УДК 338.2

JEL Q53, Q58

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-5-132-148

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ¹

© С.В. Ратнер 2019

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия*

Промышленные низкотемпературные процессы являются перспективным сектором для внедрения солнечных коллекторов, которые могут частично, а в некоторых случаях и полностью заместить традиционные технологии теплоснабжения. В настоящее время использование солнечных коллекторов больше всего развито в пищевой, текстильной и химической промышленности. Целью данной работы является обзор современного состояния мирового рынка промышленных солнечных коллекторов и оценка возможностей их применения в отдельных секторах промышленности Российской Федерации. Информационную базу исследования составили аналитические материалы проекта Мирового энергетического Агентства «Интеграция солнечной генерации тепла в индустриальные процессы» (IEA SHC Task49/IV SHIP), материалы сети экспертиз REN21 и аналитического агентства Solar&WindEnergy.

В результате исследования было выявлено, что рынок промышленных солнечных коллекторов в настоящее время развивается практически без каких-либо мер государственной поддержки, только за счет рыночных механизмов, что свидетельствует о коммерческой привлекательности технологии. Согласно полученным прогнозным оценкам, приведенная стоимости энергии, произведенной с помощью промышленных солнечных коллекторов в южных регионах России, может составить 3,8-6,6 руб./кВт·час. Несмотря на то, что полученные прогнозные оценки выше текущих тарифов, экономическая целесообразность использования солнечных коллекторов в промышленности значительно возрастает в случае невозможности подключения к централизованным тепловым сетям, а также в случае сезонной загруженности предприятий. На примере Краснодарского края показано, что потенциал энергосбережения при внедрении промышленных солнечных коллекторов только на предприятиях пищевой промышленности может составить 16-17% от всего объема производимой в крае тепловой энергии ежегодно.

Ключевые слова: *теплоснабжение промышленных процессов, возобновляемая энергетика, солнечные коллекторы, экономическая эффективность.*

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края, проект № 18-410-230011_a(p) «Разработка динамической модели оптимизации региональной энергетической системы с высоким потенциалом использования биоотходов и биоресурсов как источников энергии по эколого-экономическим параметрам (на примере Краснодарского края)»

SOLAR COLLECTORS IN THE INDUSTRY: ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE OF APPLICATION AND ECONOMIC ASSESSMENT OF PROSPECTS OF INTRODUCTION OF REGIONAL POWER SYSTEM

© S.V.Ratner 2019

*Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Industrial low-temperature processes are a promising sector for the introduction of solar collectors, which can partially, and in some cases completely replace traditional heat supply technologies. Currently, the use of solar collectors is most developed in the food, textile and chemical industries. The aim of this work is to review the current state of the world market of industrial solar collectors and assess the possibilities of their application in individual industrial sectors of the Russian Federation. The information base of the study was the analytical materials of the project of the World Energy Agency "Integration of Solar Heat into Industrial Processes" (IEA SHC Task49 / IV SHIP), materials of the REN21 expert network and the analytical agency Solar & Wind Energy.

As a result of the study, it was revealed that the market of industrial solar collectors is currently developing almost without any measures of state support, only due to market mechanisms, which indicates the commercial attractiveness of the technology. According to the predicted estimates, the present value of the energy produced by industrial solar collectors in the southern regions of Russia may amount to 3.8-6.6 rubles / kWh. Despite the fact that the forecast estimates are higher than current tariffs, the economic feasibility of using solar collectors in industry increases significantly if it is not possible to connect to centralized heating networks, as well as in the case of seasonal workload of enterprises. On the example of the Krasnodar Territory, it is shown that the energy saving potential when introducing industrial solar collectors only at food industry enterprises can make up 16-17% of the total amount of thermal energy produced in the region annually.

