

Таким образом, управление городским общественным транспортом и отдельными его видами должно рассматриваться в контексте общей концепции управления внутригородской подвижностью населения. Попытки управлять одним отдельно взятым видом городского транспорта часто дают неожиданные результаты, так как ведут к изменению структуры спроса на перемещения, то есть к изменению свойств самого объекта управления. При этом улучшение локальных критериев одного из способов осуществления передвижений может сопровождаться ухудшением общей ситуации по всем структурным составляющим подвижности и т.д.

Список литературы

1. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М: Высшая школа, 1980. – 534 с.
 2. Овечников Е.В. Городской транспорт / Е.В. Овечников, М.С. Фишельсон. – М: Высшая школа, 1976. – 350 с.
 3. Елатнов М.Д. Управление пассажирским автомобильным транспортом. – М: Транспорт, 1970. – 32 с.
- Получено 19.03.10

УДК 620.9

Е.В. Петрова

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НОВОГО ТИПА

Одной из наиболее перспективных областей возобновляемой энергетики является ветроэнергетика. При выборе наиболее рациональной схемы ветроэлектрической установки (ВЭУ) целесообразно воспользоваться функционально-структурной моделью [1], согласно которой основным критерием выбора служит расположение оси вращения ветродвигателя, причем наибольшее распространение в связи со своими преимуществами получили ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветродвигателя [2]. В работах [3,4] для ВЭУ с горизонтальной осью вращения мы предложили инновационный способ использования энергии ветра, заключающийся в использовании двух ветровых колес, располагающихся по разные стороны от ветродвигателя и вращающихся в противоположные стороны. Способ реализуется посредством ветроэлектрической установки нового типа (ВЭУНТ). Экспериментально показано [3], что при этом существенно повышается скорость вращения ротора относительно статора.

Для экспериментального подтверждения практического использования двух ветровых колес в ВЭУНТ нами разработан и изготовлен лабораторный стенд «Ветряная миниэлектростанция», патентуемый как полезная модель, на котором были получены скоростные характеристики: частоты вращения первого и второго ветровых колес в зависимости от скорости набегающего воздушного потока при различных параметрах ветроустановки (количество лопастей у ветровых колес, углы атаки лопастей и др.). Эти данные, в частности, позволили нам остановиться на выборе ветровых колес с тремя лопастями.

На рис. 1 приведены зависимости частоты вращения каждого из ветровых колес ВЭУНТ от скорости набегающего воздушного потока, из которых следует, что первое и второе ветровые колеса вращаются с соизмеримыми скоростями, что может обеспечивать значительное увеличение коэффициента использования энергии ветра ВЭУНТ по сравне-

нию с ВЭУ традиционных типов.

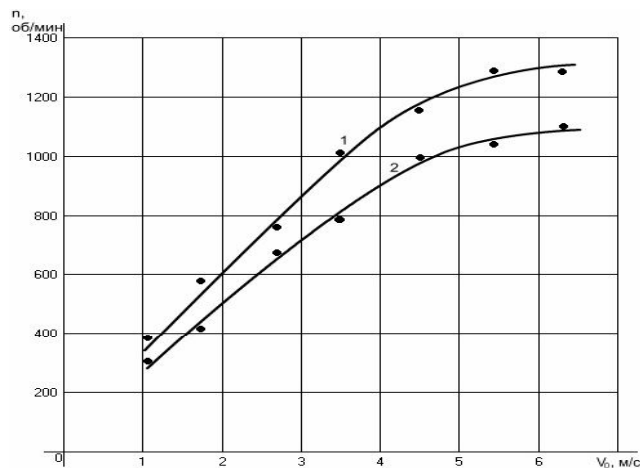


Рисунок 1 – Зависимость частоты вращения первого (кривая 1) и второго (кривая 2) ветровых колес (размер лопастей 0,32м) ВЭУНТ от скорости ветра

Описываемые ранее в литературе технические решения, предполагающие использование в ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветродвигателя двух ветровых колес [5,6-8] не нашли практического применения по ряду причин, одной из которых являлось то, что при вращении статора электрического генератора необходимо использовать контактные щетки для снятия напряжения с его обмоток. Это существенно снижало надежность ВЭУ.

