



Строительные материалы и изделия
Construction Materials and Products

ISSN
2618-7183

journal homepage: <https://bstu-journals.ru>

DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-58-68



Эксергетический анализ отопительного режима тригенерационного энергокомплекса на базе нового трансформатора теплоты

Папин В.В.* ¹, Безуглов Р.В. ¹

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Россия

*Ответственный автор E-mail: vladimir_papin@bk.ru

Аннотация: в статье анализируется с энергетической и эксергетической позиций тригенерационный энергокомплекс, разработанный авторами и состоящий из двух основных блоков: теплового двигателя и нового трансформатора теплоты, дополнительно имеющий генератор для выработки электроэнергии на собственные нужды. Основным преимуществом данного энергокомплекса является сокращение потребления топлива в отопительном режиме. Делается акцент именно на тепловой эффективности установки и ее термодинамических параметрах.

Исследуемый энергокомплекс работает на органическом топливе, а также использует возобновляемые источники энергии (тепловой насос на органическом топливе) и позволяет получать значение коэффициента энергетической эффективности от полутора до более трех в отопительном режиме. На основе анализа энергетической эффективности, посчитанной методом тепловых балансов, авторами проведен эксергетический анализ. Были рассмотрены различные варианты включения механического и теплового компрессоров парокомпрессионного и абсорбционного насосов, такие как последовательный, параллельный и смешанный. Для каждой вариации будут различные условия работы, эффективность и различное применение источника теплоты и механической энергии

В результате проведенного расчетного анализа сделан вывод о том, что при достаточно высоком коэффициенте энергетической эффективности в отопительном режиме, энергокомплекс также имеет еще и большой потенциал для его дополнительного увеличения. Кроме того, энергокомплекс производит холод в теплый сезон и не нуждается в подключении к сетям электропитания. А недостаточно высокие значения эксергетического КПД говорят о несовершенстве термодинамической системы и ее потенциале дальнейшего улучшения и повышения коэффициента энергетической эффективности.

Ключевые слова: тригенерационные установки, возобновляемые источники энергии, парокомпрессионный тепловой насос, абсорбционный тепловой насос, эксергия

Для цитирования: Папин В.В., Безуглов Р.В. Эксергетический анализ отопительного режима тригенерационного энергокомплекса на базе нового трансформатора теплоты // Строительные материалы и изделия. 2023. Том 6. № 4. С. 58 – 68. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-58-68

The Exergy Analysis of the Heating Mode of a Trigeneration Energy Complex Based on a New Heat Transformer

Papin V.V.*¹ , Bezuglov R.V.¹ 

¹ Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Russia

*Corresponding author E-mail: vladimir_papin@bk.ru

Abstract: the article analyzes from energy and exergy positions the trigeneration power complex, developed by the authors and consisting of two main units: a heat engine and a new heat transformer, additionally having a generator for generating electricity for own needs. The main advantage of this energy complex is the reduction of fuel consumption in the heating mode. The emphasis is on the thermal efficiency of the installation and its thermodynamic parameters.

The energy complex under study operates on organic fuel as well as using renewable energy sources (heat pump on organic fuel) and allows obtaining the value of the coefficient of energy efficiency from one and a half to more than three in the heating mode. Based on the analysis of energy efficiency calculated by the method of thermal balances, the authors conducted an exergetic analysis. Different variants of inclusion of mechanical and heat compressors of steam-compression and absorption pumps, such as serial, parallel and mixed, were considered. For each variation, there will be different working conditions, efficiency and different use of a source of heat and mechanical energy

As a result of the calculation analysis it was concluded that at a sufficiently high coefficient of energy efficiency in the heating mode, the energy complex also has a large potential for its additional increase. In addition, the energy complex produces cold in the warm season and does not need to be connected to the power supply networks. And insufficiently high values of exergy efficiency indicate the imperfection of the thermodynamic system and its potential for further improvement and increase of the energy efficiency coefficient.

Keywords: trigeneration plants, renewable energy sources, steam-compression heat pump, absorption heat pump, exergy

Please cite this article as: Papin V.V., Bezuglov R.V. The Exergy Analysis of the Heating Mode of a Trigeneration Energy Complex Based on a New Heat Transformer. Construction materials and products. 2023. 6 (4.) P. 58 – 68. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-58-68

ВВЕДЕНИЕ

Коллективом авторов разработан энергокомплекс, позволяющий использовать органическое топливо совместно с низкопотенциальными источниками теплоты для производства тепла, холода и электроэнергии [1-3]. Разработка представляет собой тепловой насос на органическом топливе с выработкой электроэнергии на собственные нужды. Его основным преимуществом является сокращение потребления топлива в отопительном режиме в 1,5-3 раз (и более) по сравнению с аналогами.

