

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-3-48-59>

*Rustamov Nasim Tulegenovich,
Doctor of Technical Sciences, prof.
International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi
Babakhan Shokhrukh Abdilkasymuly,
senior lecturer of the
International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi
Berkimbayev Kamalbek Meyrbekovich,
Professor,
International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi
Aman Adilet,
Master,
International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi*

DISTRIBUTED ENERGY GENERATION BASED ON A HYBRID WIND AND SOLAR POWER PLANT

Abstract. The paper considers issues related to the development of small-scale energy, called regional energy generation (RGE). A hybrid wind and solar installation (GVSEU) generating electric energy in the REGE system is proposed. At the same time, the energy advantages of the GVSEU from the wind turbine have been experimentally shown. It is indicated that the proposed REGE system works continuously regardless of weather conditions. A mathematical model of the GVSEU is proposed and the modular design of the RGE is revealed. At the conceptual level, the method of connecting this system to a common distribution network is given.

Keywords: distribution generation systems, mathematical model, distribution network, modular design, circuit solutions.

*Рустамов Насим Тулегенович,
д.т.н., профессор,
Международного казахско-турецкого университета
имени Ходжи Ахмеда Ясави
Бабахан Шохрух Абдилкасымулы,
старший преподаватель,
Международного казахско-турецкого университета
имени Ходжи Ахмеда Ясави
Беркимбаев Камалбек Мейрбекович,
Профессор,
Международного казахско-турецкого университета
имени Ходжи Ахмеда Ясави
Аман Әділет,
магистр,
Международного казахско-турецкого университета
имени Ходжи Ахмеда Ясави*

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ГИБРИДНОЙ ВЕТРОСОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы связанные с развитием малой энергетики, называемый региональной генерации энергии (РГЭ). Предлагается гибридная ветро солнечная установка (ГВСЭУ), генерирующая электрическую энергию в системе РГЭ. При этом экспериментально показана энергетические преимущества ГВСЭУ от ВЭУ. Указывается, что предложенная система РГЭ работает непрерывно вне зависимости от погодных условий. Предлагается математическая модель ГВСЭУ и раскрывается модульная конструкция РГЭ. На концептуальном уровне, приводится метод подключения этой системы в общую распределительную сеть.

Ключевые слова: распределительные системы генерации, математическая модель, распределительная сеть, модульная конструкция, схемотехнические решения.

Введение. Проблема энергосбережения сегодня стоит сегодня очень остро, так как промышленность и технологии постоянно развиваются, а это ведет к существенному увеличению расходов электроэнергии, увеличению затрат предприятия и росту стоимости продукции, выпускаемой предприятием. В условиях растущей конкуренции предприятия

вынуждены искать пути снижения энергопотребления [1]. Тенденция развития электроэнергетики в мире связаны с увеличением не только масштабом производства электроэнергии из традиционных крупных электростанциях, но и доли РГЭ работающая на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. Под термином «распределенная

генерация энергии» (РГЭ) в работе понимается установки, вырабатывающие электрическую энергию вблизи точки потребления [3].

Как уже отметили РГЭ – это гибридные системы энергоснабжения, объединенные из различных источников энергии, которые построены в непосредственной близости от потребителей и максимально возможной степени учитывают их индивидуальные особенности с точки зрения мощности и профиля. Рост доли РГЭ в энергетических системах не только имеет положительные стороны, но и создает определенные технические проблемы, связанные с изменениями свойств систем, их возможностями управления в нормальных и аварийных условиях [4]. Проблемы управления такими системами энергоснабжения, для которых характерны значительное территориальное распределение и неоднородность, очень актуально. Неоднородность системы может быть связана с использованием возобновляемых источников энергии, таких как ветровые, солнечные [5]. Основной отличительной чертой РГЭ основанных на ВИЭ, является стохастический характер параметров источника первичной энергии. Поэтому энергия генерируемая из возобновляемых источников, создает новые проблемы перед и так уже перегруженной сетью [6].

Как известно, задачей современных энергетических систем является, постоянное балансирование спроса предложения, гибкое управление сетью и обеспечение оптимального уровня энергоэффективности. Эти проблемы могут быть решены, но в то же время диспетчерское и автоматическое управление энергетической системой усложняется, необходимо разработать новые математические модели для обновления развития РГЭ и проанализировать их режимы и управлять ими

[7]. Основной модуль любой РГЭ являются энергия генерирующие установки, вырабатывающие электрические, тепловые в различных режимах [8]. На сегодня существующим ветро энергетическим установкам (ВЭУ) требуется увеличения коэффициента полезного действия, и коэффициента использования ветровой энергии для выработки необходимого потребителю электрической энергии. Тем самым мы можем повышать эффективность работы системы РГЭ.

Целью работы является разработка гибридной ветро энергетическую установки работающая на базе возобновляемых источников энергии.

Метод решение. На (рис. 1), а показан ВЭУ вырабатывающая электрическую энергию используя ветровой поток. Для повышения к.п.д. этого ВЭУ, на базе этого же ВЭУ конструировали гибридную ветро энергетическую установку(ГВСЭУ) показанной на (рис. 1, б). Где лопасти заменили на магнитную лопас, чтобы магнитные потоки порожденные магнитными лопастями пересекали обмотку магнитной катушки установленными над генератором ВЭУ. На мачтах прикрепили солнечные панели, с целью выработки постоянного тока. Такая ГВСЭУ имеет возможность одновременно выработать три типа тока, тем самым увеличивается к.п.д. ВЭУ и повышается эффективность использования ветровой и солнечной энергии. В работах [9; 10; 11; 12] предложена такая гибридная ВЭУ. Как уже отметили, такой ГВСЭУ вырабатывает три типа тока: переменный ток i_1 из генератора, переменный индукционный ток i_2 и постоянный ток I из солнечной панели(рис. 1, б).

