

**ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ**

*магистрант М. Э. ВЫСОЦКИЙ, канд. техн. наук, доц. А. С. ВЕРШИНИН,  
канд. техн. наук, доц. Ю. Г. ГРОЗБЕРГ*

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Рассматриваются вопросы повышения эффективности устройств прямого преобразования механической энергии в тепловую индукционного типа с постоянными магнитами. Анализируются причины низкой эффективности преобразования, и предлагается повысить указанную эффективность за счет исключения воздушных зазоров в магнитных цепях устройства.*

**Ключевые слова:** *магнитная цепь, воздушный зазор, преобразователь, механическая энергия, тепловая энергия, приводной двигатель, вихревой ток, короткозамкнутый виток.*

Известные способы прямого преобразования механической энергии в тепловую с целью получения тепла можно разделить на следующие направления:

- получение тепла посредством перемещения конструктивных элементов в вязкой жидкости [1, 2];
- получение тепла за счет преодоления сил трения [3, 4];
- получение тепла при образовании вихрей и явлении кавитации в жидкой среде [5];
- получение тепла за счет индукционного нагрева вихревыми токами при изменении магнитных потоков [6, 7].

Если в качестве приводного двигателя, как источника механической энергии, рассматривать ветроколесо, то из всего многообразия перечисленных способов преобразования более удобен способ с индукционным нагревом, так как имеется возможность увеличить количество полюсов преобразователя, а постоянные магниты делают его полностью автономным.

Применение такие устройства могут найти в системах отопления, горячего водоснабжения различных объектов жизнедеятельности, не имеющих централизованного теплоснабжения. Автономность таких устройств позволяет получать теплоснабжение в труднодоступных и географически отдалённых объектах, движущихся объектах, полевых условиях.

Основной целью данной работы является анализ причин низкой эффективности таких преобразователей, поиск способов повышения их эффективности, и разработка схемы конструкции устройства.

Одной из основных причин низкой эффективности работы таких преобразователей является наличие воздушных зазоров в магнитных цепях, через которые замыкаются пульсирующие магнитные потоки [6, 7]. Нагрев происходит за счет вихревых токов в ферромагнитных сердечниках и токов в короткозамкнутых витках из металла с повышенным удельным электрическим сопротивлением.

При постоянной МДС постоянного магнита и при наличии воздушных зазоров магнитные потоки значительно ослабляются, величины вихревых токов тоже становятся меньше, и соответственно уменьшаются токи в короткозамкнутых витках.

Для повышения эффективности работы такого преобразователя желательно исключить воздушные зазоры на пути магнитных потоков. Следовательно, при исключении воздушных зазоров в магнитных цепях можно ожидать увеличение магнитных потоков по величине, а значит и более интенсивное преобразование механической энергии в тепловую.

Чтобы оценить степень повышения эффективности преобразователя механической энергии в тепловую при исключении воздушных зазоров, следует оценить степень увеличения магнитного потока в магнитной цепи при уменьшении или даже исключении воздушных зазоров. В [8] проведено исследование зависимости магнитного потока в неразветвленной магнитной цепи с постоянной МДС от величины воздушного зазора, и получена примерная зависимость  $\Phi = f(\delta)$  (рис. 1).