В представленной работе предлагается модернизация технологии применения тепловых насосов для получения теплоты и холода за счет использования органического топлива. Другими словами, предлагается «котел» (энергетический комплекс), использующий органическое топливо, как и аналоги, но дополнительно использующий низкопотенциальные источники энергии, за счет чего сокращается потребление топлива в 1,5-3 раза по сравнению с аналогами. Теплоэнергокомплекс (рис. 1) состоит из двух основных блоков: тепловой двигатель (ДВС) и новый трансформатор теплоты (НТТ) [4].

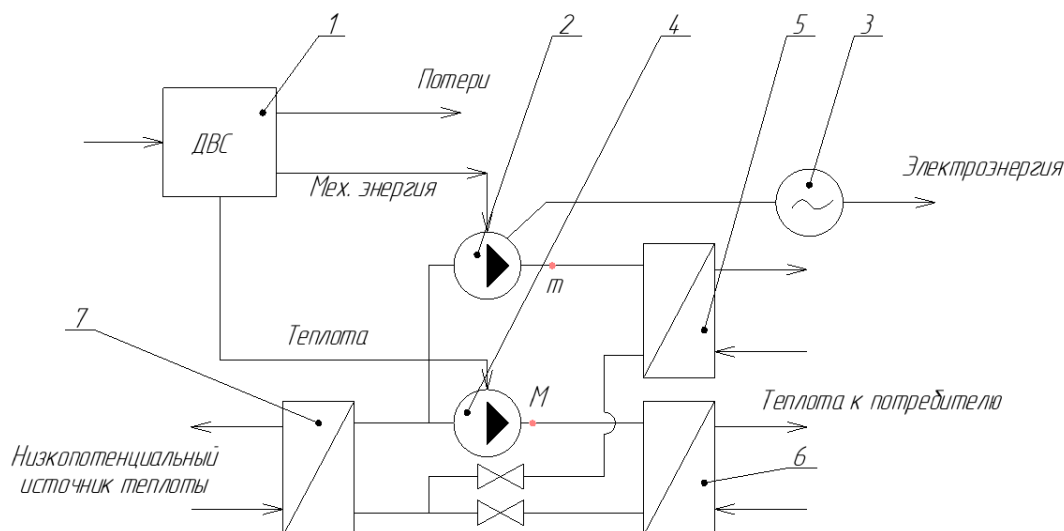


Рис. 1. Тригенерационный энергокомплекс на базе нового трансформатора теплоты:

1 – тепловой двигатель, 2 – условно обозначенный тепловой компрессор (абсорбер и генератор пара АТН), 3 – электрогенератор, 4 – механический компрессор, 5 – конденсатор условного абсорбционного контура, 6 – конденсатор условного парокompрессионного контура, 7 – испаритель

Fig. 1. Trigeneration power complex based on a new heat transformer: 1 – heat engine, 2 – conditional heat compressor (absorber and steam generator АТН), 3 – electric generator, 4 – mechanical compressor, 5 – condenser of conditional absorption circuit, 6 – condenser of conditional steam compression circuit, 7 – evaporator

НТТ объединяет в одном термодинамическом контуре механический и тепловой компрессоры, получая одновременно преимущества известных парокompрессионных и абсорбционных трансформаторов. Механический компрессор приводится валом ДВС, а тепловой – теплотой рубашки охлаждения ДВС и теплотой его дымовых газов. За счет использования низкопотенциальных источников энергии это позволяет получать значение коэффициента энергетической эффективности (отношение полученной полезной теплоты к подведенной теплоте топлива) K больше единицы. Значение K может составлять 1,5-3 и более. Также незначительная часть механической энергии отводится на выработку электрической энергии для собственных нужд установки, с возможностью выдачи ее потребителю, однако в данной работе делается акцент именно на тепловой эффективности установки и ее термодинамических параметрах.

Для повышения компактности конструкции и сокращения тепловых потерь парокompрессионный (ПКТН) и абсорбционный (АТН) тепловые насосы объединяются в один контур с единым испарителем. Такое объединение дает вариации включения механического и «теплого» компрессоров: последовательно, параллельно и смешано. В последовательном соединении есть возможность ставить вначале либо механический, либо «тепловой компрессоры», в параллельной схеме есть возможность организовать ее с общим конденсатором и отдельными конденсаторами. Такое комбинированное решение назвали новым трансформатором теплоты. Для каждой вариации будут различные условия работы, различная эффективность и различное применение источника теплоты и механической энергии: только тепловой двигатель, тепловой двигатель с котлом. Совокупность НТТ с источником энергии назвали теплоэнергетическим комплексом.