Чтобы показать эффективности ГВСЭУ мы проводили эксперимент. В эксперименте ВЭУ

и ГВСЭУ находились в одинаковых условиях. Измерялись токи выработанные генератором,

магнитной катушки и солнечной панели. Измерение проводились каждый час.

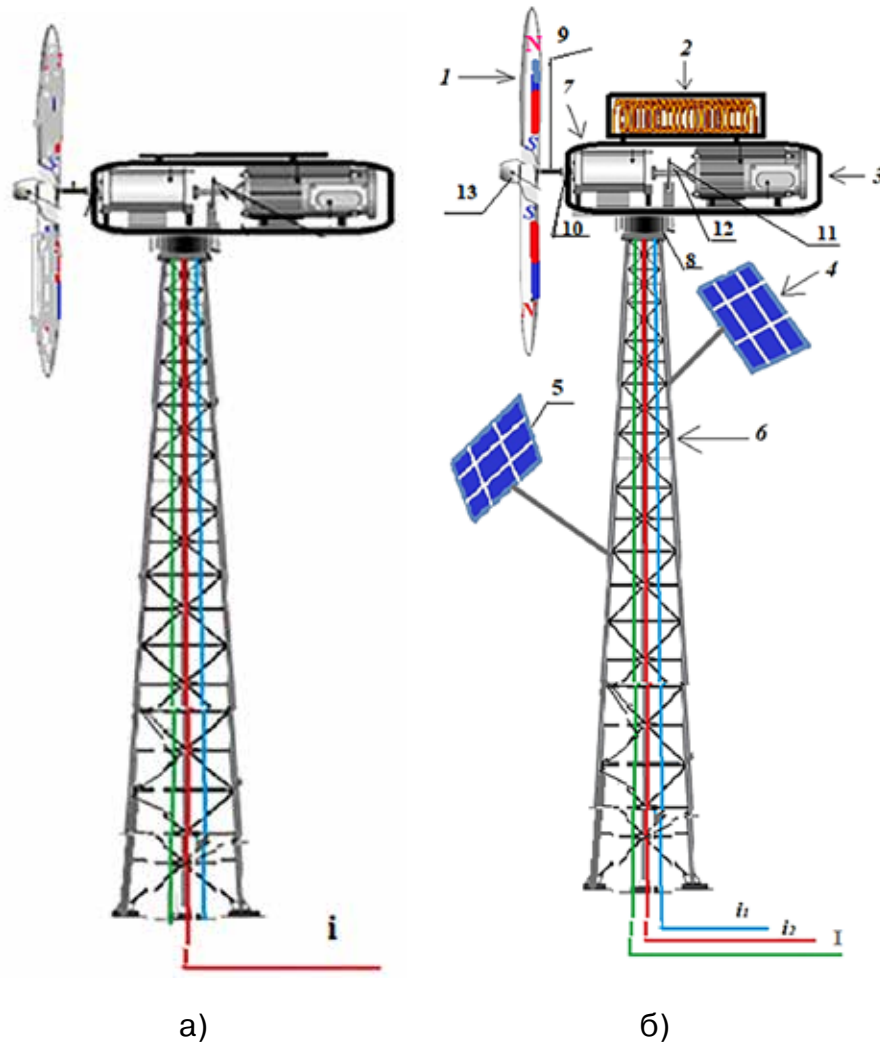


Рисунок 1. а), ВЭУ, б), ГВСЭУ

Здесь: 1 – магнитный лопас; 2 – индукционная катушка; 3 – генератор; 4; 5 – Солнечные фотопанели; 6 – мачта ВЭУ; 7 – коробка передач; 8 – подшипник рыскания; 9 – первичный вал; 10 – муфта; 11 – механический тормоз; 12 – вал генератора; 13 – крыльчатки; i_1 – ток из генератора; i_2 – ток из магнитной катушки; I – ток из солнечной панели

Результаты исследования

1. Измерялась выработки тока, напряжений и мощности солнечной панели в течении суток. Измерения проводилась каждый час. Полученные данные показан на (таб. 1), где по оси ординат показан время измерения, по оси абциссы показан величина выработанного тока солнечной панели. Скорость ветра

4 м/сек – 16 м/сек, инсоляция солнечной энергии $Q = \dots \dots$ На (рис. 2), показан изменения выработки тока солнечной панели в течении суток. На (рис. 3), показан изменения напряжения в течении суток. На (рис. 4), показан изменения электрической мощности выработанная солнечной панели.

