

УДК 620.92; 620.97

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

### В УЗБЕКИСТАНЕ. Часть 1. Что можем иметь?

Г. Абдурахманов<sup>1,2</sup>, Г. С. Вахидова<sup>2</sup>, С. А. Маматкулова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центр развития нанотехнологий НУУз, 100174 Ташкент, Университетская, 4

<sup>2</sup>Научно-технический центр АО Узбекэнерго, 100025 Ташкент, М. Аширафи, 9Б  
[vgulbahor@mail.ru](mailto:vgulbahor@mail.ru)

*Мақолада Ўзбекистон иссиқлик электр станциялари ва саноат корхоналарида ҳосил бўлаётган иккиламчи энергия ресурсларининг манбаълари ва ҳажми, улардан фойдаланиш самарадорлиги, иқтисодий, ижтимоий ва экологик оқибатлари, бунда ҳозирда қўлланилаётган усуллар ҳамда қурилмаларнинг хоссалари таҳлил қилинади. Электр энергияси олишга хизмат қилувчи бундай қурилмалар фойдали иш коэффициенти 20 % бўлганда йилига 41 млрд. кВт·соатгача қўшимча электр энергияси бериши мумкинлиги кўрсатилган.*

*В статье рассмотрены источники и объем вторичных энергоресурсов, образующихся на тепловых электростанциях и промышленных предприятиях Узбекистана, экономический, социальный и экологический эффекты от их использования. Анализированы способы и устройства, используемые (в основном для получения электроэнергии) в настоящее время. Показано, что такие устройства при коэффициенте полезного действия 20 % могут дополнительно выработать до 41 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.*

*Sources and volume of waste energy of thermal power stations and industrial plants of Uzbekistan as well as methods and equipment to recovery this energy are analyzed. Economical, social and ecological effects of waste energy recovery are discussed. It is shown that an equipment to waste energy recovery having 20 % efficiency can generate electricity up to 41 billion kWh per year in addition.*

### 1. Введение

Могущество современной технократической цивилизации определяется использованием различных видов энергии. Наиболее универсальной и удобной для производственных и бытовых целей является электрическая энергия. Поэтому одним из важных показателей степени развития современного общества является потребление электрической энергии на душу населения, и для непрерывного экономического развития любого государства требуется рост ее производства (2011 год, кВт·ч/год: Исландия - 52376, США - 13394, Германия - 7215, Россия – 6431, Узбекистан – 1648 [1]).

В Узбекистане поставлена задача – удвоить производство электроэнергии к 2030 году. Однако современное производство электроэнергии сопровождается одновременным превращением в тепло 50-70 % энергии первичных энергоносителей (природный газ, нефть, уголь). В производственных процессах также до 80 % энергии (в том числе и электрической) превращается в тепло. Все это тепло, в конечном итоге рассеиваемое в окружающей среде, образует вторичные энергоресурсы (ВЭР), которые не только съедают большую часть энергии первичных энергоносителей, но и наносят вред окружающей среде (тепловое загрязнение). Поэтому сейчас рассматривается проект постановления Кабинета министров Узбекистана «О мерах по наращиванию производства электроэнергии за счет преобразования бросового тепла, попутных и факельных газов» [2].

## 2. Объем ВЭР Узбекистана

Объем ВЭР Узбекистана рассмотрим на примерах тепловых электростанций, стекольных, цементных и кирпичных заводов, автотранспорта. Сюда же можно отнести попутный нефтяной газ, сжигаемый в количестве примерно 1,5 млрд. м<sup>3</sup> в год [3].

**Тепловыми электростанциями Узбекистана** в 2017 году выработано 52,1 млрд. кВт·ч электроэнергии [4] и отпущено 7,3 млн. Гкал = 8,48 млрд. кВт·ч тепловой энергии. Электрический коэффициент полезного действия – КПД - около 30 % (мы здесь не рассматриваем модернизацию электростанций добавлением газотурбинных установок), так что дополнительно образуется  $0,7 \cdot 52,1 / 0,3 = 122$  млрд. кВт·ч тепла в год, часть которого идет на отопление и горячее водоснабжение, но большей частью (114 млрд. кВт·ч) выбрасывается в окружающую среду. Отсюда возникают проблемы сезонности – топливная эффективность тепловых электростанций снижается после завершения отопительного сезона, когда отпадает потребность в горячей воде для отопления.