Разрабатываемый комплекс является тригенерационным, так как рассчитан на выработку трех видов энергии: тепло, холод, электроэнергия. Общая мощность тригенерации составляет 17300 Вт, а доли видов энергии: 0,578/0,404/0,017 тепло/холод/электроэнергия, соответственно. У различных установок различные задачи, те, которые преследуют выработку электроэнергии в первую очередь работают по электрическому графику нагрузки, однако есть и те, которые работают по тепловому. Основной задачей нашей же установки – автономное теплоснабжение,

поэтому доля вырабатываемой в процессе ее работы электроэнергии минимальна – собственные нужды (300 Вт), при тепловой мощности 10 кВт. Холодопроизводительность определяется энергетическим балансом, по мощности испарителя, и для режима с коэффициентом энергетической эффективности $K=3$, мощность испарителя и соответственно холодильная мощность установки составит 7 кВт. Возможность ее включения в данном режиме мы рассматриваем больше как опциональную. Источника энергии у установки только два – топливо и низкопотенциальная теплота. Данная установка может встраиваться в существующую систему теплоснабжения взамен котельному оборудованию и может использоваться с радиаторами, теплыми полами и фанкойлами в отопительный период. В летний период когда требуется холодоснабжение, производится переключение испарителя установки с низкопотенциального источника на систему холодоснабжения, рекомендуется на базе фанкойлов, а отвод теплоты производить можно в окружающую среду через специальные радиаторы, в том числе для подогрева бассейнов. Выработка же электроэнергии на собственные нужды при этом не претерпевает изменений. Таким образом учитывается сезонность работы энергокомплекса.

Проанализированы следующие российские [5, 6] и зарубежные источники [7-15] (патенты и публикации). Из проведенного анализа следуют нижеприведенные выводы. Наша разработка имеет существенные отличия от имеющихся аналогов. Большинство рассмотренных схем имеет отдельные контуры, что снижает технологичность изготовления установки, повышает массогабаритные показатели и снижает термодинамическую эффективность за счет большего количества элементов, которые повышают суммарные потери на каждом из них, по сравнению с объединенным контуром. Большая часть оставшихся схем предназначены для выработки холода, что имеет другую специфику, температуры источника и приемника, это отражается на схеме, режиме работы, энергетическом и эксергетическом балансах и не совпадает с решаемыми в данном исследовании задачами. Небольшой процент из рассмотренных схем, только зарубежных источников, имеют действительно похожую структуру и предназначение, но главным и ключевым отличием является то, что они не адаптированы для работы с тепловым двигателем в составе энергокомплекса, что является целью, для сокращения первичного топлива при производстве теплоты. Эти аналоги рассмотрены как теоретические случаи без привязки к конкретному процессу. Другими словами, есть балансовое соотношение получаемых тепловой и механической энергии от двигателя, которые нужно максимально эффективно воспринять механическим и тепловым компрессорами, для этого необходимо иметь модель распределения потоков мощностей, которая определяет схему соединения данных компрессоров, их мощности и температурный режим работы трансформатора теплоты. Дополнительным преимущественным отличием нашего трансформатора теплоты (ведется процедура патентования объекта интеллектуальной собственности) является возможность дополнительного включения сепаратора теплоты в виде вихревой трубы, в данной статье она во внимание при расчетах не берется.

Конечный продукт в виде энергокомплекса на базе НТТ, работающий на органическом топливе и имеющий его расход в 1,5-3 раза ниже, чем котельное оборудование, является уникальным. Подобных схем не встречается ни в отечественных, ни в зарубежных источниках.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Работы по данной тематике ведутся коллективом авторов уже довольно продолжительное время и есть результаты анализа энергетической эффективности различных схем энергокомплекса при различных его режимах, которые составляют очень обширный материал. В данной статье проведен анализ методом тепловых балансов и эксергетический анализ энергокомплекса, приводятся основные результаты и выводы по ним.

Основной метод, применяемый для исследования нового трансформатора теплоты и энергокомплекса на его основе – аппроксимация, то есть замена сложного термодинамического цикла нового трансформатора теплоты на комбинацию простых известных условных циклов. Далее производились исследования энергетической эффективности на основе метода энергетических балансов. После этого оценивалась степень совершенства цикла и возможности его улучшения с применением эксергетического метода, результаты которого и приводятся в данной работе. Эксергетический метод заключается в том, что определенный элемент установки отделяют от

остальных ее элементов условными границами, через которые данный элемент взаимодействует с соседними, и определяют входящие и выходящие через эти границы потоки эксергии. После этого рассчитывают потери и эксергетический КПД данного элемента. В качестве условных границ мы рассмотрели отдельно новый трансформатор теплоты и энергокомплекс в целом.