Для ВЭУНТ малой мощности, в которой использовали вращение ротора и статора, нами было разработано новое техническое решение с отсутствием щеточных контактов для снятия напряжения с обмоток вращающегося статора. Вместо них использовали подшипники качения, а для устранения искрения в месте контактов шарики подшипников и их внутреннюю поверхность имплантировали химическим элементом с низкой работой выхода электрона (иттрием). Данное техническое решение в настоящий момент находится в стадии патентования как изобретение.

В работе [8] мы упоминали о разработке нового электрического генератора для ВЭУНТ с двумя ветровыми колесами, конструкция которого также патентуется как изобретение. В новом генераторе статор находится в неподвижном состоянии, а э.д.с. в его секциях возникает за счет наличия двух роторов (генераторы аксиального, цилиндрического или аксиально-цилиндрического типов), которые вращаются вместе со своими ветровыми колесами, лопасти которых повернуты в противоположные стороны. Так как данный генератор является тихоходным, то использование постоянных магнитов позволяет соединить ветровые колеса с роторами генератора напрямую без редуктора. Кроме того, нет необходимости в скользящих электрических контактах. Генераторы с постоянными магнитами на основе сплава Fe-Nd-B в настоящий момент используются в ветроэнергетике повсеместно.

На основании вышесказанного при разработке и создании нового генератора использовали:

- вращательное движение системы магнитов каждого из роторов, соединенных с ветровыми колесами, обеспечивающее их независимое прохождение над обмотками секций неподвижного статора;

- отсутствие скользящих контактов для снятия возникающей при работе генератора

переменной э.д.с.;

– систему возбуждения переменного магнитного поля постоянными магнитами на основе системы Fe-Nd-B;

– большое число катушек возбуждения (многополюсная система) для обеспечения генерации электрического тока при низких частотах вращения ветровых колес.

Конструкция нового электрического генератора цилиндрического типа представлена на рис. 2.

Генератор состоит из основания 16, на котором с помощью кронштейнов 2 крепится корпус. Корпус состоит из крышки, совмещенной со статором 1, и крышки корпуса 17, которые соединены между собой винтами крепления 18. В крышке со статором 1 по окружности статора размещены секции обмоток 8 статора, расположенные на разных диаметрах окружности для каждого из роторов (внутреннего 5 и внешнего 11). В корпусе статора 1 концы обмоток одной из секций статора, работающей с внешним ротором 11, посредством проводников 4 присоединяются к клеммам 3, с которых можно снимать переменное напряжение (э.д.с.). В верхней части крышки статора 1 также располагаются клеммы 9, к которым посредством проводников 4 присоединены концы обмоток секции, работающей с внутренним ротором 5. Вал внутреннего ротора 5 через подшипник 7 выходит за пределы крышки 1, и на его конце жестко закреплено ветровое колесо 6. Вал внешнего ротора 11 выведен через подшипник 15 в крышке 17 в противоположную сторону от ветрового колеса 6 внутреннего ротора 5, и на его конце жестко закреплено ветровое колесо 13. Лопастей ветрового колеса 6 внутреннего ротора 5 противоположно повернуты относительно лопастей ветрового колеса 13 внешнего ротора 1. За счет этого при прохождении через них потока воздуха ветровые колеса вращаются в противоположные стороны, обеспечивая такое же вращение роторов. Между внутренним ротором 5 и внешним ротором 11 имеется подшипник 14, благодаря которому они могут свободно и независимо вращаться. Каждый из роторов 5 и 11 имеет расположенные по окружности магниты. Магниты 12 внутреннего ротора 5 могут возбуждать при их вращении в соответствующих обмотках секции статора переменную э.д.с., а магниты 10 внешнего ротора 11 могут возбуждать переменную э.д.с. в обмотках другой секции статора. На рис. 2 направление движения воздушного потока показано стрелками слева направо. Для упрощения рисунка размер лопастей ветровых колес 6 и 13 показан в уменьшенном виде.