Key words: *heat supply of industrial processes, renewable energy, solar collectors, economic efficiency.*

Введение

В последние десятилетия возобновляемая энергетика получила огромное развитие во всем мире. Среднегодовые темпы прироста электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в период с 2009-2016 гг. составили 6,4%. По итогам 2017 года инвестиции в электрогенерацию на основе ВИЭ превзошли объемы инвестиций в традиционные виды электрогенерации (включая атомную энергетику), причем основная их часть пришлась на страны с развивающейся экономикой [1]. На сегодняшний день почти все страны мира имеют обозначенные на государственном уровне цели по развитию возобновляемой энергетике. Однако, несмотря на значительный прогресс в электрогенерации, внедрение технологий ВИЭ в секторе теплоснабжения и тепловой генерации, в том числе, для промышленных нужд, пока происходит медленно, тогда как именно эти виды конечного потребления энергии занимают наиболее значимые доли в мировом энергобалансе. Так, на теплоснабжение, согласно

статистическим данным МЭА 2015 года, расходуется 50% всей потребляемой в мире энергии, причем более 70% в этом секторе составляет энергия из углеводородных источников [2]. Доля ВИЭ в отопительном секторе в целом по миру пока составляет 9% и распределена между следующими современными технологиями [1]:

1. *Биогенерация*: бойлеры, использующие твердую биомассу, использование биогаза в системах централизованного отопления, добавление биогаза в газоснабжающую сеть, прямое использование биогаза для приготовления пищи.

2. *Солнечные коллекторы*: используются для нагрева воды и, в меньшей степени, отопления зданий. В последние годы существенно возросли масштабы использования в системах центрального отопления и в промышленности [3].

3. *Геотермальная энергия*: используется в центральных системах отопления, для бассейнов, теплиц, а также в промышленности.

4. *Отопление с помощью возобновляемой электроэнергии*: использование электроэнергии, генерируемой солнечными панелями, ветростанциями и т.д. для работы тепловых насосов в жилом, коммерческом и промышленном секторах.

Использование солнечной энергии в теплоснабжении зданий жилого и коммерческого сектора имеет достаточно долгую историю и хорошо изучено в литературе [4-5], в то время как применение солнечной энергии в промышленном производстве в настоящее время только развивается. Основным сдерживающим фактором пока что является невозможность круглосуточного обеспечения теплоснабжения производственного процесса с помощью энергии солнца. Для преодоления этого технического барьера необходима инсталляция дополнительного оборудования – систем хранения тепла, которые существенно увеличивают стоимость всей солнечной установки [6]. Высокая первоначальная стоимость приобретения и инсталляции оборудования (солнечных коллекторов и систем хранения тепла) является вторым по значимости сдерживающим фактором, который особенно важен для малых и средних предприятий, не обладающих достаточно большим объемом оборотных средств [7]. В то же время меры государственной поддержки развития данного вида ВИЭ пока недостаточно распространены. Так, в 2016 году по данным IRENA [1] уже 126 стран мира проводили различные меры государственной политики, направленные на поддержку ВИЭ в секторе электрогенерации, тогда как меры стимулирования технологий ВИЭ в отопительном секторе внедрялись только в 21 стране.

В настоящее время применение солнечной энергии больше всего развито в пищевой промышленности [7], в первую очередь, из-за того, что большинство производственных процессов, связанных с переработкой пищевых продуктов, являются низкотемпературными (табл. 1).

Таблица 1

Промышленные процессы, потенциально пригодные для использования
солнечных коллекторов как теплообеспечивающего оборудования

Отрасль промышленности	Промышленный процесс	Температурный режим, °C
Химическая	Биохимическая реакция	20-60
	Дистилляция	100-200
	Компрессия	105-165
	Сгущение	110-130
Производство пищевых продуктов и напитков	Бланшировка	60-100
	Обжиг	45-90
	Кипение	40-130
	Варка	70-120
	Пастеризация	60-145
	Копчение	20-85
	Очистка	60-90
	Стерилизация	100-140
	Темперовка	40-80
	Сушка	40-200
Производство бумаги и картона	Мойка	30-80
	Отбеливание	40-150
	Удаление чернил и краски (при переработке)	50-70
	Варка древесины в хими- ческом растворе	110-180
Обработка металлов	Сушка	95-200
	Хромирование	20-75
	Обезжиривание	20-100
	Гальванопокрытие	30-95
	Фосфатирование	35-95
	Продувка	40-70
Производство резины и пластмассы	Сушка	60-200
	Сушка	50-150
Текстильная промышлен- ность	Преднагрев	40-70
	Отбеливание	40-100
	Крашение	40-130
	Сушка	60-90
	Стирка	50-100
	Пропитка	160-180
	Прессование	80-100
Деревообрабатывающая промышленность	Выпаривание	70-90
	Морение	40-70
	Прессование	120-170
	Вываривание	80-90
	Сушка	40-150