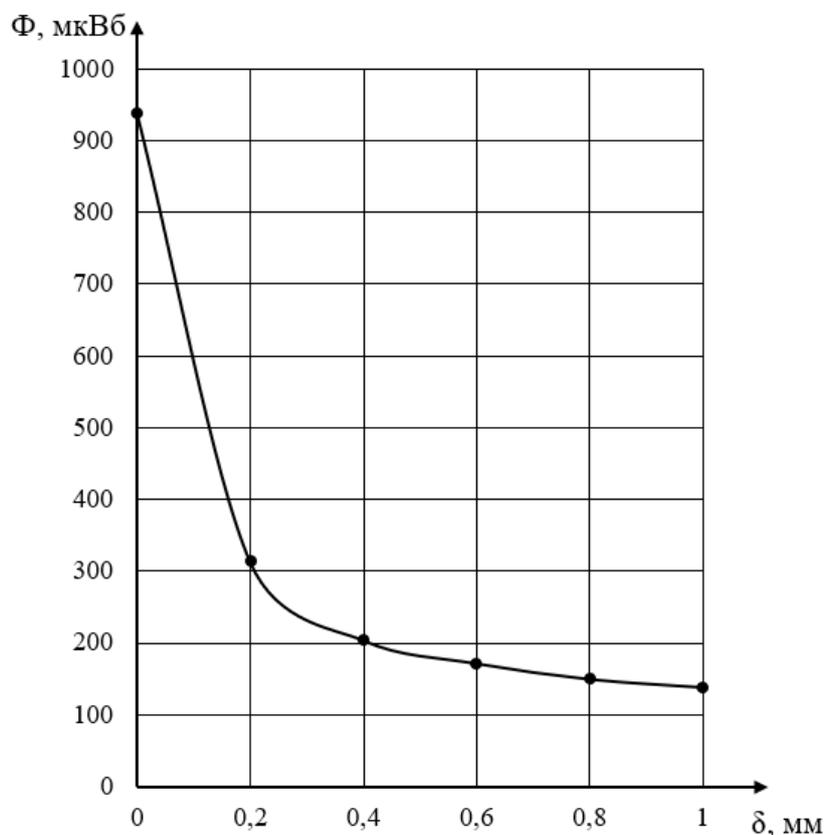


Рисунок 1. – График зависимости  $\Phi = f(\delta)$

Из этого графика видно, что при уменьшении воздушного зазора магнитной цепи с постоянной МДС от  $\delta = 1$  мм до нуля магнитный поток возрастает более, чем в 6 раз.

Таким образом, для повышения эффективности работы устройств прямого преобразования механической энергии в тепловую индукционного типа с постоянными магнитами, желательно вообще исключить воздушные зазоры. При этом условии можно ожидать увеличение эффективности такого преобразования более, чем в 6 раз.

Схема устройства теплопреобразовательного узла преобразователя механической энергии в тепловую с воздушным теплообменом, у которого исключены воздушные зазоры в магнитных цепях приведена на рисунок 2.