Допущением, принимаемым в данном теоретическом исследовании, является то, что термодинамические процессы дросселирования идеальны (с постоянной энтальпией). Формулы, отражающие зависимости коэффициентов преобразования нового трансформатора теплоты и коэффициентов эффективности энергокомплекса на базе данных трансформаторов, выводятся при помощи машинных алгоритмов упрощения формул в среде Mathcad.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Основные результаты анализа методом тепловых балансов

Таблица 1. Сравнение энергетической эффективности различных схем энергетического комплекса на базе НТТ, ПКТН, АТН и котла в температурном режиме 10-60 °С

Table 1. Comparison of energy efficiency of various schemes of energy complex on the basis of НТТ, SCT, АТН and boiler in the temperature regime of 10-60 °С

Схема энергокомплекса	Режим работы	Коэффициент энергетической эффективности
Параллельная схема, общий конденсатор	10ПТ60;10АТ60	2,358
Последовательная схема «снизу ПКТН»	10ПТ25АТ60	1,565
Последовательная схема «снизу АТН»	10АТ55ПТ60	1,631
Энергокомплекс на базе только ПКТН	10ПТ60	1,99
Энергокомплекс на базе только АТН	10АТ60	1,65
Котел на том же виде топлива	10К60	0,9

Наиболее эффективной с точки зрения экономии топлива является параллельная схема. При снижении температур до 35 °С, приемлемых для отопления индивидуальных домов и офисных помещений можно поднять энергетическую эффективность до $K=3,8$ и практически в 4 раза экономить топливо по сравнению с котлом. Эффективность последовательной схемы ниже, чем параллельной, поскольку в последовательной схеме соотношение механической и тепловой энергий задается циклом и не совпадает с соотношением теплового двигателя, поэтому невозможно полностью реализовать оптимально всю располагаемую энергию двигателя и приходится добавлять энергию котельной установки. При этом доля механической энергии очень низкая, а именно она и поднимает общую эффективность. Параллельная схема существенно эффективней последовательной. При этом параллельная схема позволяет, при нагреве теплоносителя до 60 °С экономить топливо по сравнению с котлом на том же топливе в 2,5 раза, по сравнению с энергокомплексом на базе только АТН в 1,43 раза, по сравнению с энергокомплексом на базе только ПКТН в 1,2 раза. Если сравнивать экономию по сравнению с тепловым насосом, питаемым от электросети, что не совсем корректно, то экономия первичного топлива в условном выражении составит в 1,8 раз, а экономия денежных средств в зависимости от тарифа может составить в 3-5 раз.

Эксергетический анализ

На основе энергетического анализа, как самую перспективную рассмотрим только параллельную схему с точки зрения эксергетического анализа, хотя коллектив авторов провел такой анализ и для всех вариаций последовательной схемы.

Эксергетический КПД параллельной схемы с общим конденсатором определяется как:

$$\eta_E = \frac{\left(COP_{ПКТН} \cdot \frac{N}{Q_c} + COP_{атн} \right) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}} \right)}{\frac{N}{Q_c} + \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}} \right)}. \quad (1)$$

В схеме с отдельным конденсатором температура отвода теплоты от условного АТН в конденсаторе и абсорбере будет одинакова, но при этом будут отличаться температуры отвода теплоты из конденсатора пара.

Эксергия теплоты от условного контура ПКТН:

$$E_{\kappa.ПКТН} = Q_{\kappa.ПКТН} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}} \right). \quad (2)$$

Эксергия теплоты от условного контура АТН:

$$E_{\kappa.атн} = (Q_{\kappa.атн} + Q_{абс}) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{абс}^{cp}} \right). \quad (3)$$

Например, для режима 10ПТ35;10АТ60: условный ПКТ поднимает температуру газа (хладагента) с 10 °С до 35 °С, а условный АТН с 10 °С до 60 °С. При этом с учетом недогрева в соответствующих теплообменниках теплоносителя, которому передается теплота, средние температуры по теплообменникам будут следующие.

Для конденсатора условного ПКТН $T_{\kappa}^{cp} = 35 - 5 = 30^{\circ}\text{C}$.