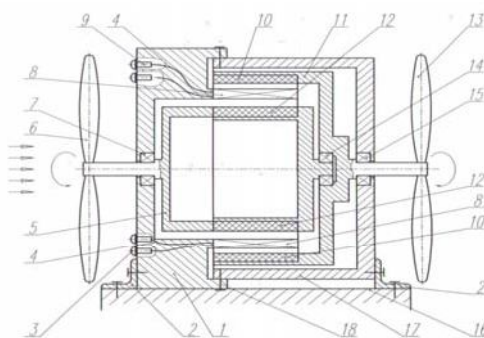


Рисунок 2 – Электрический генератор цилиндрического типа

Для изготовления нового электрического генератора цилиндрического типа были использованы узлы электрических генераторов ГВ-05/650-30-12Г (НПО «ЭРГА», г. Калуга РФ). Количество полюсов индуктора для каждого из роторов равнялось 16, количество

катушек якоря, для уменьшения эффекта «залипания» – 18. Материал ярма ротора – сталь Ст.10, сердечника статора – электротехническая сталь 2421, материал магнитов – сплав EN38H (на основе Fe-Nd-B). Расчетная номинальная мощность каждой секции возбуждения от каждого из роторов составляла 500 Вт, номинальная частота вращения каждого из роторов – 650 об/мин, количество фаз каждой якорной обмотки равнялось трем. Экспериментальная проверка момента страгивания для каждого из роторов дала значение, равное 0,3 Н·м.

Для каждой из секций обмоток статора подсчитали электрические потери в ее обмотках, изготовленных из медного провода, которые составили 5,23 Вт и потери в стали ротора, которые составили 56,6 Вт, а дополнительные потери – 10 Вт. При расчетной мощности генератора 500 Вт по каждой из секций статора к.п.д. дал значение: $\eta = 500 / (500 + 15,7 + 56,6 + 10) = 0,858$.

В каждой из секций генератора в результате вращения ротора возникает переменный трехфазный ток, частота которого связана с частотой вращения ротора. Зависимость фазного напряжения в обмотках генератора от частоты вращения ротора приведена на рис. 3.

Из-за непостоянства скорости ветра в обмотках секций генераторов возникает трехфазный переменный электрический ток с амплитудой (кривая 1 на рис. 3) и частотой (кривая 2 на рис. 3), зависящими от скорости вращения роторов. Для того чтобы получить максимальный коэффициент от преобразования ветровой энергии в электрическую, необходимо переменную э.д.с. от каждой из секций обмоток статора превратить в постоянный ток, а затем использовать для зарядки аккумулятора. Для этой цели использовали традиционную схему А.Н. Ларионова по выпрямлению трехфазного переменного тока, причем в связи с наличием двух независимых секций статора использовали два независимых выпрямителя Ларионова.

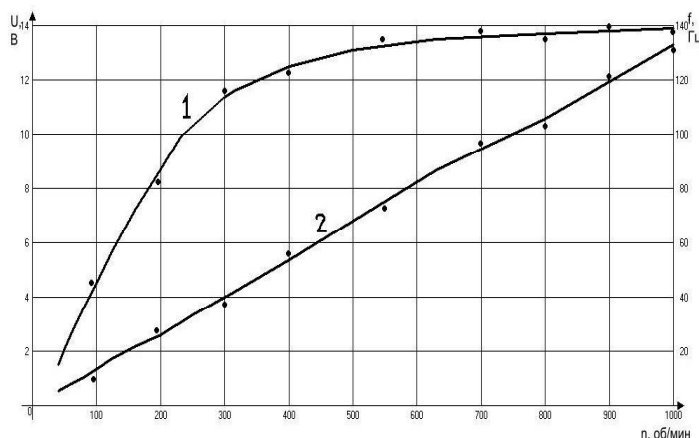


Рисунок 3 – Зависимость электрических характеристик генератора цилиндрического типа от частоты вращения ротора: 1 – фазное напряжение (U); 2 – частота трехфазного переменного тока (f)

Для управления работой ВЭУНТ при различных скоростях ветра был разработан блок автоматического управления (рис. 4).