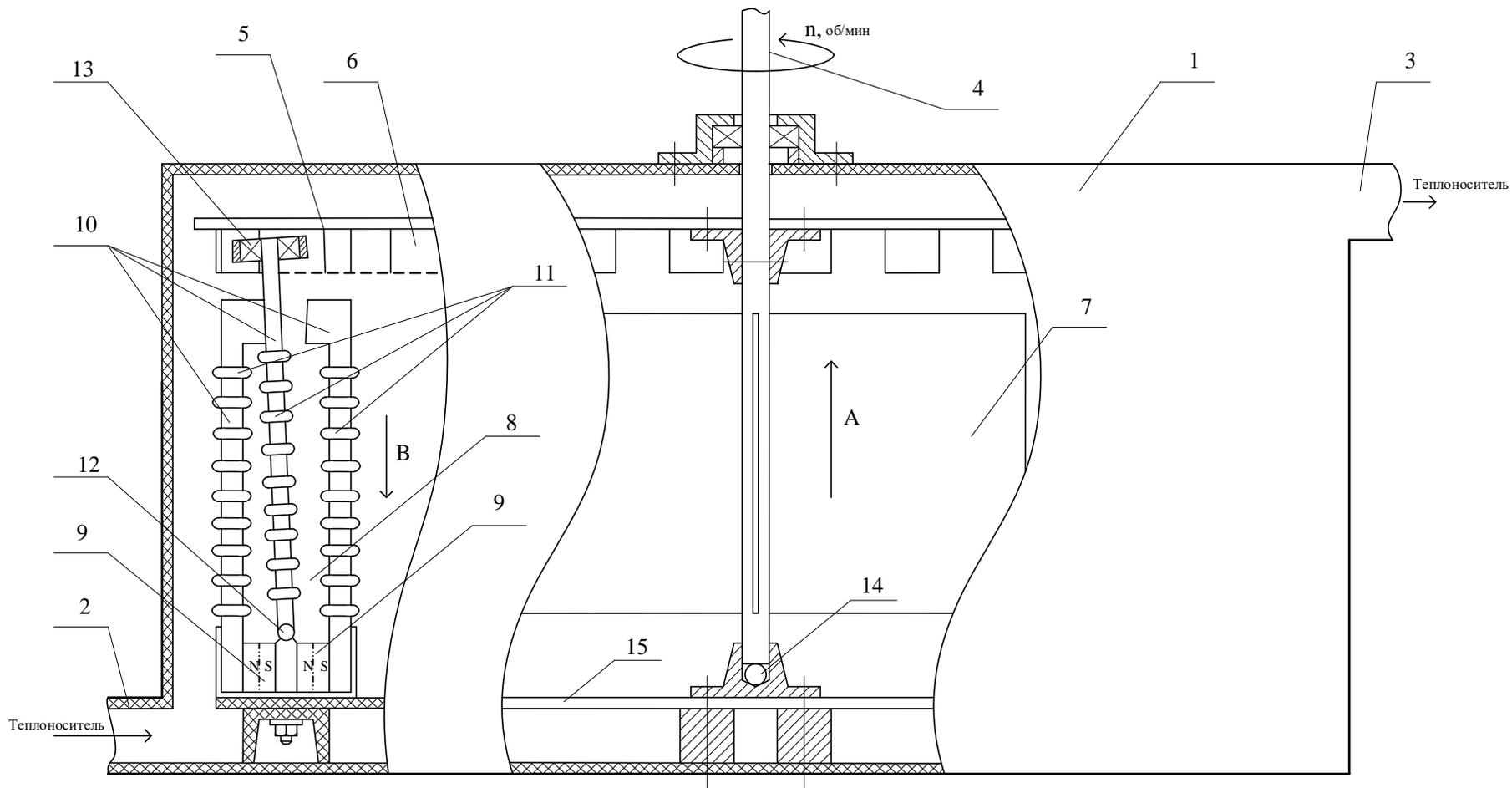
Основу преобразователя составляют размещенные по окружности в круглом замкнутом корпусе 1 теплопреобразовательные узлы 8 перекидного типа на немагнитном основании 15. В состав каждого такого теплопреобразовательного узла входят по два постоянных магнита 9, по три стержня магнитопроводов 10, на стержнях расположены короткозамкнутые витки 11 из материала с повышенным удельным электрическим сопротивлением. Эти витки изолированы от стержней магнитопровода.

Два постоянных магнита 9 и три ферромагнитных стержня 10 образуют переключаемую магнитную цепь, так как боковые стержни 10 остаются неподвижными, а центральный стержень, закрепленный в шарнире 12, может перекидываться между боковыми стержнями. Для этого он выполнен длиннее и на нем закреплен подшипник 13 для облегчения процедуры переключения. При этом центральный стержень фиксируется в переключённом состоянии за счёт силы притяжения, возникающей при прохождении магнитного потока от соответствующего постоянного магнита.

Теплопреобразовательный узел ориентирован так, что направление движения центрального стержня было радиальным относительно приводного вала преобразователя (рисунок 3).

Непосредственно теплопреобразовательный узел работает следующим образом. Два постоянных магнита 9 ориентированы так, что при перекидывании центрального стержня 10 из одного положения в другое направление магнитного потока в нем меняется на противоположное (рисунок 2). А в боковых стержнях магнитопровода 10 будут проходить пульсирующие магнитные потоки одного направления. При указанных изменениях магнитных потоков в короткозамкнутых витках 11 будут наводиться ЭДС, возникать токи и витки будут разогреваться токами короткого замыкания.

Кроме того, стержни магнитопровода 10 выполнены из сплошного металла (не листовой стали), и потому тоже будут разогреваться вихревыми токами.



- 1 - корпус устройства; 2 – входной патрубок теплоносителя; 3 – выходной патрубок теплоносителя; 4 – приводной вал;**  
**5 – рабочее колесо устройства; 6 – лопасти рабочего колеса; 7 – лопасти мешалки теплоносителя; 8 – преобразовательный блок;**  
**9 – постоянные магниты; 10 – магнитопроводы; 11 – короткозамкнутые витки с повышенным удельным сопротивлением;**  
**12 – шар-нир; 13 – подшипник качения; 14 – опорный подшипник; 15 – основание преобразователя**

**Рисунок 2. – Схема устройства для прямого преобразования механической энергии в тепловую**

Как уже отмечалось, корпус преобразователя 1 выполнен замкнутым и имеет входной патрубок 2 для теплоносителя и выходной патрубок 3. Корпус преобразователя 1 выполнен из немагнитного материала.