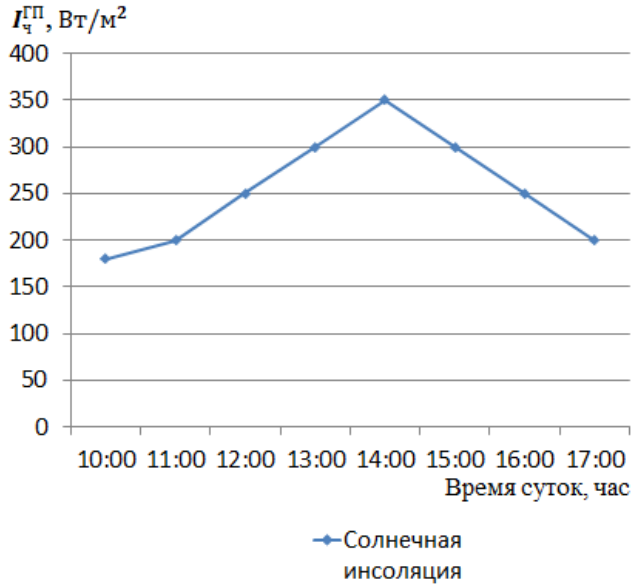


Рисунок 2. Суточная солнечная инсоляция для г. Туркестан(1.03.2023)

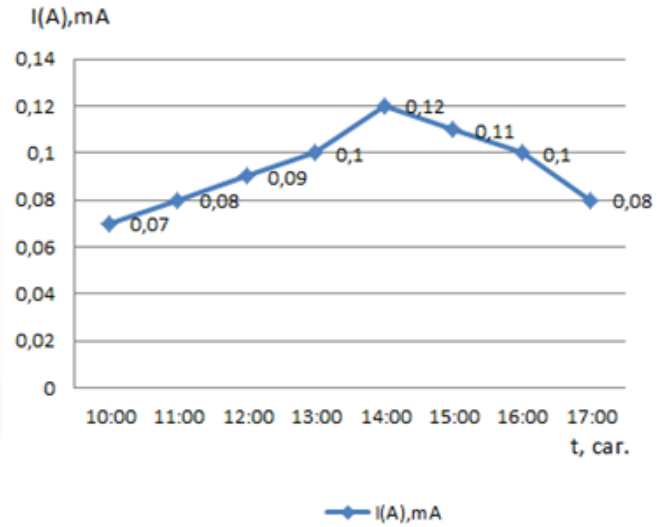


Рисунок 3. График зависимости выработки тока I(A) солнечной панели от суточного изменения инсоляции солнца

Таблица 1.– Выработанная электрическая энергия солнечной панели

t, время	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
I (mA)	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,12	0,1	0,08
U (V)	7,12	7,35	7,55	7,65	7,83	8,02	7,73	7,5
P (Wt)	0,5	0,585	0,688	0,765	0,94	0,96	0,773	0,6

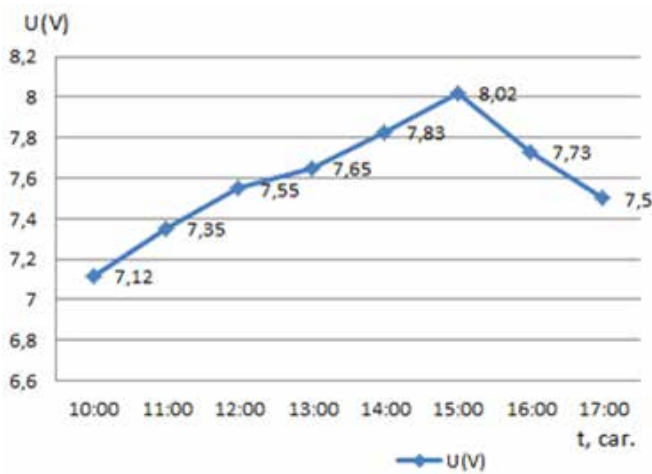


Рисунок 4. График изменения U(V) напряжения, солнечной панели в течение дня

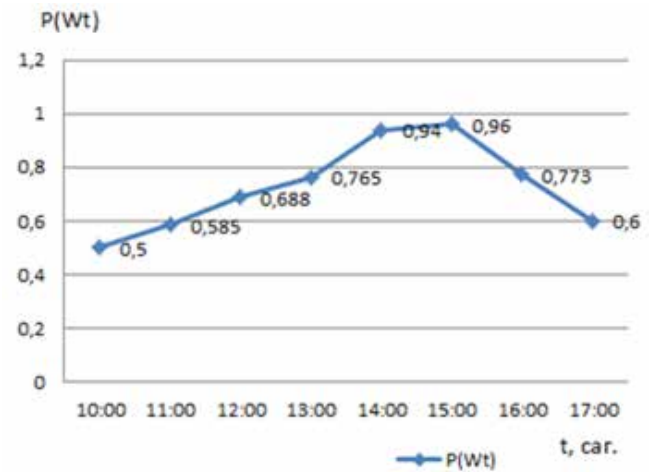


Рисунок 5. График изменения выработки мощности P(Wt), солнечной панели в течение дня

2. Измерялись выработки тока, напряжений и элетрической мощности ветрогенера- тором ВЭУ. Полученные данные отражены на (таб. 2).

