

УДК 621.311

UDC 621.311

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО  
АГРОЛЕСОВОДСТВЕННОГО  
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

**ENERGY SUPPLY SYSTEM OF THE  
TERRITORIAL AGRICULTURAL AND  
SILVICULTURAL BIO-ENERGY SECTOR**

Медяков Андрей Андреевич  
к.т.н.

Medyakov Andrei Andreevich  
Cand.Tech.Sci.

Онучин Евгений Михайлович  
к.т.н., доцент

Onychin Evgeny Mihailovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Каменских Александр Дмитриевич  
аспирант

Kamenskih Aleksandr Dmitrievich  
aspirant

Анисимов Павел Николаевич  
аспирант  
*Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Anisimov Pavel Nikolaevich  
aspirant  
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,  
Russia*

В статье рассмотрены особенности организации энергоснабжения территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса. Представлены технические решения энергетических комплексов, позволяющих повысить эффективность использования топлива и предназначенных для утилизации биомассы

The article describes the characteristics of the organization of energy supply of the territorial agricultural and silvicultural bioenergy sector. It also presents the technical solutions of energy systems that improve fuel efficiency and intended for the utilization of biomass

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ  
КОТЕЛЬНАЯ, ГЕНЕРАТОР СТИРЛИНГА, АБТН,  
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Keywords: CATALYTIC THERMAL PLANT,  
GENERATOR STIRLING, ABTN, TECHNICAL  
DECISIONS

***Введение***

Всестороннее и многоплановое развитие энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии, является приоритетным направлением технологического и социально-экономического развития России. Роль лесной биоэнергетики, основанной на энергетическом использовании биомассы древесных растений, в контексте решения данной задачи для условий нашей страны невозможно переоценить. В глобальном мире конкурентоспособность страны полностью зависит от того, насколько эффективно будут использованы все имеющиеся в её распоряжении природные ресурсы. Одним из важнейших природных ресурсов России является её территория. Однако географическое положение накладывает весьма жёсткие ограничения на хозяйственное использование

подавляющего большинства природных территорий. Современное конкурентоспособное сельское хозяйство практически невозможно на огромных территориях зоны рискованного земледелия, что привело к забрасыванию этих земель. Однако, несмотря на их относительно низкую биопродуктивность на заброшенных сельскохозяйственных землях в зоне хвойно-широколиственных лесов, сразу же начался процесс формирования лесов, и за последние 15...20 лет сформировались устойчивые лесные массивы молодняков. С хозяйственной точки зрения на выращивание этой биомассы не было совершено никаких затрат и она в полной мере может быть отнесена к природным ресурсам, а именно к возобновляемым источникам энергии. Данный природный процесс более чем целесообразно положить в основу модели экономической деятельности на этих территориях, основанной на производстве энергии из биомассы в рамках территориальных агролесоводственных биоэнергетических комплексов (ТАЛБЭК).

В результате обзора ряда аналитических статей и научных работ о теплопроизводящем оборудовании [1-4] сделаны выводы о том, что использование каталитических котлов вместо установок традиционного сжигания позволяет повысить эффективность и экологическую безопасность производства тепловой энергии из сжигаемого топлива.

В результате обзора ряда аналитических статей и научных работ о энергогенерирующем оборудовании и двигателях Стирлинга [5-15] можно заключить о том, что использование генераторов электрической энергии на основе двигателя Стирлинга вместо турбинных и поршневых установок позволяет повысить эффективность и упростить технологию производства электрической энергии из сжигаемого топлива.

В результате обзора охладительного оборудования, используемого при производстве пеллет, и тепловых насосов [16-19] можно сделать вывод о том, что использование абсорбционных бромисто-литиевых тепловых

насосов вместо воздушных охладителей и градирен позволяет повысить эффективность технологии производства биотоплива за счет использования низкопотенциального сбросного тепла.