Окончание табл. 1

Отрасль промышленности	Промышленный процесс	Температурный режим, °C
Добыча полезных ископаемых	Очистка	~60
	Электролиз	~50
	Другие процессы	~80
Сельское хозяйство	Сушка	80
	Подогрев воды	90
Автомобилестроение	Подогрев воды	90
	Очистка	120
	Другие процессы	~50

Источник: составлено автором по данным [7-10].

Так, например, такие процессы как различные типы сушки, очистка, мойка, подогрев воды, пастеризация и стерилизация не требуют температуры выше 250°C, которая достаточно легко может быть обеспечена с помощью солнечных коллекторов различных типов. Второй по распространенности использования солнечных коллекторов является текстильная промышленность, многие производственные процессы в которой (такие как чистка, сушка, стирка, прессование) также не требуют высоких температур [8-10].

В зависимости от требуемого уровня температуры производственного процесса используются различные типы солнечных тепловых коллекторов: от наиболее простых воздушных, плоских и коллекторов с вакуумной трубкой, пригодных для температур до 100°C, до более сложных концентрирующих солнечных тепловых коллекторов, таких как чаши Шеффлера, коллекторы Френеля и параболические желоба для температур до 400°C [7-11].

Целью настоящей работы является обзор современного состояния мирового рынка промышленных солнечных коллекторов и оценка возможностей их применения в отдельных секторах промышленности Российской Федерации.

Обзор современного состояния рынка промышленных солнечных коллекторов

Солнечное тепло для промышленных процессов (Solar Heat for Industrial Processes, SHIP) – это быстро растущий мировой рынок [8]. По данным Австрийского научно-исследовательского института устойчивых технологий (Institute for Sustainable Technologies, AEE INTEC) – ведущего европейского исследовательского центра в области гибридных систем отопления), количество промышленных солнечных установок на начало 2018 года (последние статистические данные) оценивается как 624 штуки с общей площадью коллекторов 609 тыс. кв.м. (рис. 1). И если ранее лидерами на этом рынке были технологически развитые страны, то за послед-

ние годы был реализован ряд перспективных проектов на территориях развивающихся стран – от небольших демонстрационных установок до масштабных систем мощностью 100 МВт (термических). 2017 год оказался рекордным по количеству установок в промышленном секторе (124 новых установки, общей площадью коллекторов 192580 кв.м) (табл. 2). Это дало прирост на 25% по кумулятивному количеству установок и прирост в 45% по кумулятивной площади.

Рис. 1. Количество промышленных коллекторов мощностью не менее 700 Квт в различных странах мира

Источник: составлено автором на основе [8].

Таблица 2

Статистика установок промышленных солнечных коллекторов по странам в 2017 году

Страна	Количество установок, шт.	Площадь коллекторов, кв.м	Средняя площадь коллектора, кв. м
Оман	1	148 000	148 000
Мексика	36	6 411	178
Индия	36	15 313	425
Китай	19	11 534	607
Австрия	2	1 758	893
Франция	2	2 052	1 026
Афганистан	1	3260	3260
Иордания	1	1 254	1 254
Другие страны	12	2 971	114
Всего	124	192 580	

Источник: [8].