Таблица 2. – Выработка элетрической энергии генератором ВЭУ в зависимости от скорости ветра

v	(m/s)	4	6	7,5	8	13	16
I	(A)	0,425	0,631	0,716	0,743	0,825	0,91
U	(V)	1,3	2,01	2,54	3,05	3,26	3,41
P	(Wt)	0,55	1,27	1,81	2,27	2,69	3,1

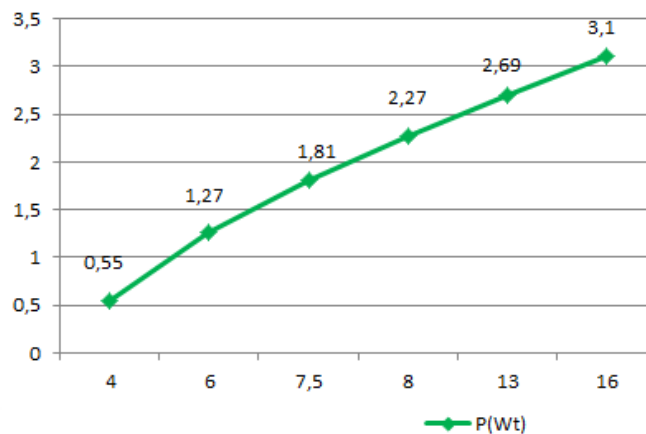
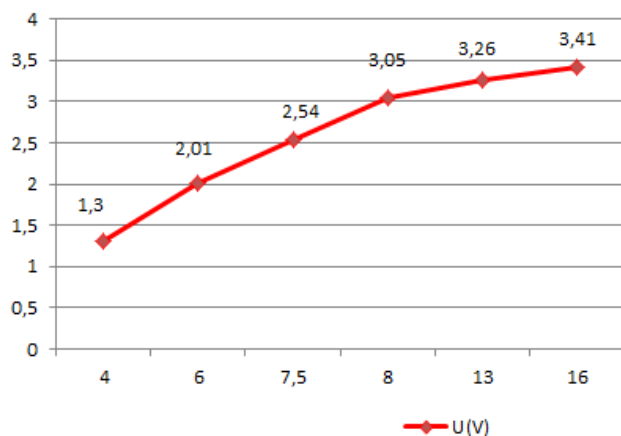
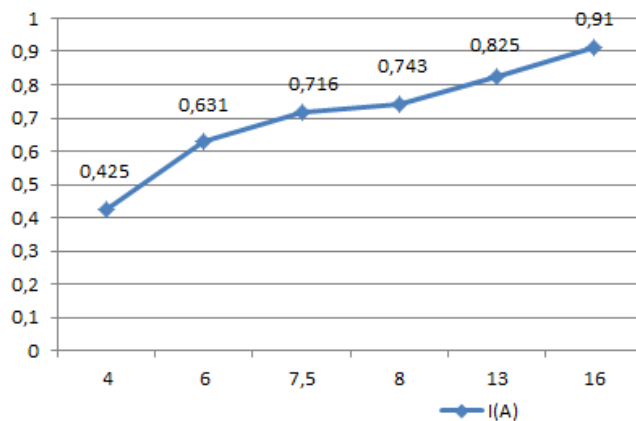


Рисунок 6. График зависимости выработка электрической энергии генератором ВЭУ от скорости ветра. Здесь силы тока I – ток, U – напряжения и P – мощность

3. Измерялись выработка элетрической энергии ветрогенератора ГВСЭУ в зависимо- сти от изменения скорости ветра. Полученные данные показаны в (таб. 3).

Таблица 3. – Значения выработанных токов, напряжений и мощности ГВСЭУ в зависимости изменения от скорости ветра

v	(m/s)	4	6	7,5	8	13	16
I	(A)	0,485	0,681	0,746	0,793	0,838	0,95
U	(V)	1,6	2,21	2,74	3,15	3,46	3,61
P	(Wt)	0,776	1,505	2,05	2,5	2,9	3,4