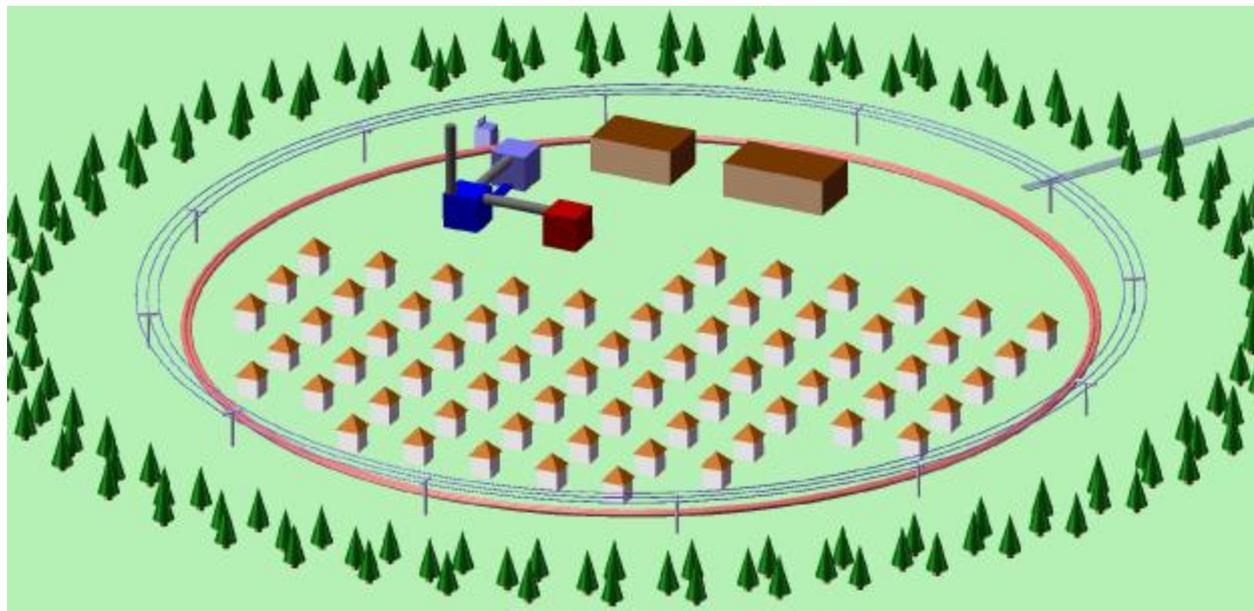
### *Энергосистемный уровень ТАЛБЭК*

В рамках энергосистемного уровня территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса предусмотрено использование наиболее эффективных и перспективных технологий производства энергии. Для генерации тепловой энергии предусмотрено использование каталитических теплофикационных установок, позволяющих повысить энергетическую и экологическую эффективность сжигания топлива. Для генерации электрической энергии предусмотрено использование Стирлинг-когенерационных установок, позволяющих повысить электрический КПД установок и использовать в качестве топлива - щепу и пеллеты. Для охлаждения в технологическом цикле предусмотрено использование абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса, который позволяет использовать низкопотенциальную теплоту для обогрева на производстве или в коммунально-бытовом секторе.

Однако применение рассмотренных технических устройств для производства энергии совместно позволяет использовать как преимущества каждого из устройств по отдельности, так и в рамках комплекса. В частности при использовании теплоты сжигаемого топлива для производства электрической и тепловой энергии образуется значительное количество дымовых газов, которые удаляют в атмосферу. Однако использование теплового насоса позволяет утилизировать теплоту дымовых газов вплоть до их конденсации, что позволяет повысить эффективность сжигания топлива в рамках энергогенерирующего комплекса. Так же для эффективной работы Стирлинг-когенерационной

<http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/18.pdf>

установки необходимо осуществлять постоянное охлаждение его рабочего тела. Тем самым теплонасосная установка может быть использована так же для повышения эффективности работы Стирлинг-когенерационной установки.



**Рисунок 1 – Общий вид энергетической системы ТАЛБЭЖ**

Общий вид энергетической системы ТАЛБЭЖ приведен на рисунке 1. Система представляет собой энергогенерирующий комплекс, состоящий из генерирующих и утилизирующих установок, который подключен с помощью линий электропередач и трубопроводов к потребителям.

Подобный энергогенерирующий комплекс ТАЛБЭЖ, расположенный в непосредственной близости от производства, позволяет оптимизировать технологические процессы. В частности использование дымовых газов генерирующих установок для сушки сырой щепы на производстве позволяет снизить потери с уходящими газами и повысить эффективность производства, а так же использование теплонасосной установки для охлаждения готовой продукции позволяет повысить энергетическую эффективность и пожарную безопасность.