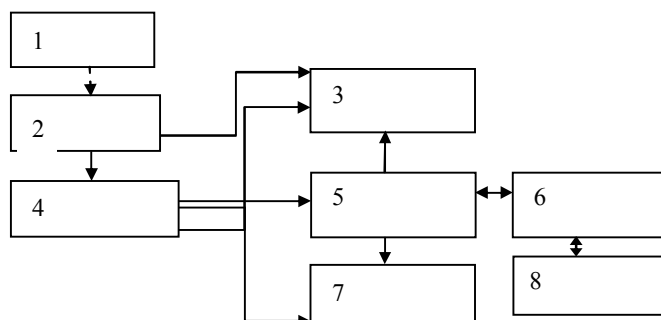


Рисунок 4 – Блок-схема автоматического управления ВЭУНТ

Новый электрический генератор цилиндрического типа 1, установленный на мачте, с помощью силового кабеля (на рис. 4 показан пунктиром) подключался к блоку автоматов 2, служащему для замыкания обмоток генератора в случае принудительного торможения при проведении монтажных работ и при сильных порывах ветра. При замыкании обмоток секций статора вращения роторов прекращается. При разомкнутых контактах блока автоматов 2 трехфазное переменное напряжение от каждой из секций статора генератора 1 поступает в блок выпрямителей 4, состоящий из двух независимых выпрямителей Ларионова, с помощью которых от каждой из секций генератора получают выпрямленное напряжение. Основным элементом блока управления является блок автоматического управления 6, связанный с пультом управления и сигнализации 8. Выпрямленное напряжение от генератора ВЭУНТ поступает на блок силовых ключей 5, которые служат для выборочного подключения блока выпрямителей 4 к блоку аккумуляторов 7 или к блоку тепловых электронагревателей (ТЭН) 3. В первом случае осуществляется зарядка аккумуляторов, а во втором – подключение к обмоткам секций генератора нагрузочных ТЭНов, которые приводят к замедлению вращения роторов генератора. В блоке ТЭНов 3 имеется реле времени с контактами, которое может дублировать контакты замыкания блока автоматов 2. В блоке автоматов 2 замыкание контактов осуществляется вручную оператором, а в блоке ТЭНов оно происходит от сигналов, поступающих от блока управления 6. Все переключения силовых электрических цепей осуществляются с помощью силовых ключей блока 5, работой которых управляет блок управления 6.

Поскольку секции каждой из обмоток статора генератора после выпрямления давали выпрямленное напряжение в пределах 24 В, то в блоке выпрямителей 4 напряжения от каждой из секций складывались параллельно. При этом амплитуда напряжения была не ниже максимального напряжения одной из секций выпрямителя, а сила тока повышалась, так как источники работали параллельно. Результирующее напряжение использовалось для зарядки аккумулятора в блоке аккумулятирования 7, составленного из двух последовательно соединенных аккумуляторов напряжением 12 В.

В блоке автоматического управления 6 задавались пределы изменения напряжения, поступающего от блока выпрямителей 4. В случае, когда это напряжение было не более 24 В, к блоку выпрямителей 4 подключались через блок силовых ключей 5 аккумуляторы блока аккумулятирования 7. Если же напряжение в блоке выпрямителей превышало 24 В, то по сигналу от блока автоматики 6 срабатывал блок силовых ключей 5, который подключал к обмоткам секций генератора ТЭНы блока 3. В этом случае вращение ветровых колес замедлялось, а это, в свою очередь, приводило к уменьшению э.д.с. генератора и напряжения в блоке выпрямления 4.