Так как теплопреобразовательные узлы размещены по окружности в корпусе 1 (рис. 3), их количество может быть достаточно большим, и все они переключаются почти одновременно, то количество получаемого тепла может быть весомым.

По центру преобразователя вертикально установлен приводной вал 4, который вращается в упорном подшипнике 14. На приводном валу 4 внутри корпуса 1 преобразователя закреплено рабочее колесо 5 с переключающими лопастями 6 (рис. 4).

Количество лопастей 6 рабочего колеса 5 на единицу меньше, чем количество теплопреобразовательных узлов 8. Это позволяет уменьшить пульсации механического момента сопротивления на приводном валу 4 преобразователя. Кроме того, ниже рабочего колеса 5 на приводном валу 4 преобразователя установлены 4 лопасти для перемешивания теплоносителя внутри корпуса 1 преобразователя.

В данной конструкции прямого преобразователя механической энергии в тепловую с воздушным теплоносителем в магнитных цепях отсутствуют узлы качения по сравнению с [7], и потому возможно ожидать более высокую эффективность устройства.

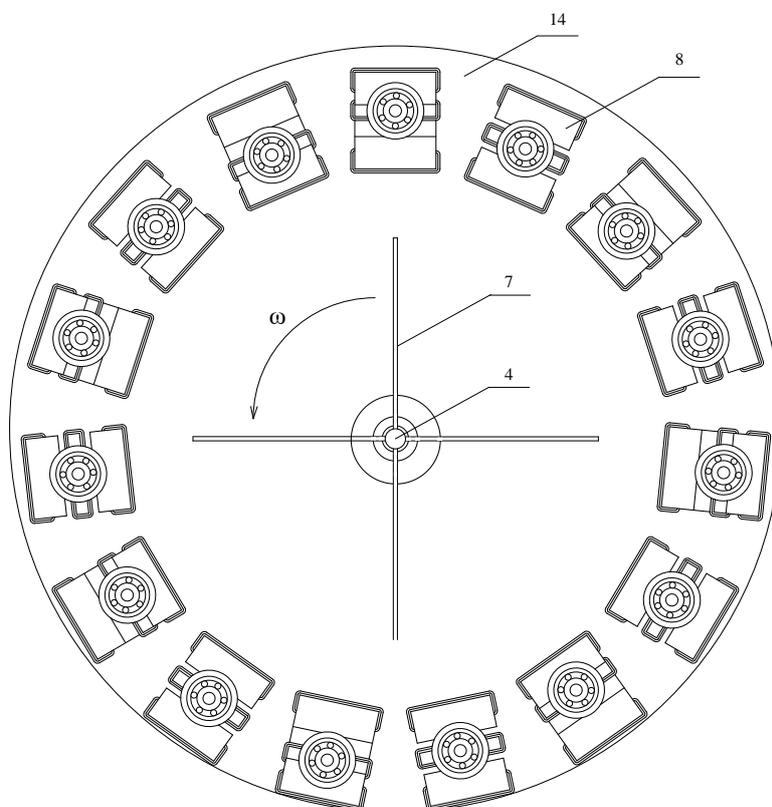
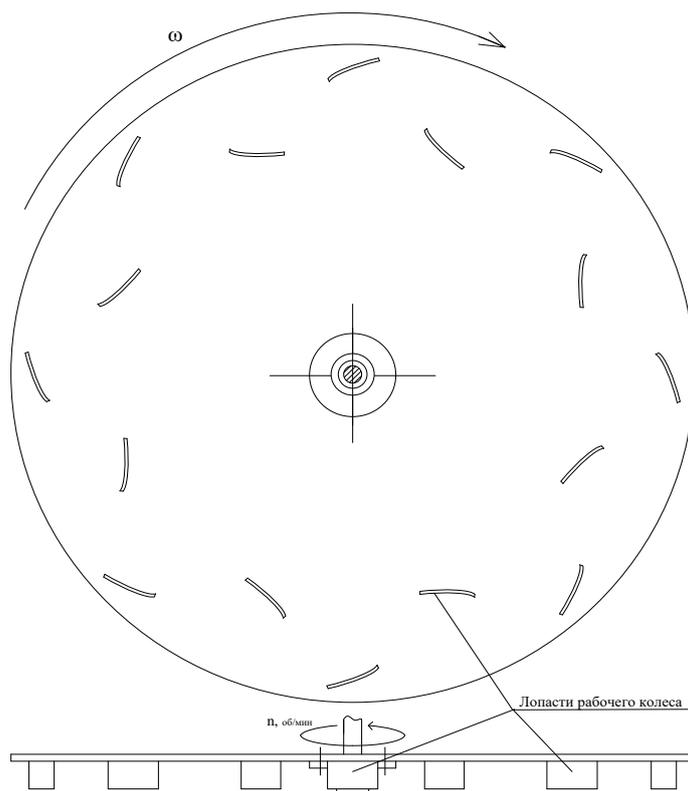