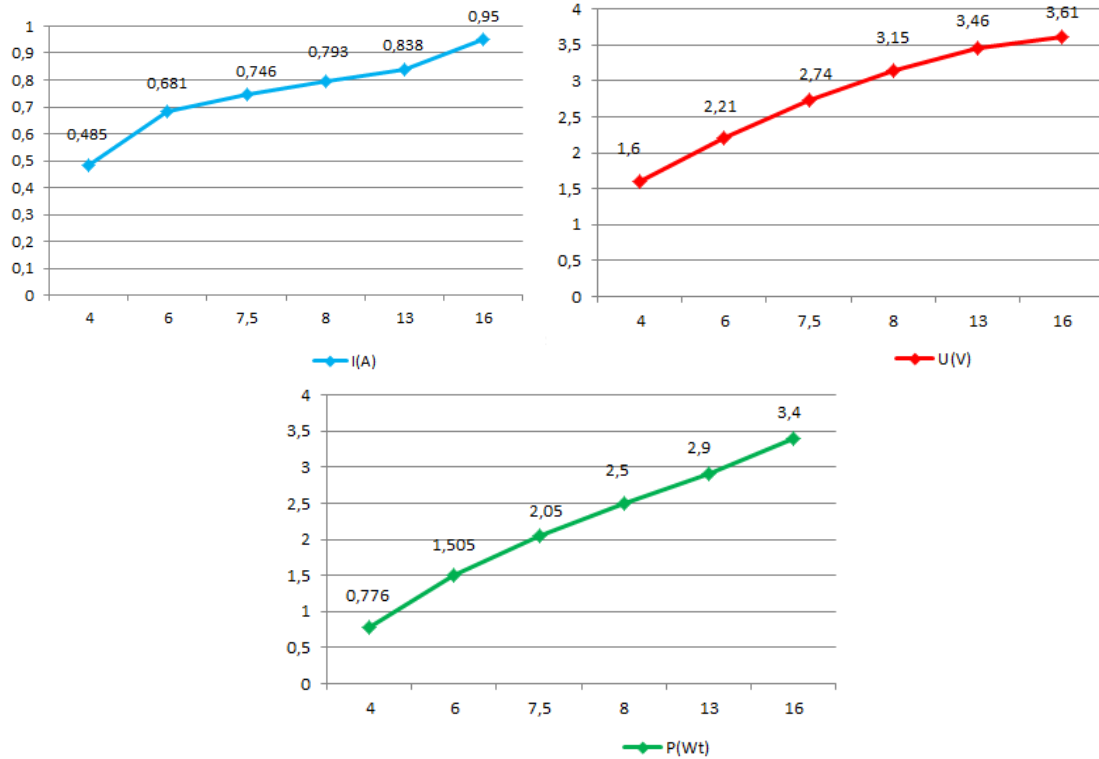
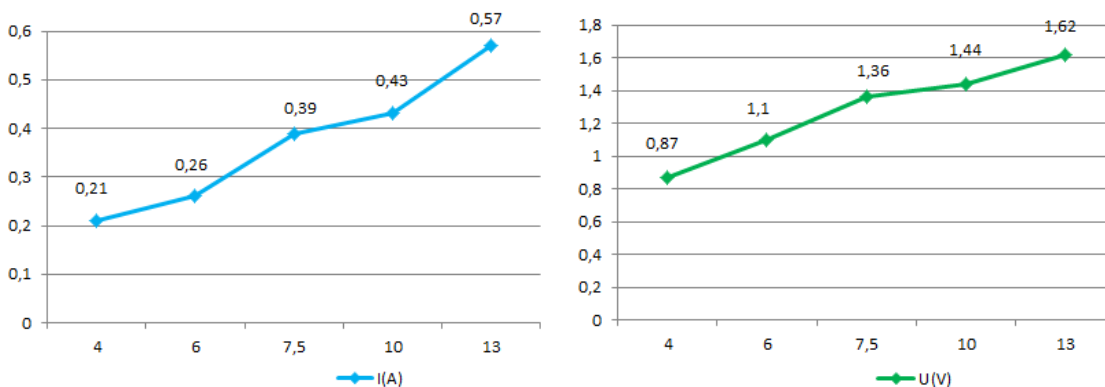


Рисунок 7. График зависимости выработка электрической энергии генератором ГВСЭУ от зависимости скорости ветра. Здесь силы тока I(A) –ток, U(V) – напряжения и P(Wt), – мощность

4. Измерялись выработка электрической энергии магнитной катушкой. Полученные данные показаны на (таб. 4).

Таблица 4.– Значения выработанных токов, напряжений и мощности магнитной катушкой ГВСЭУ в зависимости изменения от скорости ветра

v	(m/s)	4	6	7,5	10	13
I	(A)	0,21	0,26	0,39	0,43	0,57
U	(V)	0,87	1,1	1,36	1,44	1,62
P	(Wt)	0,1827	0,286	0,5304	0,62	0,9234



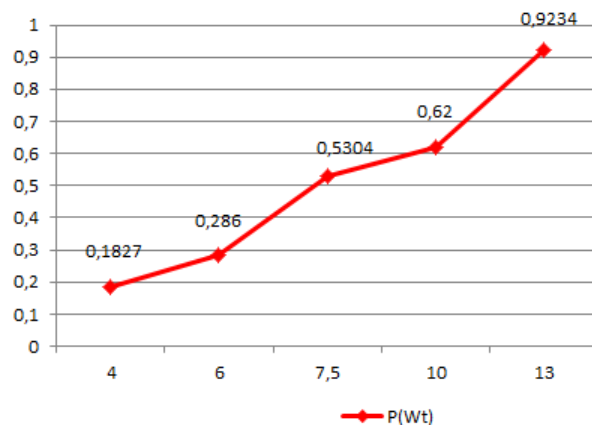


Рисунок 8. График зависимости выработки электрической энергии магнитной катушкой ГВСЭУ от скорости ветра. Здесь силы тока I (A) – ток, U (V) – напряжения и P (Wt), – мощность

Таблица 5.

v	(m/s)	4	6	7,5	10	13
I	(A)	0,18	0,21	0,34	0,40	0,5
U	(V)	0,8	1,01	1,3	1,4	1,55
P	(Wt)	0,108	0,2121	0,442	0,56	0,775

Таким образом, выработанная электрическая мощность ВЭУ в зависимости от скорости ветра выработанная электрическая

мощность ГВСЭУ в зависимости от скорости ветра. Из этой таблицы видно эффективность ГВСЭУ.

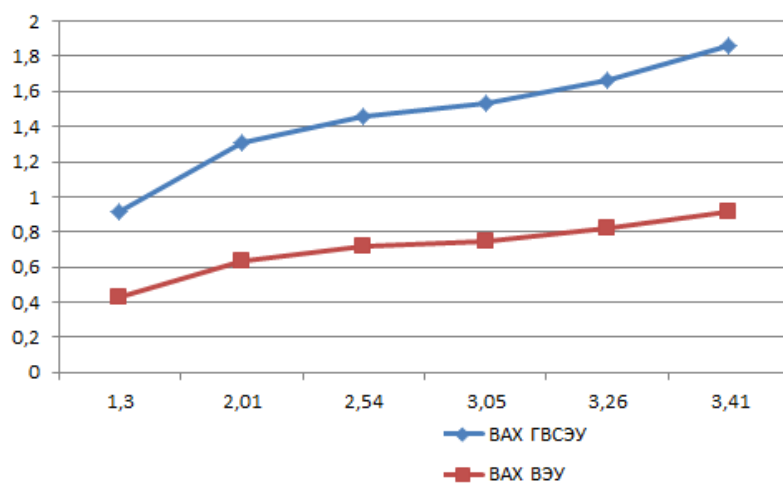


Рисунок 9. Показана сравнения ВАХ ВЭУ и ГВСЭУ

Прежде чем сделать компьютерную модель гибридной ветроэнергетической установки рассмотрим процедуру математического моделирования ГВСЭУ.