В настоящее время в Узбекистане действуют **12 цементных, 4 стекольных, более 728 кирпичных заводов** [5]-[8]. Будут построены еще 6 цементных заводов с объемом производства 3,5 млн. т в год. Энергетические показатели цементных и стекольных заводов приведены в табл. 1 и 2. Подробных данных по кирпичным заводам найти не удалось, поэтому для расчетов принималось общее количество произведенного кирпича – 2,03 млрд. шт. в 2012 году [9] и нормы расхода энергии [8].

На **цементных заводах ВЭР** (бросовое тепло) образуются при обжиге и охлаждении клинкера (рис. 1). КПД печей обжига клинкера 70 % с учетом рекуперации (подогрева воздуха, подаваемого в печь, обожженным клинкером). Общее количество бросового тепла цементных заводов  $0,3 \cdot 22,8 = 6,8$  млрд. кВт·ч (табл. 1).

КПД **стекловаренных печей** (рис. 2) с учетом рекуперации составляет 18-26 %, что в среднем дает  $0,78 \cdot 8,59 = 6,7$  млрд. кВт·ч бросового тепла в год (табл. 2).

Таблица 1

Расход энергии и объем вторичных энергоресурсов действующих цементных заводов Узбекистана

№	Предприятие	Годовой объем, млн. тн	Расход эл. энергии, млн. кВт·ч	Расход тепла, млрд. кВт·ч
1	АО "Кизилкумцемент"	3,08	369,6	6,7
2	АО "Ахангаранцемент"	1,986	238,3	3,5
3	АО "Кувасайцемент"	1,11	133,2	2,4
4	АО "Бекабадцемент"	0,82	98,4	1,8
5	Джизакский завод	0,75	90	1,6
6	Ферганский завод	0,15	18	0,33
7	Андижанские заводы (2)	0,12+ 0,02	16,8	0,3
8	АО Каракалпакцемент	0,4	48	0,87
9	АО Джаркурганцемент	2,2	264	4,78
	<b>Всего</b>	<b>10,26</b>	<b>1231,2</b>	<b>22,28</b>

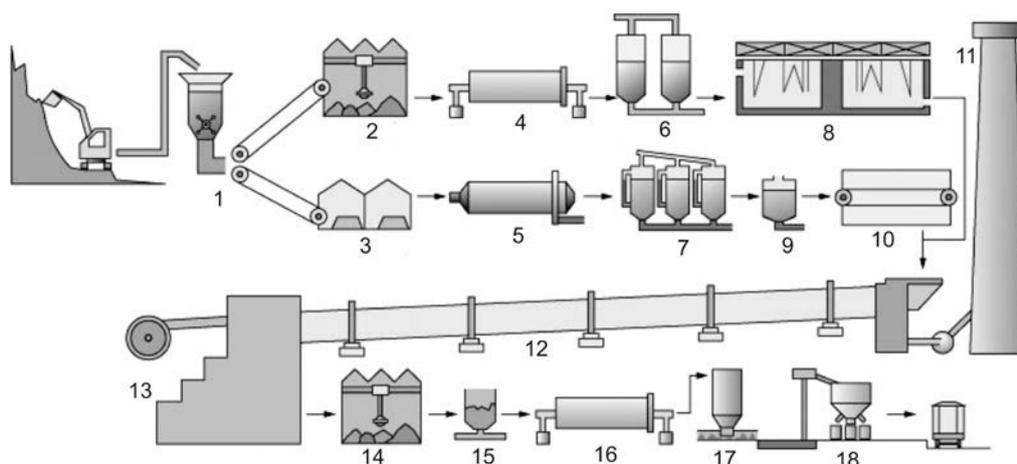


Рис. 1. Схема цементного производства и место образования бросового тепла. 1 – дробление, 2 – хранение/смачивание (влажный процесс), 3 – предварительная гомогенизация (сухой процесс), 4 – помол, 5 – помол/сушка, 6 – дозирование, 7 – гомогенизация, 8 – бункер для хранения шлама, 9 – гранулирование, 10 – сушка, 11 – дымовая труба, 12 – вращающаяся печь, 13 – выгрузка клинкера после обжига, 14 – холодильник клинкера, 15 – добавки, 16 – помол, 17 – хранение, 18 – упаковка