Таким образом, совместное использование генерирующих и утилизирующих установок в совокупности с оптимизацией

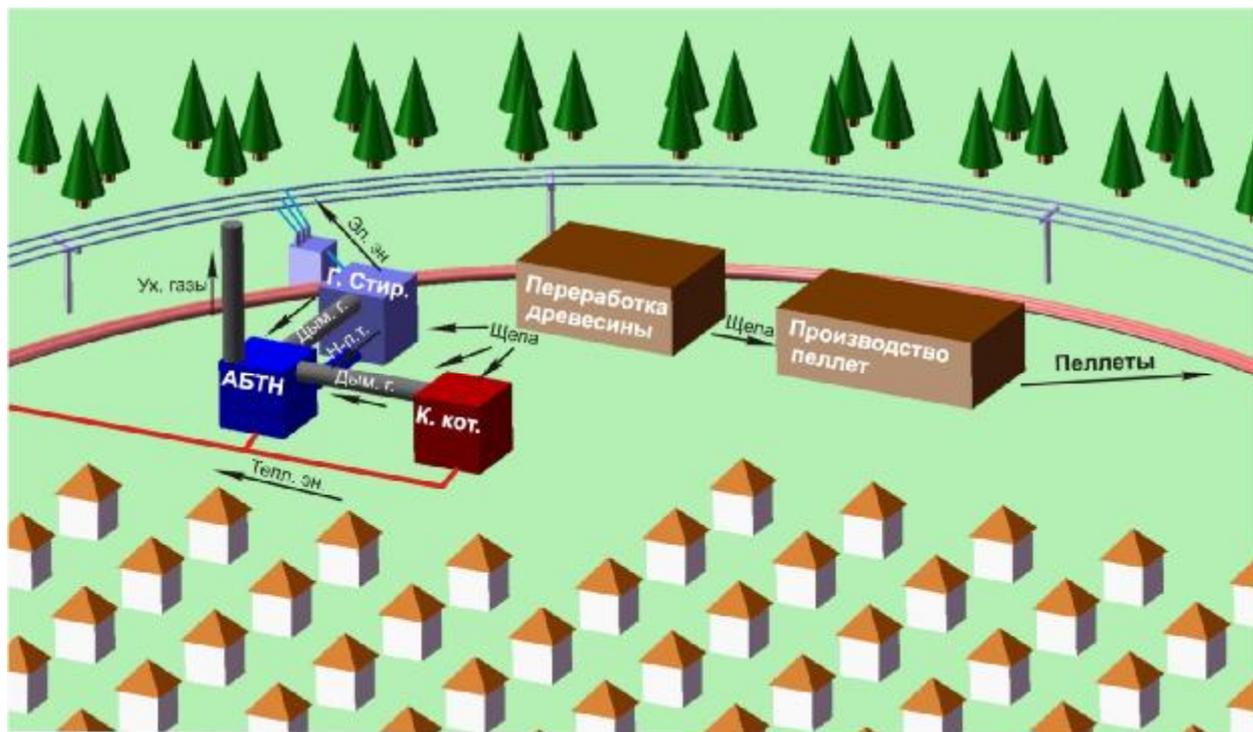
технологического процесса позволяет повысить эффективность всего комплекса за счет исключения необоснованных тепловых потерь, в том числе низкопотенциального тепла.

### *Новые технические решения*

В рамках выбранных направлений разработки энергетической системы ТАЛБЭК предложен ряд схемно-конструктивных решений. Для их разработки были выбраны два подхода, связанные с комплексным использованием генерирующих и утилизирующих установок и с оптимизацией технологических процессов производства.

На рисунке 2 приведен общий вид энергетической системы ТАЛБЭК, в рамках которой организована комплексная генерация и утилизация энергии. При этом производственный участок ТАЛБЭК получает всю необходимую ему электрическую и тепловую энергию через централизованные системы транспортирования и передачи.