Для конденсатора и абсорбера АТН: $T_{абс}^{cp} = 60 - 5 = 55^{\circ}\text{C}$

Эксергетический КПД параллельной схемы с отдельными конденсаторами определится как:

$$\eta_E = \frac{COP_{ПКТН} \cdot \frac{N}{Q_c} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}} \right) + COP_{атн} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{абс}^{cp}} \right)}{\frac{N}{Q_c} + \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}} \right)}. \quad (4)$$

Таблица 2. Параметры режимов работы при различных схемах

Table 2. Parameters of operation modes at different schemes

Режим работы	ΔT [°C]	$COP_{\text{пктн}}$	$COP_{\text{атн}}$	η_e для различных соотношений N/Q_r					
				60/ 40	50/ 50	40/ 60	30/ 70	20/ 80	10/ 90
Общий конденсатор									
10ПТ35;10АТ35	25	8,817	1,781	0,97	0,93	0,89	0,83	0,77	0,68
10ПТ40;10АТ40	30	7,384	1,774	0,83	0,81	0,78	0,74	0,70	0,64
10ПТ45;10АТ45	35	6,36	1,764	0,73	0,72	0,70	0,67	0,64	0,61
10ПТ50;10АТ50	40	5,591	1,745	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	0,58
10ПТ55;10АТ55	45	4,992	1,736	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,56
10ПТ60;10АТ60	50	4,511	1,72	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Раздельные конденсаторы, режим ПКТН постоянный									
10ПТ35;10АТ35	25/25	8,817	1,781	0,39	0,38	0,36	0,34	0,31	26,85
10ПТ35;10АТ40	25/30	8,817	1,774	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35	26,90
10ПТ35;10АТ45	25/35	8,817	1,764	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39	26,95

Продолжение таблицы 2
Continuation of Table 2

10ПТ35;10АТ50	25/40	8,817	1,745	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	27,00
10ПТ35;10АТ55	25/45	8,817	1,736	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	27,05
10ПТ35;10АТ60	25/50	8,817	1,72	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	27,09
Раздельные конденсаторы, режим АТН постоянный									
10ПТ35;10АТ35	25/25	8,817	1,781	0,39	0,38	0,36	0,34	0,31	26,85
10ПТ40;10АТ35	30/25	7,384	1,781	0,43	0,41	0,39	0,36	0,33	22,51
10ПТ45;10АТ35	35/25	6,36	1,781	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	19,42
10ПТ50;10АТ35	40/25	5,591	1,781	0,47	0,44	0,42	0,39	0,35	17,09
10ПТ55;10АТ35	45/25	4,992	1,781	0,48	0,45	0,43	0,39	0,35	15,28
10ПТ60;10АТ35	50/25	4,511	1,781	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	13,82

Приводим пример сравнения эксергетического баланса для параллельной схемы с раздельными конденсаторами, режим 10ПТ35;10АТ60 при соотношении $N / Q_c = 30 / 70$.

Эксергетический анализ энергокомплекса на основе нового трансформатора теплоты.

Эксергетический КПД энергокомплекса на базе параллельной схемы НТТ справедлив и для схемы с общим конденсатором и с раздельными, и определяется как:

$$\eta_E = COP_{ПКТН} \cdot \eta_m \cdot \eta_{пер} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{\kappa}^{cp}}\right) + COP_{атн} \cdot (q_p + q_{c.ДВС}) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{абс}^{cp}}\right). \quad (5)$$