На кирпичных заводах Узбекистана в 2012 году произведено 2,03 млрд. шт. жженого кирпича [9] с расходом тепловой энергии 7 МДж/шт = 1,94 кВт·ч/шт., при этом расходуется 3,94 млрд. кВт·ч тепловой и 290 млн. кВт·ч электрической энергии. Кпд печей обжига кирпича около 40 %, и годовой объем бросового тепла составляет 2,4 млрд. кВт·ч.

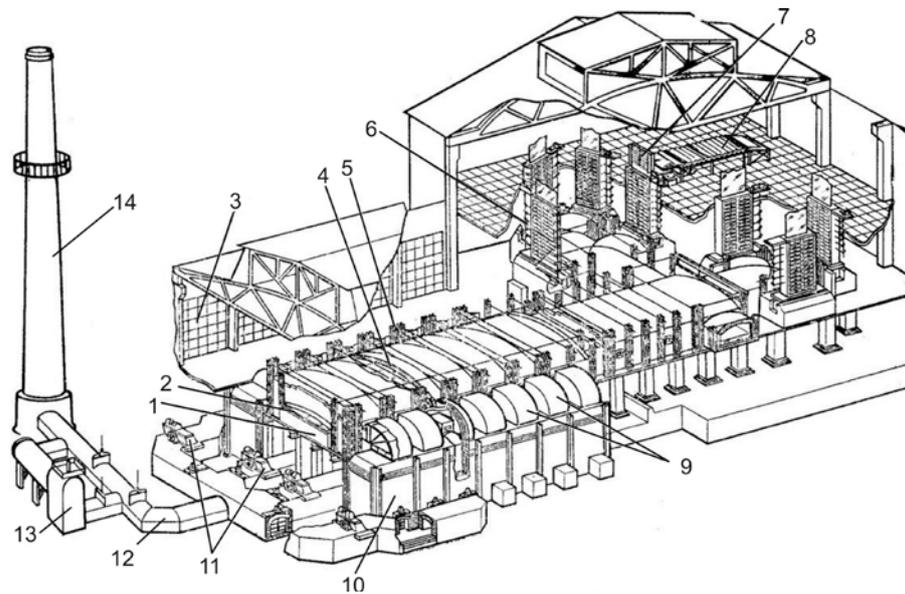


Рис. 2. Ванная стекловаренная печь и место утилизации бросового тепла: 1 — бассейн, 2 — загрузочный карман, 3 — здание цеха, 4 — главный свод, 5 — колонны обвязки печи, 6 — машина вертикального вытягивания, 7 — отломщик рамного типа, 8 — роликовый конвейер, 9 — горелки, 10 — регенераторы, 11 — воздушный шибер, 12 — боров для отвода отходящих газов, 13 — котел-утилизатор, 14 — дымовая труба