В рамках системы основная генерация электрической энергии осуществляется в Стрилинг-когенерационной установке (Г. Стир.) и тепловой энергии в каталитической котельной (К. кот.), которая непосредственно подается в распределительные сети. При этом дымовые газы с обеих установок подаются в абсорбционный бромистолитиевый тепловой насос (АБТН), где происходит их конденсация с утилизацией теплоты. Также при работе Стрилинг-когенерационной установки используется охлаждающая жидкость, которая циркулирует через АБТН и отдает там низкопотенциальную теплоту. В результате утилизации теплоты АБТН вырабатывает тепловую энергию, которая подается в распределительную сеть. При этом генерирующие и утилизирующие установки работают на промежуточном продукте производства – сухой древесной щепе, поступающей непосредственно с участка переработки древесины.



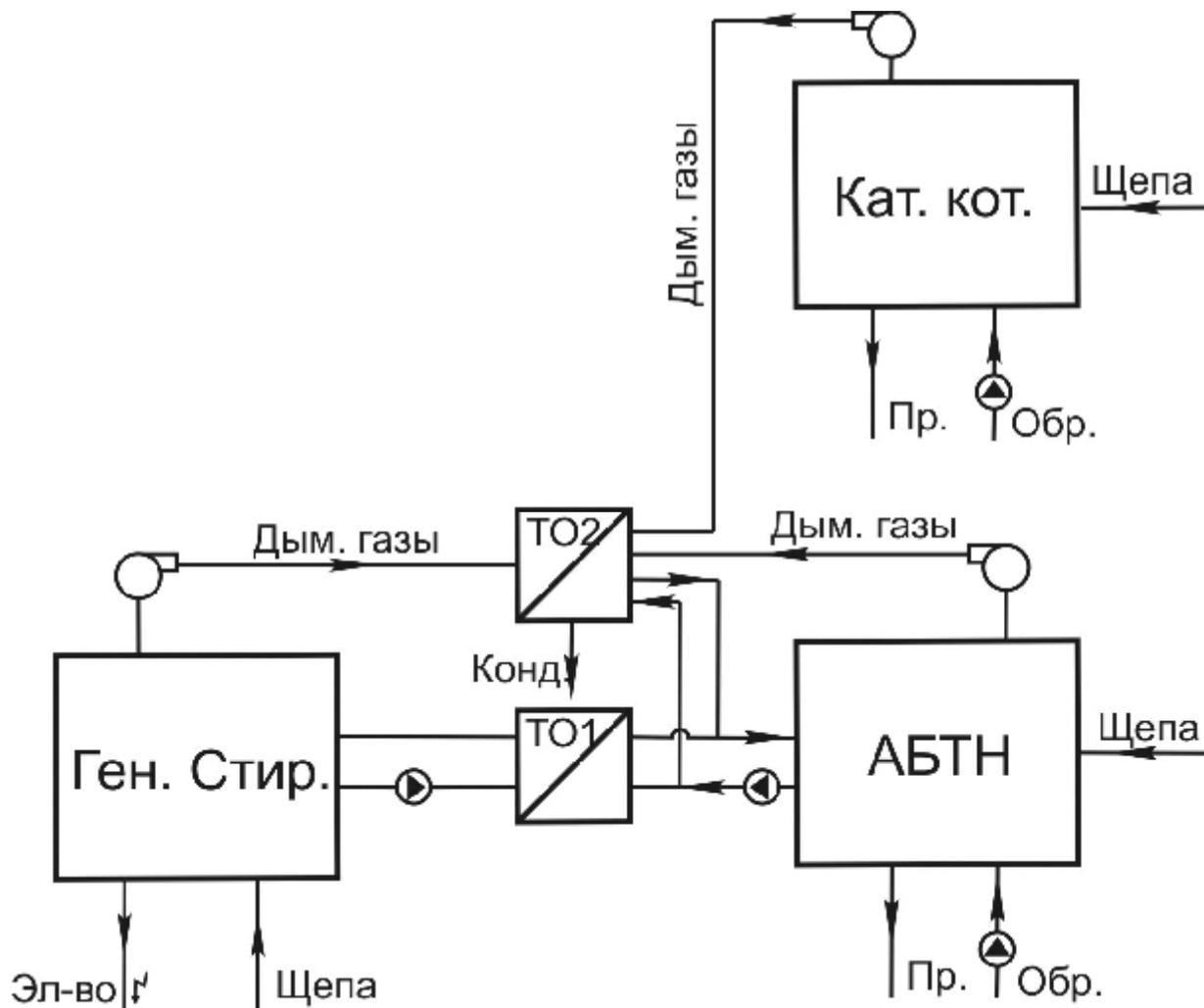
**Рисунок 2 – Общий вид энергетической системы ТАЛБЭЖ с комплексной генерацией и утилизацией энергии**

Система отличается упрощенной конструкцией в совокупности с повышенным уровнем энергоэффективности.