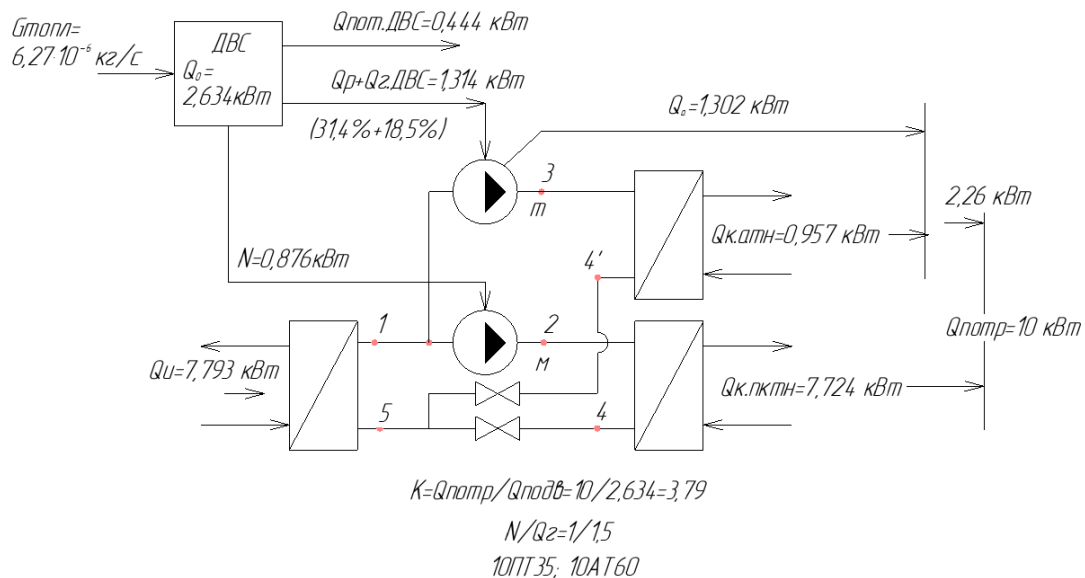


Рис. 2. Тепловой баланс энергокомплекса для параллельной схемы соединения концентраторов теплоты, режим 10ПТ35;10АТ60

Fig. 2. Heat balance of the energy complex for the parallel connection scheme of heat concentrators, mode 10ПТ35;10АТ60

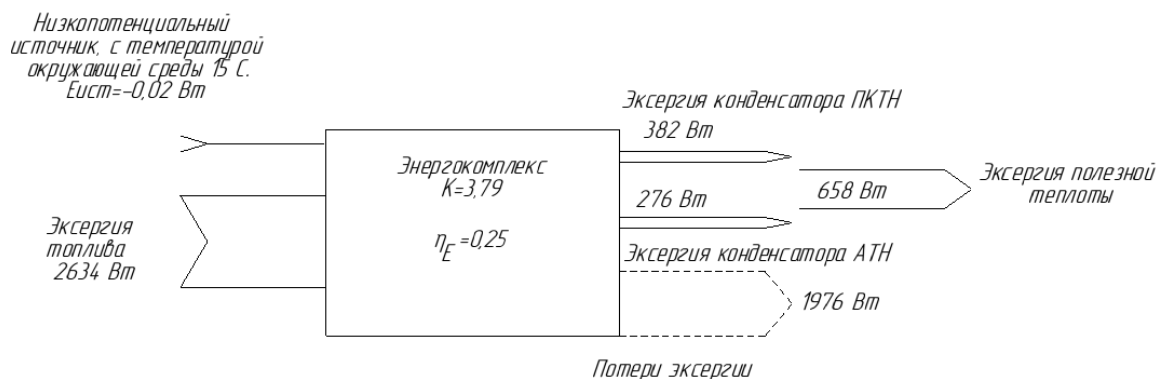


Рис. 3. Эксергетический баланс энергокомплекса для параллельной схемы соединения концентраторов теплоты, режим 10ПТ35;10АТ60

Fig. 3. Exergy balance of the energy complex for the parallel heat concentrator connection scheme, mode 10PT35;10AT60

ВЫВОДЫ

Как видно из вышеприведенных расчетов энергетическая эффективность энергокомплекса на базе параллельной схемы нового трансформатора теплоты при режиме 10ПТ35;10АТ60 достигает 3,79, что говорит о том, что данный комплекс будет потреблять почти в 4 раза меньше топлива по сравнению с котлом на том же виде топлива, в отопительный сезон. Дополнительно энергокомплекс производит холод в теплый сезон и не нуждается в подключении к сетям электроснабжения, так как вырабатывает электроэнергию на собственные нужды. При этом его эксергетический КПД всего 0,25. Это говорит о том, что эксергетический КПД характеризует относительную эффективность установки и показывает степень ее термодинамического совершенства, то есть указывает на то, что примененный цикл недостаточно совершен и имеет потенциал для модернизации, при которой будет возможность увеличения и конечного результата – коэффициента энергетической эффективности. Для поиска решений по модернизации эксергетическому анализу необходимо подвергнуть не только комплекс в целом, но и его элементы, которые в первую очередь обеспечивают снижение эксергетического КПД. Недостаточно высокие значения эксергетического КПД говорят о несовершенстве термодинамической системы и ее потенциале дальнейшего улучшения.