Предлагаемая модель основывается следующей блок схеме

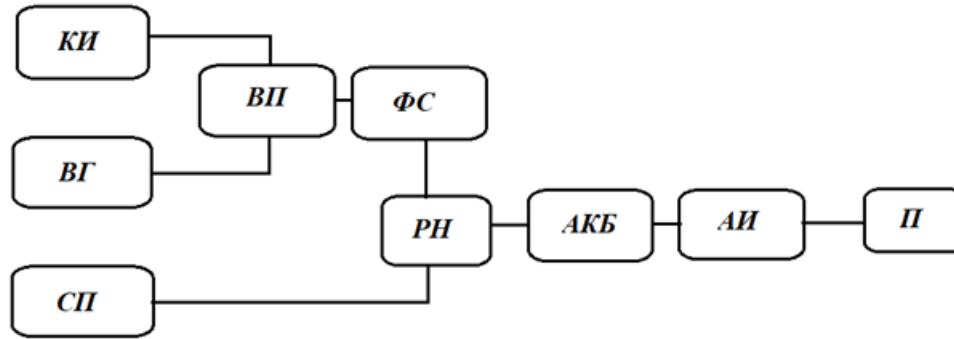


Рисунок 10. Блок схема ГВСЭУ

КИ – катушка индуктивности, *ВГ* – ветрогенератор, *СП* – солнечная панель, *ВП* – выпрямитель, *ФС* – фильтр сглаживания, *РН* – регулятор напряжения, *АКБ* – аккумуляторная батарея, *АИ* – автономный инвертор, *П* – потребитель

На основе блок схемы ГВСЭУ (рис. 10) построили электрическую модель ГВСЭУ, на основе

которой можно будет предложить метод подключения РГЭ в общую распределительную сеть

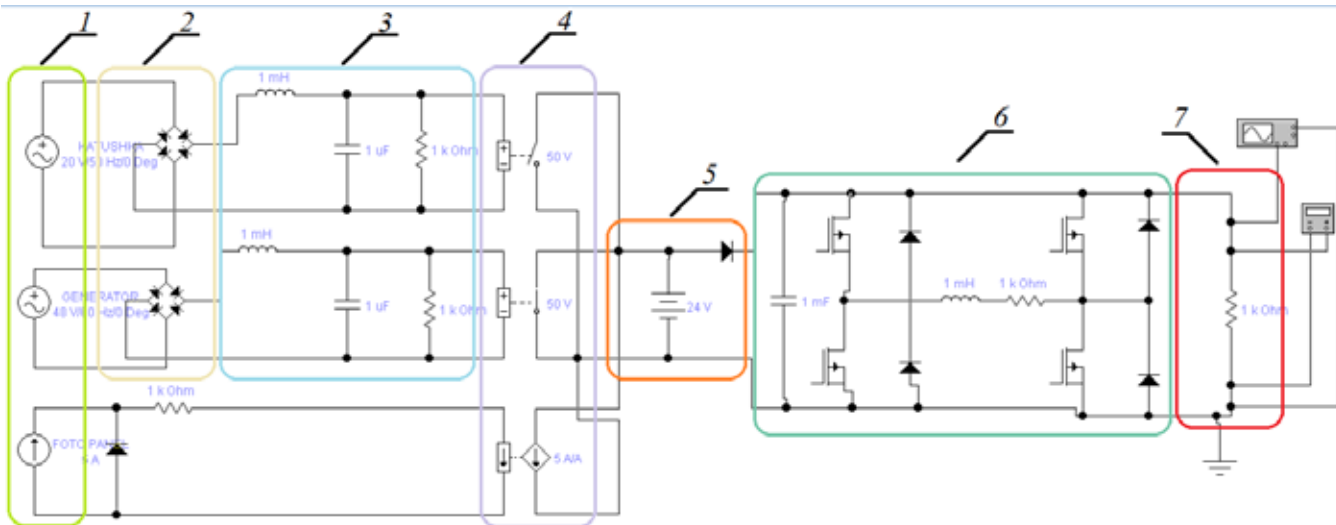


Рисунок 11. Электрическая модель ГВСЭУ на основе программа Electronic Workbench

На рисунке выделено по номерациями каждая часть электрической схемы ГВСЭУ. Выработанное напряжение из катушек, генератор и солнечный панели (1), выпрямляется на диодном мосте (2), выпрямленное напряжения сглаживает через фильтр сглаживанием (3), сглаженный напряжение проходить через регулятор напряжения (4) и заряжает аккумуляторного блока (5). Полученный постоянный ток преобразуются на инверто-

ру (6) и передаётся переменное напряжение к потребителю (7).

Исходя из электрической модели показанной на (рис. 11) можно предложить метод подключения ГВСЭУ установку в общую распределительную сеть.