В феврале 2018 года введена в эксплуатацию 4-блочная солнечная теплостанция Мира с мощностью 100 МВт. Станция снабжает паром (660 тонн ежедневно) месторождение Амал на юге Омана. Пар используется при добыче вязкой и тяжелой нефти. На 2019 год планируется введение в эксплуатацию еще 8 блоков общей мощностью 200 МВт, а всего запланировано ввести в эксплуатацию 1 ГВт. Это будет крупнейшая тепловая солнечная станция в мире. Станция состоит из параболических солнечных коллекторов, помещенных в теплицу в целях защиты от ветра и песка. Теплица оказалась удачным и экономичным решением, так как позволяет сократить затраты на чистку и мойку коллекторов, а также сделать их более легкими и менее ресурсоемкими [8].

Самая большая китайская солнечная теплостанция мощностью 2,3 МВт введена в эксплуатацию в 2017 году для снабжения паром одного из заводов компании Heli Lithium Industry (производство литий-ионных аккумуляторов для электропогрузчиков). На теплостанции установлены вакуумные трубчатые коллекторы общей площадью 3 300 кв.м. Другая крупная теплостанция мощностью 1,5 МВт, также использующая вакуумные трубчатые коллекторы (общая площадь 2 200 кв.м.), расположена в городе Циндао в провинции Шаньдун на востоке Китая и снабжает теплом компанию Polyocean Algal Industry Group, занимающуюся переработкой морепродуктов [8].

В конце 2017 года установлен первый параболический коллектор для теплоснабжения мясоперерабатывающего комбината в Афганистане. Общая площадь коллектора составила 3 260 кв.м. В Иордании установлен коллектор Френеля мощностью 700 КВт (общая площадь 1 254 кв.м.) для прямой парогенерации для нужд японской табачной фабрики JapanTobacco International [8].

Так как рынок промышленных солнечных коллекторов является пока очень молодым, полноценная система статистического учета его структуры и динамики еще не сформирована. Наиболее полная детальная информация на настоящий момент собрана в рамках проекта Мирового энергетического Агентства «Интеграция солнечной генерации тепла в промышленные процессы» (IEA SHC Task49/IV SHIP), выполняемого совместно экспертами из 16 стран в течение 2015-2017 гг. В ходе экспертных интервью собрана информация о 271 промышленных тепловых коллекторах из 624 известных. На рис. 2 представлено распределение 271 учтенного объекта по размеру [8]. К первой группе отнесены две наиболее крупные солнечные теплостанции (более 21 МВт), которые подробно описаны также в табл. 3, ко второй группе – 26 теплостанций мощностью от 0,7 до 21 МВт (или общей площадью от 1000 до 3000 кв.м.), далее следует группа из 45 теплосистем мощностью от 0,35 до 0,7 МВт (площадь от 500 до 1000 кв.м) и самое большое количество – 198 теплосистем мощностью менее 0,35

МВт (или общей площадью менее 500 кв.м) представляют четвертую группу промышленных солнечных установок.

В пищевой промышленности используется 104 солнечных коллектора, в производстве напитков – 28, в текстильной промышленности – 23 (рис. 3).

Однако несмотря на то, что данные отрасли промышленности лидируют по количеству инсталляций солнечных коллекторов, по объему их использования (площади коллектора и его мощности) безусловным лидером является добывающая промышленность (рис. 4).

Рис. 2. Распределение промышленных солнечных установок по размеру

Источник: составлено автором на основе [8]

Рис. 3. Распределение промышленных солнечных коллекторов по области использования (количество)

Источник: составлено автором на основе [8].

Таблица 3

**Крупнейшие промышленные теплостанции на солнечных
коллекторах в мире**

Название объекта (страна)	Площадь солнечного коллектора (тыс. кв.м) /мощность (МВт)	Тип производ- ственных процес- сов	Тип коллектора
Мирах (Оман)	148 / 100	Добыча вязких и тяжелых нефтей	Параболический
GabyCopper mine (Чили)	39,3 / 28	Добыча меди	Плоский
QierSolar (Китай)	13 / 9	Крашение тканей	Плоский
Prestage Foods Factory (США)	7,8 / 5	Поддержка сани- тарных условий	Плоский
HeliLithium (Китай)	3,3 / 2,3	Производство ли- тий-ионных аккумуляторов	Вакуумный трубчатый
Kabul Meat Factory (Аф- ганистан)	3,26 / 2,2	Мясопереработка	Параболический
Polyocean Algal Industry Group (Китай)	2,2 / 1,5	Переработка мо- репродуктов	Вакуумный трубчатый
JapanTobaccoInternational (Иордания)	1,25 / 0,7	Производство сигарет	Френеля

Источник: составлено автором по данным <https://www.solarthermalworld.org>.