На рисунке 3 представлена схема описанной энергетической системы ТАЛБЭЖ с комплексной генерацией и утилизацией энергии.

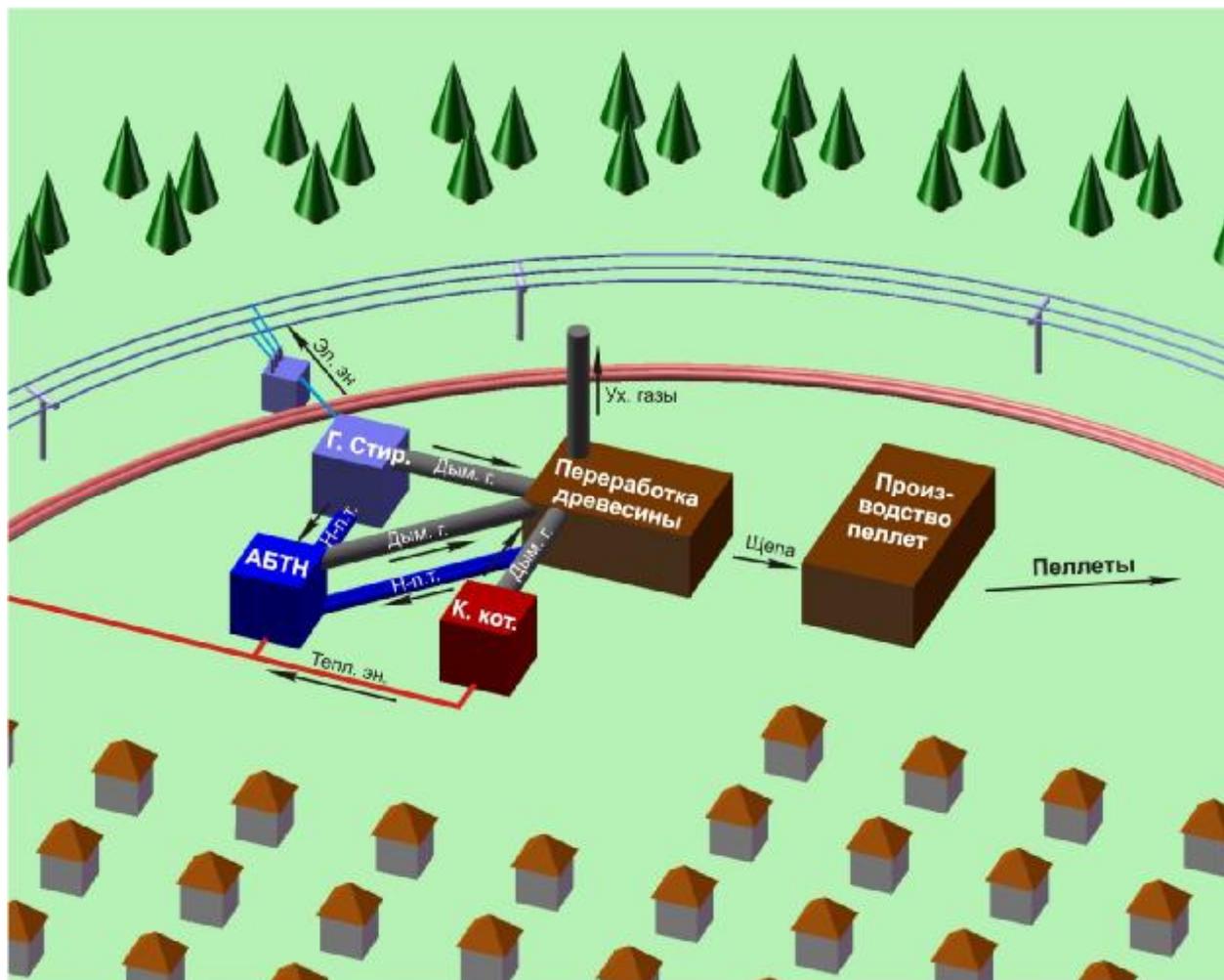
На схеме приведен вариант исполнения системы, позволяющий объединить индивидуальные установки в комплекс. Каждая установка для своего функционирования использует твердое топливо – древесную щепу, при этом производит подаваемую в сеть энергию: генератор Стирлинга – электричество (Эл-во) через линии электропередачи, каталитическая котельная и абсорбционный тепловой насос – тепловую энергию через прямой (Пр.) и обратный (Обр.) трубопроводы. При этом абсорбционный тепловой насос осуществляет охлаждение циркулирующей через генератор Стирлинга жидкости по средством водо-водяного теплообменника ТО1. А также вырабатываемые в процессе работы установок дымовые газы направляются с помощью дымососов в теплообменник ТО2, где