Сравнительный анализ схем автономных ГВСЭУ показал, что наиболее перспективным способом сопряжения устройств вырабатывающих электрическую энергию в ГВСЭУ является

использование промежуточной вставки постоянного тока. В этом случае РГЭ на базе ГВСЭУ может быть построен по совокупному принципу, легко масштабируется и при необходимости перестраивается. Кроме того, можно объединить структуру и конструкцию электронных силовых преобразователей для модельного ряда мощностей. Использование вставки постоянного тока позволяет более просто суммировать и распределять потоки электроэнергии из генерирующих источников и внедрять эффективные методы управления для этого процесса.

Предложенная нами РГЭ работающая на базе ГВСЭУ показан на (рис. 9).

РГЭ работающая на базе ГВСЭУ вырабатывающая постоянную и переменную электрическую энергию состоит из мачты 1, солнечные панели 2, магнитных лопастей 3, асинхронного двигателя 4, индукционной катушки 5, выпрямитель 9, 15 шина постоянного тока, инвертор 10 с переключателем 11, потребитель тока 220/380 13, потребитель тока 6 или 10 Квт 16, блок накопитель энергии (БНЭ) 14 и аккумуляторы 12, точки подключения следующих гибридных ветроустановок 17.

Эта система работает следующим образом. Под действием ветра магнитные лопасти 3 вырабатывая переменный электрический ток 7 с помощью асинхронного двигателя 4, и вокруг себя создает магнитное поле, который пересекая обмотки индукционной катушки, вырабатывает переменный индукционный ток 8. Постоянный ток, выработанный, на солнечных панелях 2 через контроллер 9 передается на шину постоянного тока 15. Из шины ток подается инвертору 10, и переменный ток 220/380, или 6–10 Квт подается потребителям 13 или 16. Избыточная электрическая энергия накапливается в блок БНЭ, имеющая двухсто-

ронную направленность. К 17 подключаются дополнительные гибридные ВЭУ.

Суммирование мощности выработанной электроэнергии агрегатами ГВСЭУ осуществляется на шине постоянного тока, к которой подключается нагрузка потребителя. Солнечные панели в этой схеме вырабатывает постоянный ток, Генератор ВЭУ может работать с изменяемой частотой вращения вала, для чего его выход подключен к шине постоянного тока через контроллер.

При подключении к распределительной сети ГВСЭУ одной из основных задач, которые необходимо выполнить за каждый расчетного, является распределение нагрузок между генерирующими агрегатами (генератор, индукционная катушка, солнечные панели). Это осуществляется следующему методу:

1. Определяется (на основе климатических условий и астрономических параметров Солнце) потенциально возможное генерирование мощности ГВСЭУ.

2. Определяются потери активной мощности при передаче потенциально возможной сгенерированной электрической энергии ГВСЭУ потребителю.

3. Если суммарная мощность генерируемой ГВСЭУ электроэнергии не меньше нагрузки потребителя, то все это покрывается за счет возобновляемых источников энергии.

4. Если есть избыток энергии, то он передается БНЭ. В случае, когда БНЭ уже полностью заполнен, на соответствующую величину уменьшается мощность ГВСЭУ. Первоначально регулируется ветряная труба, а затем фотопанели.

5. Если общая мощность возобновляемых источников энергии меньше нагрузки потребителей, нехватка мощности покрывается за счет БНЭ.