Блок выпрямителей был выполнен на диодах Шоттки марки 60СТQ-100, а в блоке управления использовали ШИМ-контроллер. В ВЭУНТ использовали традиционную флюгерную схему ориентации установки при изменении направления ветра. Для получения переменного электрического тока промышленной частоты использовали традиционные серийно выпускаемые инверторы, преобразующие постоянное напряжение 12 В в переменное напряжение частотой 50 Гц.

Испытания действующего образца ВЭУНТ, проведённые на испытательной площадке Восточно-Казахстанского регионального НТП «Алтай», подтвердили правильность предлагаемых технических решений и предположения о том, что использование двух ветровых колёс даёт существенное увеличение коэффициента использования энергии ветра ветроприёмным устройством ВЭУНТ, о чем судили по величине напряжения на выходе ВЭУНТ. Во всех интервалах скоростей ветрового потока второе ветровое колесо давало прибавку в э.д.с. к первому не менее 50 %. Наиболее велика эта прибавка (до 90 %) была при малых скоростях ветра, что объясняется тем, что при малых скоростях ветра воздушный поток без торможения проходит через просветы между лопастями первого ветрового колеса и попадает на второе ветровое колесо. Таким образом, удалось добиться высокого к.п.д. ветроприёмного устройства при низких скоростях ветра, что делает перспективным использование ВЭУНТ в районах с низкими среднегодовыми скоростями ветра.

Реализация инновационного способа использования энергии ветра в разработанной нами ВЭУНТ посредством применения двух ветровых колёс и нового электрического генератора в совокупности с блоком автоматического управления позволила добиться более высокого к.п.д. ветроприёмного устройства и поддерживать напряжение, идущее на зарядку аккумуляторного блока, в заданных пределах, что частично компенсировало колебания генерируемой э.д.с. в обмотках статора генератора, связанные с непостоянством скорости ветрового потока.

Список литературы

1. Морозов Д.А. Функционально-структурная модель ветроэнергетических установок / Д.А. Морозов, А.Э. Пушкарев // Вестник Ижевского государственного технического университета. - 2008. - № 1(37). - Ижевск, 2008. - С. 34-38.
2. Де Рензо Д. Ветроэнергетика. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 271 с.
3. Петрова Е.В. Инновационный способ использования энергии ветра как основа для разработки ветроэлектрических установок нового типа / Е.В. Петрова, А.Б. Бекбаев, В.А. Петров // Вестник Алматинского института энергетики и связи. - 2009. - № 1(4). - Алматы, 2009. - С. 48-52 с.
4. Петрова Е.В. Инновационный способ использования энергии ветра / Е.В. Петрова, А.Б. Бекбаев, В.А. Петров // Проблемы ресурсоэнергосбережения и использования альтернативных экологически чистых способов получения энергии: Материалы Каз.-Рос. науч.-практ. конф. - Усть-Каменогорск, 2008. - С. 170-173.
5. Патент 903,487 США, МПК F 03 D 1/02 /Wind Energy Conversions Device / Endel Are. - Оpubл. 15.07.80.
6. А.с. 1523711 СССР, МПК F 03 D 7/02 Ветродвижитель / Ч.К. Будревич. - Оpubл. 07.01.93.
7. А.с. 1787205 СССР, МПК F 03 D 1/00 Ветроэнергетическая установка / А.Д. Обозов, К.М. Мамыркулов, К.А. Давлетов, В.В. Кириллов. - Оpubл. 07.01.93.
8. Петрова Е.В. Инновационные решения при создании ветроэлектрической установки нового типа / Е.В. Петрова, В.А. Петров, О.Г. Калиниченко // Роль университетов в создании инновационной экономики: Материалы Междунар. науч.-практич. конф. - Усть-Каменогорск, 2008. - Т. II. - С. 245-249.

Получено 20.01.10