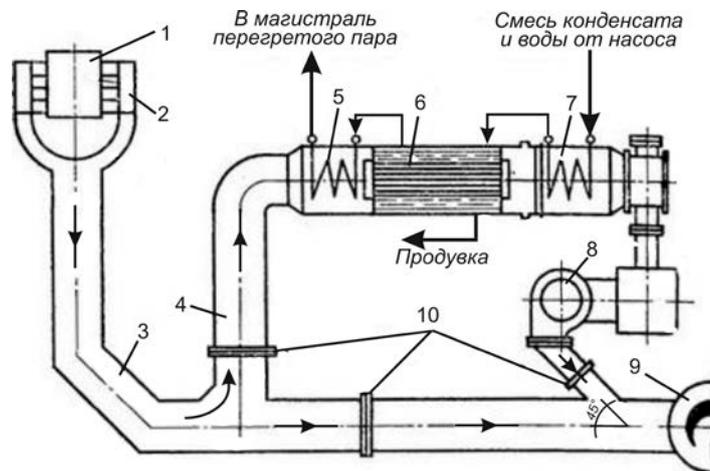


Рис. 3. Схема соединения котла-утилизатора со стекловаренной печью: 1 – бассейн, 2 – регенераторы, 3 - дымоход, дымоход в котел-утилизатор, 4 – дымоход котла-утилизатора, 5 – пароперегреватель, 6 – теплообменники, 7 – экономайзер, 8 – дымоотсос, 9 – дымовая труба, 10 - шиберы. Стрелками показано направление движения дымовых газов и воды

Итого по этим группам потребителей энергии имеем  $6,8 + 6,7 + 2,4 = 15,9$  млрд. кВт·ч вторичных энергоресурсов. Преобразование 20 % этой бросовой энергии дает 3,18 млрд. кВт·ч электричества, что в 1,7 раза превышает потребности этих предприятий в электрической энергии:  $1231 +$

$346 + 290 = 1,86$  млрд. кВт·ч. Здесь и далее КПД преобразователя принят равным 20 %, причина такого выбора будет пояснена во второй части статьи.

Таблица 2

Расход энергии и объем вторичных энергоресурсов  
стекольных заводов Узбекистана

№	Предприятие	Годовой объем, тн	Расход электроэнергии, млн. кВт*ч	Расход природного газа, млн. м <sup>3</sup>
1	АО АСЛ ОЙНА	70000	31.5	60
2	АО Газалкент ойна	270000	126	300
3	АО Кварц	345000	157	370
4	Навои (проект)	70000	31,5	60
	<b>Всего</b>	<b>755000</b>	<b>346</b>	<b>790</b>

В приведенных выше расчетах и таблицах приняты следующие удельные характеристики потребления энергии [7], [8]:

Таблица 3

Производство	Тепло, кВт·ч	Электроэнергия, кВт·ч
Лицевой кирпич, на 1 шт.	2,5-3	0,5-1
Цемент, на 1 кг	1,8-2,4	0,15
Стекло, на 1 кг	2,2-2,5	0,4-0,5

Высшая теплотворная способность природного газа  
 $35\ 000 - 43\ 000\ \text{кДж/м}^3 = 8-12\ \text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ .

В Узбекистане в 2013 году имелось около 1,65 млн. автомобилей (грузовых и легковых, [10]). Принимая средний расход моторного топлива на автомобиль 10 л в день, находим среднегодовое потребление:  $1,65 \cdot 10 \cdot 365 = 6$  млрд. л = 4,2 млн. т (по статистике несколько больше – 5 млн. т [11]). Теплота сгорания моторного топлива 44 МДж/кг = 12 кВт·ч/кг. Примерно 40 % тепла от сгорания топлива выбрасывается в окружающую среду с выхлопными газами, еще 30 % - через систему охлаждения. В то же время от 2 до 10 % мощности мотора (в зависимости от класса автомобиля) расходуется на вращение электрогенератора, обеспечивающего работу электрооборудования автомобиля. Преобразование 5 % тепла выхлопных газов в электричество (обычно в автомобилях больше не требуется) позволит избавиться от обычного электрогенератора и сэкономить до 5 % моторного топлива, т. е. 210 тысяч тонн или в эквиваленте  $210 \cdot 10^6 \cdot 12 = 2,5$  млрд. кВт·ч энергии.

Попутный нефтяной газ при КПД преобразователя 20 % может дать  $1,5 \cdot 8 \cdot 0,2 = 2,4$  млрд. кВт·ч электроэнергии.

Вторичные энергоресурсы металлургических, химических и нефтехимических предприятий можно также оценить примерно в 15-20 млрд.

кВт·ч тепла или 3-4 млрд. кВт·ч электроэнергии. Здесь оценки, подобные приведенным выше, затруднительны из-за сложных переходов тепловой энергии по разным технологическим операциям.

Суммарный объем вторичных энергоресурсов по республике и возможный объем выработки электроэнергии (эквивалент) из них приведены в табл. 4.