Благодарности

Работа выполнена в рамках стратегического проекта «Научно-инновационный кластер «Контрактный R&D центр»» Программы развития ЮРГПУ(НПИ) при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Папин В.В., Безуглов Р.В., Ефимов Н.Н., Дьяконов Е.М., Шмаков А.С., Добрыднєв Д.В., Янучок А.И. Комбинирование вторичных и возобновляемых источников энергии в гибридном теплонасосном комплексе // Энергетик. 2022. № 7. С. 14 – 18.
- [2] Папин В.В., Безуглов Р.В., Дьяконов Е.М., Шмаков А.С., Янучок А.И. Теплогенератор // Пат. 2 772 445 Российская Федерация: МПК F24D 17/02 (2006.01) F25B 25/02 (2006.01) F25B 30/00 (2006.01) F25B 27/02 (2006.01) СПК F24D 17/02 (2022.02) F25B 25/02 (2022.02) F25B 30/00 (2022.02) F25B 27/02 (2022.02). Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. № 2021117593; заявл. 15.06.2021; опубл. 20.05.2022, Бюл. № 14.

- [3] Папин В.В., Безуглов Р.В., Ефимов Н.Н., Белов А.А., Шмаков А.С., Добрыдnev Д.В. Прототип тригенерационного теплоэнергетического комплекса // Известия вузов. Электромеханика. 2022. Т. 3. № 65. С. 107 – 119. DOI: 10.17213/0136-3360-2022-3-107-119
- [4] Папин В.В., Безуглов Р.В., Шмаков А.С., Филмонов В.Р., Добрыдnev Д.В., Янучок А.И., Ведмичев Н.А. Энергокомплекс // Пат. 2 788 268 Российская Федерация: МПК F24D 17/02 (2006.01)) / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. № 2022118519; заявл. 07.07.2022; опубл. 17.01.2023, Бюл. № 2.
- [5] Бадылькес И.С., Данилов Р.Л. Абсорбционные холодильные машины. М.: Пищепромиздат, 1966. 356 с.
- [6] Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса: Студия «Негоциант», 2006. 712 с.
- [7] Shiflett M.B. Hybrid vapor compression-absorption cycle // Patent USA, no. 8707720, 2014.
- [8] Malewski W., Holldorff G. Absorption refrigeration system with booster compressor and extraction of a partial vapor flow at an intermediate pressure // Patent USA, no. US4505133A, 1982.
- [9] Khorolsky V., Anikuev S., Mastepanenko M., Gabrielyan Sh., Sharipov I. Synthesis of the structure of an automated power management system in an industrial enterprise // Journal of Management & Technology. 2022. Vol. 22. P. 58 – 72.
- [10] Dudin M.N., Zasko V.N., Dontsova O.I., Osokina I.V. Methodology for assessing financial results of implementation of energy innovations depending on their progressiveness // International Journal of Energy Economics and Policy. 2022. Vol. 12. № 1. P. 110 – 119. DOI: 10.32479/ijee.11991
- [11] Scherbakov V.N., Dubrovsky A.V., Makarova I.V., Anokhin, S.A., Shchennikova V.N., Nozdrin V.S. Fuel and energy sector in Russia in the structure of industrial modernization // Laplace em Revista. 2021. Vol. 7. № Extra B. P. 414 – 421.
- [12] Osinovskaya I.V., Pogrebinskaya Yu.A. Main challenges of managing a fuel and energy balance // Turismo: Estudos & Práticas. 2021. Vol. 1. № Suppl. 1. P. 1 – 8.
- [13] Neverov E.N., Korotkiy I.A., Korotkih P.S., Mokrushin M.Y. Improving the environmental efficiency of engineering systems operating under the scheme of secondary use of thermal energy // International Journal of Heat and Technology. 2022. Vol. 40. № 6. P. 1533 – 1539. DOI: 10.18280/ijht.400623
- [14] Петраш В.Д., Барышев В.П., Шевченкл Л.Ф., Гераскина Э.А., Даниченко Н.В. Перспективные пути энергоэффективной модернизации систем теплоснабжения на основе теплонасосных технологий // Проблемы региональной энергетики. 2022. № 4 (56). С. 47 – 60.
- [15] Kulikov I., Karpukhin K. Studying energy efficiency of thermal management systems designed for electric vehicles with in-wheel motors // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2020. Vol. 8. № 6. P. 2654 – 2662. DOI: 10.30534/ijeter/2020/71862020

REFERENCES

- [1] Papin V.V., Bezuglov R.V., Efimov N.N., Dyakonov E.M., Shmakov A.S., Dobrydnev D.V., Yanuchok A.I. Combining secondary and renewable energy sources in a hybrid heat pump complex. Power engineer. 2022. 7. P. 14 – 18. (rus.)
- [2] Lapin V.V., Bezuglov R.V., Dyakonova E.M., Shmakov A.S., Yanuchok A.I. Heat Generator. Pat. 2 772 445 Russian Federation: MPK F24D 17/02 (2006.01) F25B 25/02 (2006.01) F25B 30/00 (2006.01) F25B 27/02 (2006.01) SPK F24D 17/02 (2022.02) F25B 25/02 (2022.02) F25B 30/00 (2022.02) F25B 27/02 (2022.02). Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). № 2021117593; appl. 15.06.2021; publ. 20.05.2022, Bul. № 14. (rus.)