**Рис. 4. Распределение промышленных коллекторов по области использования
(площадь, мощность)**

Источник: составлено автором на основе [8].

В настоящее время лидерами по кумулятивной площади и мощности установленных промышленных солнечных коллекторов являются Китай, Чили, США, Мексика и Индия (рис. 5). Остальные страны существенно уступают им в развитии рынка SHIP. За исключением США, страны-лидеры по уровню развития солнечных коллекторов в промышленности являются быстроразвивающимися индустриальными странами, в которых рост спроса на тепловую энергию преимущественно генерируется со стороны промышленного сектора. Так, например, рост потребления тепловой энергии в промышленном секторе Индии в период с 2010 по 2015 гг. вырос более чем на 30% [1].

Что касается типов наиболее часто используемых солнечных коллекторов, то ими являются плоские коллекторы, за которыми следуют параболические и вакуумные трубчатые (рис. 6). Однако по занимаемой площади, параболические коллекторы превосходят плоские и вакуумные.

Крупнейшими производителями плоских солнечных коллекторов являются китайские компании – Sunrain (годовой оборот более 600 млн. долл США), BTE Solar, FiveStar и другие.

В список компаний-лидеров среди производителей солнечных коллекторов 2017 года также входят австрийская компания Greenonetec и немецкий BoschThermotechnik¹.

Рис. 5. Кумулятивная площадь и кумулятивная мощность установленных солнечных коллекторов в разных странах

Источник: составлено автором на основе [8].

¹ По данным аналитического агентства Sun&Wind Energy. <http://www.sunwindenergy.com/solar-thermal/2017-ranking-worlds-largest-flat-plate-collector-manufacturers>

Рис. 6. Распределение промышленных солнечных установок по типу

Источник: составлено автором на основе [8].

Кроме этих стран, производство солнечных коллекторов в крупных масштабах также налажено в Греции, Италии, Турции, Австралии, Мексике, Болгарии, Польше и Индии. В производстве солнечных коллекторов используются сравнительно простые технологии, не требующие специального лицензирования и относительно легко поддающиеся копированию, поэтому многие компании-производители в целях расширения своего рынка сбыта со-финансируют проекты по государственной поддержке развития промышленных солнечных коллекторов.

Так, в ЮАР действует система поддержки демонстрационных проектов по использованию солнечных коллекторов большой мощности в пищевой и текстильной промышленности, направленная на повышение осведомлённости о возможностях применения данной технологии и развитие производства энергооборудования [1]. Промышленные солнечные коллекторы также получили поддержку в Тунисе в рамках программы промышленного развития Prosol, запущенной в 2010 году при финансовой поддержке со стороны Министерства окружающей среды Италии и Программа ООН по окружающей среде. Текстильная фабрика Venetton является демонстрационным проектом, в рамках которого в 2016 году на крышах производственных помещений установлено 1000 кв.м плоских солнечных коллекторов. Успех проекта позволяет строить планы на тиражирование технологии на другие сектора промышленности, чтобы достичь национальной цели 14 000 кв.м солнечных коллекторов к 2020 году [1].