осуществляется утилизация их теплоты абсорбционным тепловым насосом с образованием конденсата дымовых газов.



**Рисунок 3 – Схема энергетической системы ТАЛБЭК с комплексной генерацией и утилизацией энергии**

На рисунке 4 приведен общий вид энергетической системы ТАЛБЭК, в рамках которой организована как комплексная генерация и утилизация энергии, так и оптимизация технологических процессов производства. При этом производственный участок ТАЛБЭК получает часть необходимой ему тепловой энергии непосредственно от генерирующих установок, остальную тепловую энергию и необходимую электрическую энергию через централизованные системы транспортирования и передачи. При этом при охлаждении в технологической линии используется абсорбционный тепловой насос.



**Рисунок 4 – Общий вид энергетической системы ТАЛБЭЖ с комплексной генерацией и утилизацией энергии и оптимизацией технологических процессов**

Аналогично в рамках системы основная генерация электрической энергии осуществляется в Стirling-когенерационной установке (Г. Стир.) и тепловой энергии в каталитической котельной (К. кот.), которая непосредственно подается в распределительные сети. Аналогично при работе Стirling-когенерационной установки используется охлаждающая жидкость, которая циркулирует через АБТН и отдает там низкопотенциальную теплоту. Аналогично в результате утилизации теплоты АБТН вырабатывает тепловую энергию, которая подается в распределительную сеть.

Однако при этом дымовые газы со всех установок подаются на участок переработки древесины и используются в процессе сушки. После

