и другими факторами, которые на данном этапе не рассматриваются, принимаем как наиболее рациональный 18-и часовой суточный цикл работы ТНУ по подготовке горячей воды.

Выводы. В результате выполненных исследований проанализированы факторы, определяющие энергетическую и экономическую эффективность применения теплонасосных технологий для горячего водоснабжения угольных шахт за счет использования бросового низкопотенциального тепла. Разработана методика расчета срока окупаемости и удельных затрат на генерацию тепловой энергии с помощью теплонасосных установок на угольных шахтах.

Список литературы

1. Басок, Б.И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б.И. Басок, Т.Г. Беляева, А.А. Рутенко, А.А. Лунина // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2008. – Том 30, № 4. – С. 56 – 63.
2. Возобновляемые источники энергии. План внедрения и продвижения технологий на период до 2020 года [Электронный ресурс] // EREC, Renewable Energy House, Brussels. – 2007. – Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3790.
3. Дубовик В.С. Стан комунальної енергетики України // Комунальна енергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К. : – 2007. – С. 22 – 39.
4. Городничий, В.Е. Экономическая эффективность системы отопления на базе теплового насоса малой мощности / В.Е. Городничий, Д.В. Сорока, Б.И. Басок, Т.Г. Беляева, А.А. Рутенко // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2008. – Том 30, № 6. – С. 89 – 94.
5. Беляева, Т.Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в теплоэнергетике Украины / Т.Г. Беляева, А.А. Рутенко, М.В. Ткаченко, О.Б. Басок // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2009. – Том 31, № 5. – С. 81 – 87.

6. Долинский, А.А. Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки / А.А. Долинский, Б.Х. Драганов, Т.В. Морозюк // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2007. – Том 29, № 6. – С. 67 – 71.
7. Фиалко, Н.М. Оценка эффективности применения тепловых насосов в условиях метрополитенов и угольных шахт / Н.М. Фиалко, Л.Б. Зимин // Промышленная теплотехника: Международный научно-прикладной журнал. – 2006. – Том 28, № 2. – С. 111 – 119.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Кіріченком Є.О.
Надійшла до редакції 07.11.2014*

УДК 622.271.3

© Б.Е.Собко

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ НОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ ДЛЯ ВИДОБУТКУ ТИТАНОВИХ РУД

В роботі наведено аналіз сучасного стану розробки титанових родовищ України, визначено перспективи залучення нових родовищ для збільшення мінерально-сировинної бази титанових руд.

В работе приведен анализ современного состояния разработки титановых месторождений Украины, определены перспективы привлечения новых месторождений для увеличения минерально-сырьевой базы титановых руд.

The analysis of the modern state of development of titanic deposits of Ukraine is in-process resulted, certainly prospects of bringing in of new deposits for an increase raw mineral-material bases of titanic ores.

У надрах України виявлено велику кількість потужних та різноманітних родовищ корисних копалин. Розсіпні родовища представлені горизонтальними покладами мінералів титану, циркону, бурштину, золота.

Головні напрямки та перспективи розвитку вітчизняної мінерально-сировинної бази визначені в Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної база України» на період до 2030 р. в якій поставлені завдання щодо введення в експлуатацію нових родовищ та ділянок корисних копалин. В програмі виділені стратегічно важливі для економіки держави корисні копалини, використання яких забезпечує приріст внутрішнього валового продукту, валютні надходження, наповнення державного бюджету, економічну та оборонну безпеку країни. Саме титанові руди відносяться до видів мінеральної сировини, які інтенсивно видобуваються, мають значні розвідані запаси, є предметом експорту та валютних надходжень. Мінерально-сировинна база титанових руд в Україні найбільш потужна серед групи кольорових і рідких металів.

Виробництво титанових концентратів в Україні здійснювалося на двох гірничо-збагачувальних підприємствах: Вільногірському та Іршанському, які забезпечували потребу країни у власній титановій сировині та експортували титанові концентрати в різні країни світу. Починаючи з 2007 р. і дотепер обсяги