### 3. Экономические аспекты

Выработка дополнительно 40 млрд. кВт·ч электроэнергии без затрат первичных энергоносителей и экономия более 200 тысяч тонн моторного топлива (см. выше) дают в год прямой экономический эффект  $41,4 \cdot 300 \text{ сум/кВт}\cdot\text{ч} = 12 \text{ трилл. сум}$  (электричество) и  $200 \cdot 10^6 \cdot 1,4 \cdot 2000 \text{ сум/л} = 560 \text{ млрд. сум}$  (моторное топливо). Сюда нужно добавить еще косвенный экономический эффект, обусловленный, с одной стороны, разницей цен полученной от внешней сети и выработанной на самом предприятии электроэнергии, а с другой стороны, исключением потерь на линиях электропередачи (до 5 % от расхода, физический максимум до 10 %). Потери на линиях электропередачи (5 %) составляют **93,3 млн. кВт·ч**. Суммарный экономический эффект в год **12,8-13 триллионов сум** или **3,5-3,8 млн. т у.т.** Здесь учтено, что расход топлива на электростанциях в 2011 году составлял 379 г у. т. на 1 кВт·ч выработанной электроэнергии [12], [13].

**4. Экологические аспекты** следуют из того, что 1) почти на 20 % сокращается количество выбрасываемого в окружающую среду тепла; 2) сокращается расход смазочных материалов и перерабатываемых отходов производства электроэнергии; 3) сокращается расход первичных (ископаемых) энергоносителей. Все это благоприятно сказывается на состоянии окружающей среды, на условиях жизни и здоровье людей.

**5. Косвенный эффект** от использования ВЭР обуславливается: 1) улучшением экологической обстановки из-за сокращения выбросов тепла; 2) разницей стоимости электроэнергии собственного производства и получаемой предприятием от внешней сети; 3) исключением потерь энергии на внешних линиях электропередачи.

### 6. Применяемые в настоящее время способы утилизации ВЭР:

1) паровой котел-утилизатор, преобразующий тепло дымовых газов в тепловую энергию горячей воды, что удобно для отопления и горячего водоснабжения;

2) абсорбционные охладители (чиллеры) [14], преобразующие тепло дымовых газов в холод для охлаждения помещений и продуктов;

Таблица 4

№	Источник вторичных энергоресурсов	Годовой объем продукции	Расход тепла, млрд. кВт·ч	КПД, %	Расход эл. энергии, млрд. кВт·ч	Объем ВЭР, млрд. кВт·ч	Выработка ЭЭ из ВЭР, млрд. кВт·ч
1	Тепловые электростанции	56 млрд. кВт·ч	187	30	8,4	131	26,2
2	Цементные заводы	10,3 (17) млн. т	22,28 (36,77)	60-70	1,23 (2)	7,35 (12,1)	1,47 (2,43)
3	Стекольные заводы	755 тыс. т	8,59	22	0,35	6,7	1,34
4	Кирпичные заводы (>728 на 01.01.2010)	2,026 млрд. шт.	6,15	40	1,64	3,69	0,74
5	Автотранспорт	1650 тыс. шт. (2013)	5 млн. т топлива*	30		28	5,6
6	Металлургические заводы	Данных нет, но объем ВЭР можно примерно оценить в 37 млрд. кВт·ч (как у цементных, стекольных и кирпичных заводов вместе)					7,4
7	Химические предприятия						
8	Попутный нефтяной газ	1,5 млрд. м <sup>3</sup>				12	2,4
	<b>Всего</b>		<b>301,22 (315,7)</b>		<b>14,84 (15,61)</b>	<b>225,74 (230,49)</b>	<b>45,15 (46,1)</b>

Примечание. Для цементных заводов в скобках показаны объемы с учетом проектируемых и строящихся предприятий.

3) установки на основе органического цикла Ренкина – ОЦР [15], где в системе паровой котел – паровая турбина - электрогенератор рабочим телом является органическая жидкость с низкой температурой кипения. Это позволяет при низкой температуре пара создавать высокое давление, необходимое для работы турбины. Вырабатывают электричество и горячую воду из бросового тепла.