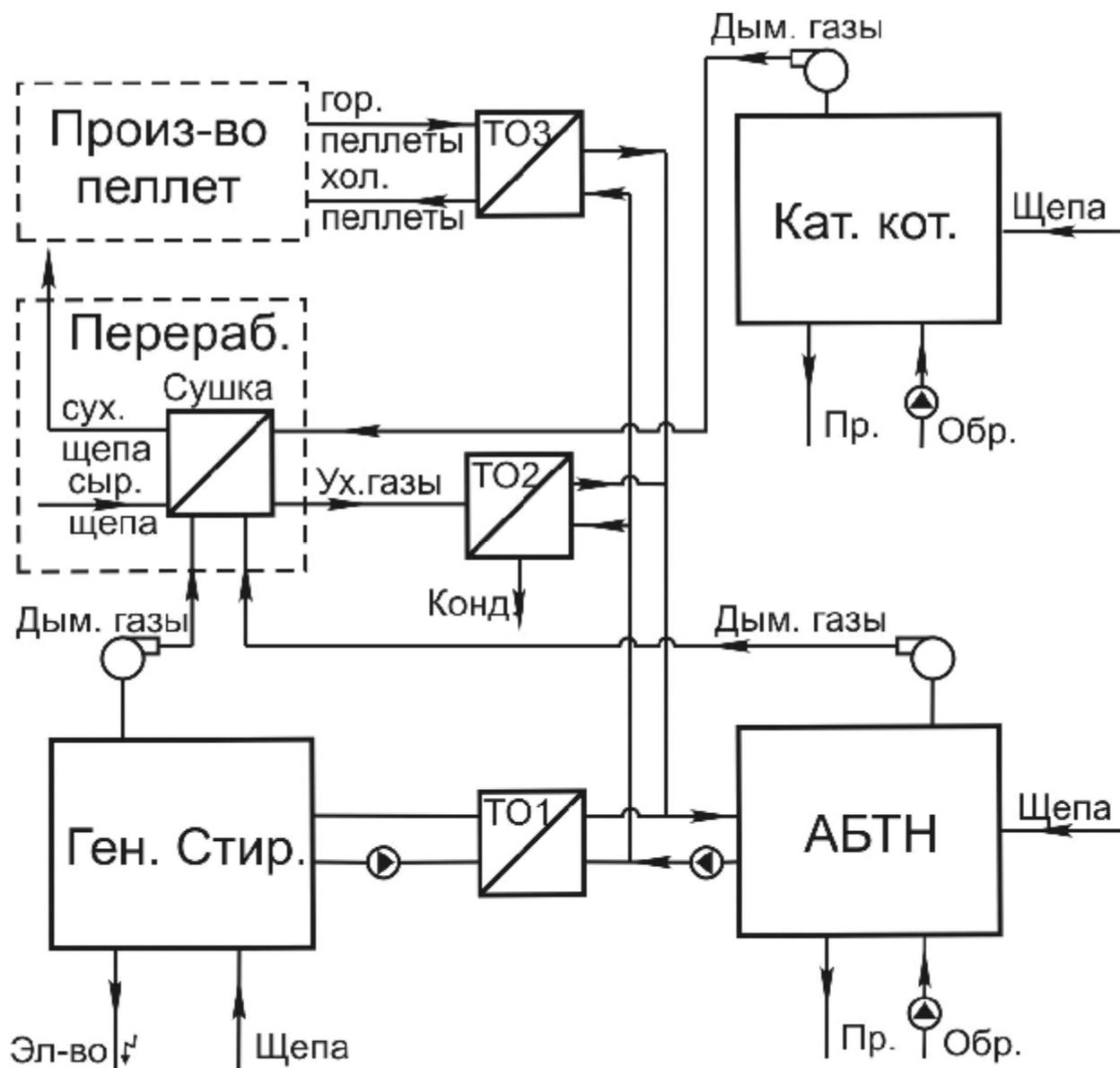
осуществления процесса сушки остаточная низкопотенциальная теплота дымовых газов утилизируется циркулирующей через АБТН охлаждающей жидкостью. Также в рамках технологической линии производства осуществляется охлаждение готовой продукции, теплота от которых так же передается циркулирующей через АБТН охлаждающей жидкости.

Аналогично генерирующие и утилизирующие установки работают на промежуточном продукте производства – сухой древесной щепе, поступающей непосредственно с участка переработки древесины.

Подобная система по сравнению с представленной ранее отличается более сложной конструкцией, однако при этом энергоэффективность всего ТАЛБЭК увеличивается.

На рисунке 5 представлена схема описанной энергетической системы ТАЛБЭК с комплексной генерацией и утилизацией энергии и оптимизацией технологических процессов.

Аналогично предыдущей схеме каждая установка для своего функционирования использует твердое топливо – древесную щепу, при этом производит подаваемую в сеть энергию: генератор Стирлинга – электричество (Эл-во) через линии электропередачи, каталитическая котельная и абсорбционный тепловой насос – тепловую энергию через прямой (Пр.) и обратный (Обр.) трубопроводы. Также абсорбционный тепловой насос осуществляет охлаждение циркулирующей через генератор Стирлинга жидкости по средством водо-водяного теплообменника ТО1.



**Рисунок 5 -- Схема энергетической системы ТАЛБЭК с комплексной генерацией и утилизацией энергии и оптимизацией технологических процессов**

Однако вырабатываемые в процессе работы установок дымовые газы направляются с помощью дымососов в установку сушки щепы на участке переработки. После процесса сушки уходящие газы подаются в теплообменник ТО2, где осуществляется заключительная утилизация их теплоты абсорбционным тепловым насосом с образованием конденсата. Затем полученная на участке производства пеллет готовая продукция поступает в специальный охладитель (ТО3), где осуществляется утилизация их теплоты с помощью теплового насоса.