Рисунок 3. – Вид по стрелке В, размещение преобразовательных блоков на основании



**Рисунок 4. – Вид по стрелке А (вид снизу) на рабочее колесо устройства**

### **Выводы**

1. При построении прямых преобразователей механической энергии в тепловую с низкой скоростью вращения вала приводного двигателя (ветродвигателя например) удобнее использовать преобразователи индукционного типа с постоянными магнитами. Это целесообразно потому, что за счет увеличения количества расположенных по окружности теплопреобразовательных узлов 8 в корпусе 1 преобразователя можно увеличить частоту пульсаций магнитного потока в магнитных цепях при низких оборотах.

2. Существенное увеличение эффективности (более 6 раз) преобразования механической энергии в тепловую в таких преобразователях может быть достигнуто за счет исключения воздушных зазоров в магнитных цепях устройства.

3. Предложена конструкция устройства для прямого преобразования механической энергии в тепловую с воздушным теплообменом, в которой исключены воздушные зазоры в магнитных цепях, и это позволяет ожидать значительное увеличение эффективности работы устройства.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Оппозитный ветротеплогенератор: пат. 2612237, Россия, МПК F03D 9/22, F24J 3/00 / Серов А. Ф., Мамонов В. Н., Терехов В. И., Назаров А. Д.; № 2015150585; заявл. 25.11.2015; опубл. 03.03.2017, Бюл. № 7.

2. В. Н. Мамонов, Н. Б. Миськив, А. Д. Назаров, А. Ф. Серов, В. И. Терехов. Генерация тепла в мультицилиндровой системе Куэтта-Тэйлора // Теплофизика и аэромеханика. – 2019. – Т. 26, № 5. – С. 729–739.
3. Фрикционный нагреватель: пат. 2244223 С1, Россия, МПК F 24 J 3/00. / Гой В. Л.; № 2003115026/06; заявл. 22.05.2003; опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1.
4. Ветровой фрикционный теплогенератор: а.с. СССР № 1627790, МПК F 24, J 3/00. / Бирюлин И. Б., Ветрова А. А., Васильева Д. Д., Шабалин А. А.; опубл. 14.08.1991, Бюл. № 19.
5. Вихревой ветротеплогенератор: пат. 2656515, Россия, МПК F03D 3/00, F24J 3/00. / Седых Н. А.; №2017102162; заявл. 23.01.2017; опубл. 05.06.2018, Бюл. № 16.
6. Устройство для преобразования механической энергии в тепловую: пат. 2097946, Россия, МПК H05B 6/10. / Елшин А. И., Казанский В. М., Карманов Е. Д., Михеев В. И.; №95117680/06; заявл. 17.10.1995; опубл. 27.11.1997, Бюл. № 21.
7. Устройство для нагрева жидкого теплоносителя : пат. RU 193430 U1 / Ю. В. Москалёв. – Опубл. 29.10.2019.
8. Вершинин А. С., Грозберг Ю. Г. Повышение эффективности прямого преобразования механической энергии в тепловую. // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2022. – № 4. – С. 56–61.