### **7. Что мешает использованию этих способов преобразования ВЭР?**

Паровой котел-утилизатор вырабатывает только горячую воду, громоздок, требует регулярного технического ухода и ремонта, в автомобилях не применим, а в стационарных условиях возникают проблемы сезонности (после отопительного сезона потребность в горячей воде резко падает). Теплоотрассы также дорогие.

Абсорбционные холодильники имеют те же недостатки, что и в предыдущем случае, за исключением технического ухода. Не всегда источники бросового тепла и потребители холода находятся рядом.

Электрический КПД установок ОЦР не превышает 18-20 % [16], предъявляются жесткие требования к герметичности всей системы, цена высокая, сохраняется проблема использования горячей воды (из системы охлаждения установки) после сезона отопления, что удорожает эксплуатацию. Требование герметичности ограничивает габариты и соответственно максимальную мощность установок (в настоящее время до 17 МВт).

### **Выводы**

Преобразование вторичных энергоресурсов (в основном низкотемпературных тепловых потоков, часто выбрасываемых в окружающую среду) в электрическую энергию позволит многим энергоемким производствам обойтись без поставок электроэнергии из внешней сети, улучшить экологическую обстановку.

При этом прямая экономия энергоресурсов по Узбекистану может быть сравнима с годовой выработкой ТашТЭС.

Однако используемые в настоящее время способы и устройства (паровой котел-утилизатор, абсорбционный холодильник – чиллер, установки ОЦР не позволяют в должном объеме и эффективно решать задачу преобразования вторичных энергоресурсов в электрическую энергию вследствие сезонных ограничений, недостаточной эффективности, высокой стоимости самих устройств и их эксплуатации. Поэтому создание новых способов и устройств, основанных на иных физических принципах и доступных для производства в республике, является злободневной задачей. Эти способы и устройства будут рассмотрены во второй части статьи.

### Литература

- [1] <http://svspb.net/danmark/potreblenie-elektroenergii-stran.php>
- [2] <https://regulation.gov.uz/ru/document/1268>
- [3] <https://www.gazeta.uz/ru/2015/04/22/gas>
- [4] <http://uzbekenergo.uz/ru/about/uzbekenergo/>
- [5] Курилиш саноатининг инвестицион истикболлари.  
<http://tashkent.uz/index.php?view=article&id=4879&clean&print>.
- [6] Дзюзер В. Я. Теплофизические основы разработки энергоэффективных стекловаренных печей. Автореф. дисс. доктора тех. наук. Екатеринбург, 2009.
- [7] Нормативы энергопотребления. Утверждены постановлением Правительства Республики Казахстан от 24 октября 2012 года № 1346.
- [8] ГОСТ Р 54194-2010 Ресурсосбережение. Производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности.
- [9] <http://avestagroup.com/files/other/140308r.pdf>.  
<http://tashkent.uz/index.php?view=article&id=4879&clean&print>
- [10] <http://www.bibi.uz/avtonovosti/866>.
- [11] Сафаев М. М., Мухамеджанов С. У., Самойлов С. В. и др. / Автомобильный транспорт и окружающая среда // <http://www.atmosfera.uznature.uz/userfiles/files/0003.pdf>.
- [12] Электроэнергетика Республики Узбекистан. <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/Uzbekistan.pdf>.
- [13] Э. Садуллаев / Текущее состояние и перспективы развития электроэнергетики Республики Узбекистан  
[https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum\\_Issyk\\_Kul\\_Lake\\_Sept.2012/day\\_2/workshop\\_4/5\\_Eso\\_Sadullaev\\_Uzbekenergo\\_Uzbekistan\\_Rus.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Issyk_Kul_Lake_Sept.2012/day_2/workshop_4/5_Eso_Sadullaev_Uzbekenergo_Uzbekistan_Rus.pdf)
- [14] <http://tat-plast.tiu.ru/g6640313-promyshlennye-holodilnikichillery?yclid=3091634117041980721>
- [15] Утилизация бросового тепла с помощью органического цикла Ренкина. Оборудование фирмы Turboden, Italy. [www.turboden.it](http://www.turboden.it).
- [16] <http://maenerg.ru/turboden.html>