Оценка экономической эффективности солнечных коллекторов

Экономическая эффективность промышленных солнечных коллекторов, так же, как и других устройств преобразования солнечной энергии, в первую очередь зависит от уровня солнечной инсоляции, который и определяет их производительность. Другими значимыми факторами являются первоначальная стоимость самого коллектора, затраты на его установку и обслуживание и длительность жизненного цикла солнечного коллектора. Все эти факторы, а также коэффициент дисконтирования, учитываются в показателе «приведенная стоимость энергии» – *LCOE* (levelized cost of energy), который является наиболее распространенным при сравнительной оценке экономической эффективности различных энергетических технологий и отражает среднюю стоимость единицы произведенной энергии с помощью данного генерирующего устройства за весь период эксплуатации оборудования [12-13]. Расчет приведенной стоимости энергии осуществляется по формуле:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^T A_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T SE \cdot (1+r)^{-t}}, \quad (1)$$

где I_0 – удельная стоимость оборудования с учетом установки (евро/кв.м.);

A_t – стоимость обслуживания оборудования в году t (для солнечных коллекторов полагается равной 0,25-0,5% от I_0 в зависимости от типа коллектора);

SE – количество произведенной энергии в году t ;

T – длительность периода эксплуатации генерирующего оборудования (лет);

R – коэффициент дисконтирования, отражающий изменение стоимости денег во времени (для расчетов в евро, как правило, полагается равным 3%).

По оценкам экспертов IEA SHC Task49/IV SHIP показатель LCOE для крупномасштабных солнечных коллекторов, используемых для горячего водоснабжения жилых помещений, колеблется в пределах от 2 евро центов (в ценах 2016 года) за кВт·час тепловой энергии в Индии до 14 евро центов в Австрии, Дании, Канаде и Франции [6]. Учитывая, что стоимость установленного промышленного солнечного коллектора, аналогичного по качеству и производительности, примерно равна стоимости коллектора, используемого для горячего водоснабжения (от 200 до 1160 евро/кв.м), а температура подогрева воды в них сопоставима с температурой, необходимой для обеспечения теплом низкотемпературных промышленных процессов, и основываясь на данных по производительности солнечных кол-

лекторов в зависимости от уровня солнечной радиации, приведенных в источнике [8] для 62 столиц мира, можно оценить ожидаемую *LCOE* для промышленных коллекторов в России. Для этого по данным источника [8] построим модель парной линейной регрессии, описывающую связь между уровнем солнечной инсоляции (X) и производительностью среднестатистического крупномасштабного солнечного коллектора с горизонтальной панелью для горячего водоснабжения (Y). Используя метод наименьших общих квадратов, реализованный в пакете прикладных программ STATISTICA 10.1, получим следующую зависимость:

$$Y = 0,389 \cdot X + 41,719. \quad (2)$$

Расчетное значение F -статистики Фишера для построенной модели равно 814,42, уровень статистической значимости коэффициента регрессии $p < 0,001$, уровень статистической значимости свободного члена $p = 0,054$, $R^2 = 0,972$. Стандартная ошибка коэффициента регрессии равна 0,014.

Учитывая высокое статистическое качество построенной модели (2), ее можно использовать для прогнозирования ожидаемой производительности солнечного коллектора в любой точке мира. Так, например, для уровня солнечной инсоляции Сочи (среднегодовая инсоляция 1365,1 кВт·час/кв.м), получим ожидаемую производительность солнечного коллектора 573,24 (кВт·час/кв.м). Подставляя прогнозные оценки производительности коллектора как значение параметра SE в формулу (1) и используя нижние оценки для объема первоначальных удельных инвестиций в покупку и установку оборудования из источника [8], получим оценки *LCOE* для стоимости энергии, произведенной с помощью промышленных солнечных коллекторов в районе Сочи в пределах 0,052-0,09 евро за 1 кВт·час или 3,8-6,6 руб./кВт·час¹. Использование нижних оценок удельных инвестиций обусловлено тем, что стоимость труда в России гораздо ниже, чем в развитых европейских странах. Если же в качестве оценок удельных инвестиций взять значения данных показателей во Франции, Канаде или Дании (как наиболее высокие), то приведенная стоимость энергии будет колебаться в пределах от 5,4 до 8,03 руб./кВт·час.