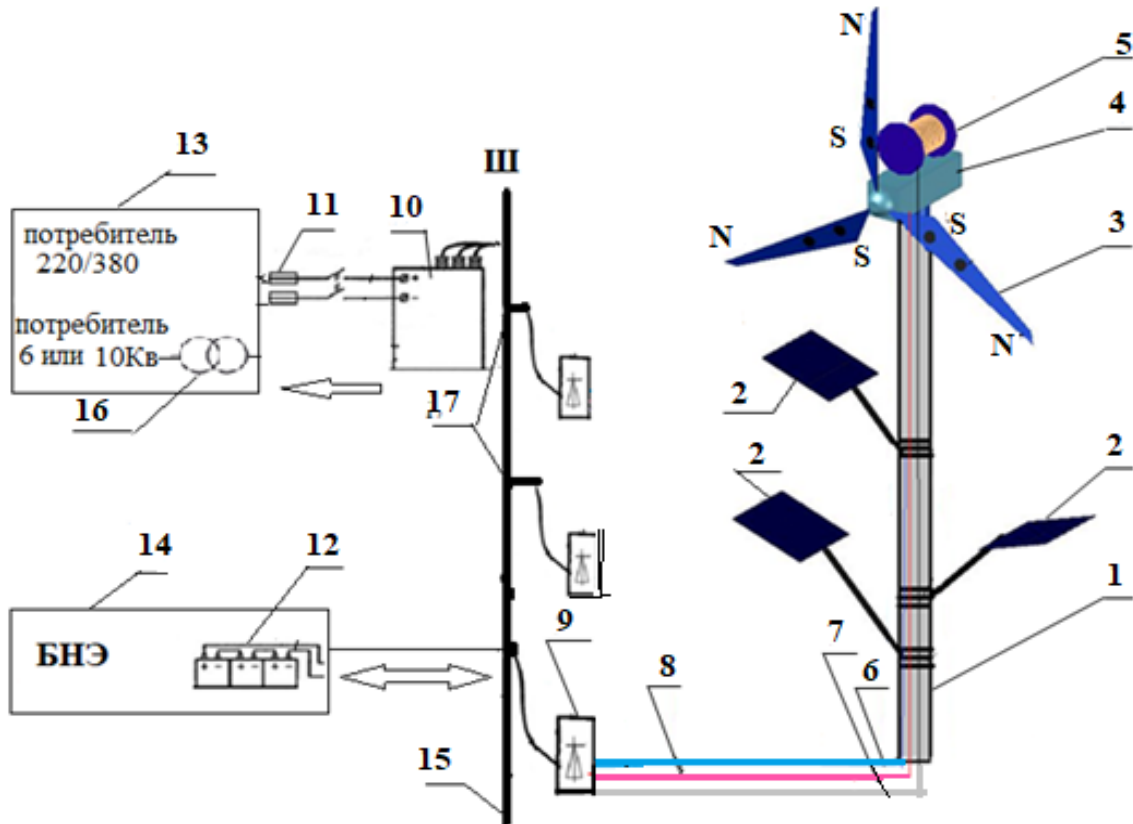


Рисунок 12. Система распределенной генерации электроэнергии на базе ГВСЭУ с накопителем энергии и суммированием мощности на шине постоянного тока

Выводы. Одним из способов энергосбережения посредством снижения потерь энергии, особенно при её передаче, является развитие распределённой генерации на основе гибридного ветросолнечной энергетической установки (ГВСЭУ), являющиеся многофункциональным энерготехнологическим комплексом, который служит для производства электрической энергии. Развитие ветроэнергетики в системе РГЭ способствует повышению её энергоэффективности и снижению затрат на потребляемую энергию. Для РГЭ на базе ГВСЭУ важно определить условия выбора

источников энергии с оптимальными параметрами. Для эффективного электроснабжения потребуется несколько ГСЭУ в составе РГЭ, количество которых следует оптимизировать по объёму вырабатываемой электроэнергии. При этом для снижения затрат на передачу электрической энергии необходимо сначала объединить их в составе ветропарка с центром сбора и передачи энергии. Ветропарки, в свою очередь, могут быть объединены в составе одной РГЭ для минимизации затрат на выработку электрической энергии

Список литературы:

1. Грачёв И. Д., Ильковский К. К., Есяков С. Я., Редько И. Я., Либет А. А., Ливинский А. П., Иванов В. Б., Варфоломеев С. Д., Артиков Р.Х-Б. О Концепции развития распределённой энергетики // Журнал С. О.К. – № 11. 2014. – С. 18–22.

2. Чиндский В. И., Гринько Д. В. Выбор оптимального решения для применения комбинированных установок на основе возобновляемых источников энергии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – № 1 (45), 2014. – С. 40–43.
3. Обухов С. Г., Плотников И. А. Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики // Журнал «Промышленная энергетика», – № 7. 2012. – С. 46–51.
4. Арифжанов А. Ш., Захидов Р. А. Схемотехнические решения подключения автономных источников энергетики на базе возобновляемых источников энергии в общую распределительную сеть. – Ташкент, жур. Проблемы информатики и Энергетики. – № 6. 2017. – С. 47–58.
5. Рустамов Н. Т., Эгамбердиев Б. Э., Меирбекова О. Д., Бабахан Ш. Гибридная система распределенной генерации энергии. European Journal of Technical and Natural Sciences – 1. 2023. – Р. 37–44.
6. Рустамов Н. Т., Эгамбердиев Б. Э., Мавлянов А. Ш., Бабахан Ш. А. Механизмы подключения автономных гибридных ветрогенераторов в общую распределительную сеть. European Journal of Technical and Natural Sciences – 6. 2022. – Р. 1111–1123.
7. Рустамов Н. Т., Бабахан Ш. А., Орысбаев С. А. Одностадийное электроснабжение на базе ВЭУ. – Екатеринбург. Международный научно-исследовательский журнал, Часть 1. – № 12 (102). 2020 г. – С. 71–75,
8. Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, Askhat Berguzinov. Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2/8 (116). 2022. – Р. 29–37. ISSN1729–3774.
9. Рустамов Н. Т., Бабахан Ш. А., Кибишов А. Т., Орысбаев С. А. Гибридизация ветровых энергетических установок. – Киев, Научный журнал «Архивариус» – #9(54). 2020 г. – С. 20–24.
10. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Бабахан Ш. А. Гибридная ветро-солнечная электростанция. Патент РК на полезный модель № 7391 от 19.05.2022.
11. Бабахан Ш., Рустамов Н. Т. Повышение эффективности ветроустановок. – Ташкент, жур. Проблемы информатики и Энергетики. – № 4. 2020. – С. 59–65.
12. Рустамов Н. Т. О создании гибридных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – № 4 (54). 2014. – С. 114–116. – ISSN1606–146X.
13. Naik S. G., Khatod D., Sharma M. Sizing and siting of distributed generation in distribution networks for real power loss minimization using analytical approach. In Proceedings of the 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), Sri Rangalatchum Dindigul, India, 6–8 February 2013. – Р. 740–745.
14. Jonkman J. M. “Modeling of the UEA Wind Turbine for Refinement of FAST_AD”. Technical report for the National Renewable Energy Laboratory. 2003.
15. Кирпичникова И. М., Соломин Е. В. Ветроэнергетические установки расчет параметров компонентов: УДК 621.311.24(075.8), Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 47 с.