## **Выводы**

Таким образом, разработанные технические решения энергетической системы территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса позволяют использовать как индивидуальные преимущества наиболее эффективных и перспективных в настоящее время установок генерации и утилизации энергии, так и в рамках комплекса, при этом позволяя осуществлять оптимизацию технологических процессов на производстве.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение № 14.В37.21.0301).

## **Библиографический список**

1. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки / Д. Бойлс, под ред. Е. А. Бирюковой. – М.: Агропромиздат, 1987. – 152с.]
2. Лукьянов Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов, В. А. Куликов, В. Б. Шигаров, М. М. Данилова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – с. 667 – 677
3. Каталитические теплогенераторы Серия КТГ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.enerob.ru/img/Buklet/Buklet.pdf>, свободный.
4. Котельные на базе каталитических теплофикационных установок [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://ts-s.ru/upload/buklet/kotelnye\\_na\\_baze\\_KTU.pdf](http://ts-s.ru/upload/buklet/kotelnye_na_baze_KTU.pdf), свободный.
5. Автономные электростанции – выбор – практические рекомендации [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.manbw.ru/analytics/autonomous-station-choice.html>, свободный.
6. Газотурбинные установки — ГТУ [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.manbw.ru/analytics/gas-turbine\\_units\\_power\\_station\\_power\\_plant.html](http://www.manbw.ru/analytics/gas-turbine_units_power_station_power_plant.html), свободный.
7. Газопоршневые электростанции (ГПЭС–ГПУ) [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.manbw.ru/analytics/gazoporshnevy\\_elektrostantsii\\_GPES.html](http://www.manbw.ru/analytics/gazoporshnevy_elektrostantsii_GPES.html), свободный.
8. Производители оборудования электростанций по типам [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://manbw.ru/analytics/ind\\_manufactures-type.html](http://manbw.ru/analytics/ind_manufactures-type.html), свободный.
9. Панченко В.А. Термодинамическое преобразование возобновляемой энергии посредством двигателя Стирлинга. Ч.1/ Панченко В.А./ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.akw-mag.ru/content/view/104/35/>, свободный.

10. Панченко В.А. Термодинамическое преобразование возобновляемой энергии посредством двигателя Стирлинга. Ч.2/ Панченко В.А./ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.akw-mag.ru/content/view/118/35/>, свободный.

11. Installation manual Whispergen MkVb [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.whispergen.com/content/library/WP503702900\\_UK\\_INSTALL.pdf](http://www.whispergen.com/content/library/WP503702900_UK_INSTALL.pdf), свободный.

12. Clucas D. M. Development of a hermetically sealed Stirling engine battery charger / Clucas D. M., Raine J. K. // Proc Instn Mech Engrs. – 1994. – Vol.208. – p. 357 - 366.

13. Редько И. Я Способ повышения эффективности первичного двигателя утилизационной стирлинг-электрической установки / Редько И. Я., Романов В. А., Кукис В. С., Малозёмов А. А. // Горный журнал. – 2010. - №4.

14. Шуховцев, В. В Повышение эффективности утилизационных стирлинг-электрических установок путем совершенствования системы подвода теплоты: дис... канд. техн. наук : 05.04.02/ Шуховцев Владимир Васильевич – Челябинск, 2006. - 169 с.

15. Рыбалко, А. И. Расчетно-экспериментальное исследование процессов в двигателе стирлинга, предназначенном для утилизации бросовой теплоты: дис... канд. техн. наук : 05.04.02 / Рыбалко Андрей Иванович - Новосибирск, 2011. - 192 с.

16. Охладитель гранул жалюзийный, 1 т/час - Спико [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.sp-co.ru/catalog/ohladitel\\_granul/35/](http://www.sp-co.ru/catalog/ohladitel_granul/35/), свободный.

17. Охладитель гранул ОКТ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.dozagran.com/ru/catalog/grancooler>, свободный.

18. Институт теплофизики СО РАН, ООО "Теплосибмаш" Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.sbras.ru/ES/teplonasos.htm>, свободный.

19. Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы ТЕПЛОСИБМАШ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.teplosibmash.ru/catalog/id/7/>, свободный.