Как верхние, так и нижние оценки стоимости произведенной солнечными коллекторами тепловой энергии выше, чем при использовании традиционных углеводородных технологий, однако при удорожании углеводородных источников или введении налогов на выбросы парниковых газов (что в настоящее время обсуждается в мировом экспертном сообществе как необходимая мера реализации целей Парижского соглашения по климату) [14-15], коммерческая привлекательность новых технологий может значительно возрасти в тех регионах России, где среднегодовой уровень солнечной инсоляции сравнительно высок, а потребность в обеспечении энергией низкотемпературных промышленных процессов достаточно ве-

¹ При переводе евро в рубли по курсу 1 евро = 73 рубля.

лика. Кроме того, экономическая целесообразность использования солнечных коллекторов значительно возрастает в случае невозможности подключения к централизованным тепловыми сетями, а также в случае сезонной загруженности предприятий (например, на предприятиях по производству консервированных овощей, переработке сахарной свеклы и т.д.) Одним из таких регионов, где потенциал развития технологии промышленных солнечных коллекторов достаточно велик, является Краснодарский край.

Оценка потенциала энергосбережения в промышленности юга России (на примере Краснодарского края)

Южные регионы России не только обладают подходящими природно-климатическими условиями для эффективного использования солнечных коллекторов в различных видах хозяйственной деятельности, но и являются регионами с развитыми секторами промышленности, в которых преобладают низкотемпературные производственные процессы. Так, например, в структуре потребления тепловой энергии в промышленности Краснодарского края в течение 2010-2015 гг. (рис. 7) производство пищевой продукции, включая напитки и табака, устойчиво занимает пятую позицию, уступая лишь химическому и металлургическому производствам, производству электроэнергии, пара и воды, а также производству нефтепродуктов [16].

Заметим, что как минимум еще две из вышеперечисленных отраслей-лидеров являются также отраслями потенциального применения солнечных коллекторов (химическое и нефтехимическое производство).

Рис. 7. Отрасли промышленности – лидеры по потреблению тепловой энергии в Краснодарском крае

Источник: составлено автором по данным [16].

Однако даже если оценивать потенциал энергосбережения при внедрении солнечных коллекторов только по предприятиям пищевой промышленности, получим приблизительную оценку в 2 612 тыс. Гкал в год (подробные расчеты приведены в табл. 4). Учитывая, что общий объем производимой в последние годы в крае тепловой энергии составляет около 15700 тыс. Гкал в год (например, в 2017 году 4 теплоэлектростанциями и 2848 котельными в крае было произведено всего 15711,7 тыс. Гкал тепловой энергии [17]), то потенциал энергосбережения при внедрении промышленных солнечных коллекторов только на предприятиях пищевой промышленности может составить 16-17% от всего объема производимой в крае тепловой энергии ежегодно.

Таблица 4

Оценка потребления тепловой энергии предприятиями пищевой промышленности Краснодарского края.

Вид производства	Удельный расход тепловой энергии, тыс. ккал на тонну/тыс. дк) ¹	Объем производства, тыс. тонн /тыс. дк ²	Общие затраты тепловой энергии, тыс. ккал
Сахар из сахарной свеклы	1376,3	1505,2	2071606760
Хлеб и хлебобулочные изделия	285,7	303,4	86681380
Молоко	250	309,5	77375000
Сыр и сырные продукты	752	65	48880000
Масло растительное	348	512	178176000
Масло сливочное	1365,6	10,1	13792560
Алкоголь	1539,4	17870,5	27509847,7
Пиво	2156,9	20200	43569380
Мясо	155,7	76,6	11926620
Колбасные изделия	351,9	65,2	22943880
Комбикорма	30,3	975,7	29563710
Всего			2612025138

Источник: расчеты автора.

Выводы

Рынок промышленных солнечных коллекторов является быстрорастущим сегментом мирового рынка технологий ВИЭ, развивающимся в настоящее время практически без каких-либо мер государственной поддержки, только за счет рыночных механизмов. Это свидетельствует о коммерческой привлекательности технологии, особенно в странах с высоким уровнем солнечной инсоляции и хорошо развитыми производствами, ха-

¹ По данным Федеральной службы государственной статистики http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/economydevelopment/#.

² По данным источника [13].