- [3] Lapin V.V., Bezuglov R.V., Efimov N.N., Belov A.A., Shmakov A.S., Dobrydnev D.V. Prototype of a trigeneration thermal power complex. News of universities. Electromechanics. 2022. 3 (65). P. 107 – 119. DOI: 10.17213/0136-3360-2022-3-107-119 (rus.)
- [4] Papin V.V., Bezuglov R.V., Shmakov A.S., Filimonov V.R., Dobrydnev D.V., Yanuchok A.I., Demichev N.A. Energokompleks. Pat. 2 788 268 Russian Federation: MPK F24D 17/02 (2006.01)). Platov South Russian State Polytechnic University (NPI). 2022118519; appl. 07.07.2022; publ. 17.01.2023, Bul. 2. (rus.)
- [5] Badylkes I.S., Danilov R.L. Absorption refrigerating machines. M.: Pishchepromizdat, 1966. 356 p. (rus.)
- [6] Morozyuk T.V. Theory of refrigerating machines and heat pumps. Odessa: Studio "Merchant", 2006. 712 p. (rus.)
- [7] Shiflett M.B. Hybrid vapor compression-absorption cycle. Patent USA, no. 8707720, 2014.
- [8] Malewski W., Holldorff G. Absorption refrigeration system with booster compressor and extraction of a partial vapor flow at an intermediate pressure. Patent USA, no. US4505133A, 1982.
- [9] Khorolsky V., Anikuev S., Mastepanenko M., Gabrielyan Sh., Sharipov I. Synthesis of the structure of an automated power management system in an industrial enterprise. Journal of Management & Technology. 2022. 22. P. 58 – 72.
- [10] Dudin M.N., Zasko V.N., Dontsova O.I., Osokina I.V. Methodology for assessing financial results of implementation of energy innovations depending on their progressiveness. International Journal of Energy Economics and Policy. 2022. 12 (1). P. 110 – 119. DOI: 10.32479/ijeep.11991
- [11] Scherbakov V.N., Dubrovsky A.V., Makarova I.V., Anokhin, S.A., Shchennikova V.N., Nozdrin V.S. Fuel and energy sector in Russia in the structure of industrial modernization. Laplage em Revista. 2021. 7. Extra B. P. 414 – 421.
- [12] Osinovskaya I.V., Pogrebinskaya Yu.A. Main challenges of managing a fuel and energy balance. Turismo: Estudos & Práticas. 2021. 1. Suppl. 1. P. 1 – 8.
- [13] Neverov E.N., Korotkiy I.A., Korotkih P.S., Mokrushin M.Y. Improving the environmental efficiency of engineering systems operating under the scheme of secondary use of thermal energy. International Journal of Heat and Technology. 2022. Vol. 40. № 6. P. 1533 – 1539. DOI: 10.18280/ijht.400623
- [14] Petrash V.D., Baryshev V.P., Shevchenko L.F., Geraskina E.A., Danchenko N.V. Promising ways of energy-efficient modernization of heat supply systems based on heat pump technologies. Problems of regional energy.. 2022. 4 (56). P. 47 – 60. (rus.)
- [15] Kulikov I., Karpukhin K. Studying energy efficiency of thermal management systems designed for electric vehicles with in-wheel motors. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2020. 8 (6). P. 2654 – 2662. DOI: 10.30534/ijeter/2020/71862020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Папин В.В., e-mail: vladimir_papin@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-3277-9413, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190968095>, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, кандидат технических наук, доцент

Papin V.V., e-mail: vladimir_papin@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-3277-9413, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190968095>, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Безуглов Р.В., e-mail: bezuglov@npi-tu.ru, ORCID ID: 0000-0001-7142-5207, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56983032900>, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, кандидат технических наук, доцент

Bezuglov R.V., e-mail: bezuglov@npi-tu.ru, ORCID ID: 0000-0001-7142-5207, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56983032900>, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Поступила в редакцию 21 мая 2023 г.
Принята в доработанном виде 8 июля 2023 г.
Одобрена для публикации 4 августа 2023 г.

Received: May 21, 2023.
Revised: July 8, 2023.
Accepted: August 4, 2023.