рактизирующимися сезонностью и существенной долей низкотемпературных процессов. Для южных регионов России использование промышленных солнечных коллекторов может рассматриваться как коммерчески обоснованная альтернатива строительству новых котельных и теплотрасс, в случае создания новых предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции в районах со слаборазвитой инфраструктурой. Кроме того, развитие промышленных солнечных коллекторов можно рассматривать как способ снижения углеродоемкости экономики [17] и увеличения доли ВИЭ в энергобалансе страны.

Литература

1. Renewable Energy Policies in a Time of Transition. IRENA, OCED/IEA and REN21. 2018. 112 P.
2. Energy Efficiency Market Report 2017. OECD/IEA, Paris. 2017. 142 p.
3. Schmitt B. Classification of industrial heat consumers for integration of solar heat. *Energy Procedia*, 2016. Vol. 91, PP. 650-660.
4. Бутузов В.В. Солнечное теплоснабжение: статистика мирового рынка и особенности российского опыта // *Теплоэнергетика*. 2018. № 10. С. 78-88.
5. Бутузов В.А., Брянцева Е.В., Бутузов В.В., Гнатюк И.С. Мировой рынок гелиоустановок и перспективы солнечного теплоснабжения в России // *Энергосбережение*. 2016. № 3. С. 70-80.
6. Schramm S., Adam M. Storage in solar process heat applications // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 48. P. 1202-1209.
7. Farjana S.H., Huda N., Mahmud M.A.P., Saidur R. Solar process heat in industrial systems – Aglobalreview // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. No. 83(P3). PP. 2270-2286.
8. Weiss W., Spörk-Dür M. Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2017. AEE – Institute for Sustainable Technologies, Gleisdorf, Austria. 2018. 97 p.
9. Chang K.C., Lin W.M., Leu T.S., Chung K.M. Perspectives for solar thermal applications in Taiwan // *Energy Policy*. 2016. Vol. 94. P. 25-28.
10. Suresh N.S., Badri S. Rao. Solar Energy for Process Heating: a Case Study of Select Indian Industries // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 151. P. 439-451.
11. Ратнер С.В., Нижегородцев Р.М. Развитие технологий солнечных коллекторов в России и мире // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2017. № 7. С. 24-33.
12. Ueckerdt F., Hirth L., Luderer G., Edenhofer O. System LCOE: What are the costs of variable renewables? // *Energy*. 2013. Vol. 63. P. 61-75.
13. Reichenberg L., Hedenus F., Odenberger M., Johnsson F. The marginal system LCOE of variable renewables – Evaluating high penetration levels of wind and solar in Europe // *Energy*. 2018. Vol. 152. P. 914-924.
14. Клименко В.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Парижская конференция по климату – поворотный пункт в истории мировой энергетики // *Доклады Академии наук*. 2016. Т. 468. № 5. С. 521.
15. Клименко В.В., Клименко А.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Избежать потепления на 2°C – миссия невыполнима // *Теплоэнергетика*. 2016. № 9. С. 3-8.
16. Краснодарский край в цифрах, 2016. Статистический сборник. Федеральная служба государственной статистики. – Краснодар, 2017. 320 с.
17. Ратнер С.В., Иосифов В.В., Ратнер М.Д. Оптимизация региональной энергетической системы с высоким потенциалом использования биоотходов и биоресурсов как ис-

точников энергии по эколого-экономическим параметрам (на примере Краснодарского края) // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 18. Вып. 12. С. 2383-2398.

18. Kylili A., Fokaides P.A., Loannides A., Kalogirou S. Environmental assessment of solar thermal systems for the industrial sector // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 176. P. 99-109.

Поступила в редакцию

15.08.2019

Ратнер Светлана Валерьевна – доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экономической динамики и управления инновациями Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия.

Ratner Svetlana V. – Doctor of Economics, Leading Researcher in Economic Dynamics and Innovation Management Laboratory, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences Russia, Moscow, Russia.

Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65
65, Profsoyuznaya str., Moscow, 117997, Russia
e-mail: lanarat@ipu.ru