

ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Мамедов Расул Акиф-оглы

*Доцент кафедры “Электрическая и энергетическая инженерия” Бухарского
государственного технического института*

Фазлиддинова Севинч Фазлиддиновна

*Студентка кафедры “Электрическая и энергетическая инженерия”
Бухарского государственного технического института*

Аннотация: в статье представлена методика оценки валового, технического и экономического потенциала на территории Бухарской области. В регионе были выявлены местности с высоким ветровым и гидроэнергетическим потенциалом, а также проанализировано внедрение ветряных и микрогидроэлектростанций. По результатам исследования было изучено значение ветровой и гидроэнергетики в развитии социально-экономической сферы отдаленных районов Бухарской области.

Ключевые слова: энергия ветра, гидроэнергетика, расход воды, функция распределения вероятностей Вейбула, валовый потенциал, технический потенциал, экономический потенциал.

В настоящее время все большее значение приобретают научные исследования по стабилизации экологического баланса в глобальном масштабе и экономии различных углеводородных топлив, составляющих энергетические ресурсы, расширению сферы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. В вопросе развития системы электроснабжения потребителей без ущерба для окружающей среды особое внимание уделяется использованию одного из возобновляемых источников энергии в мировой практике и научным исследованиям в этой области. Осуществляется быстрое развитие использования возобновляемых источников энергии, таких как энергия солнца, ветра, биомассы, геотермальная энергия и энергия воды. Из-за низкой стоимости электроэнергии, производимой на возобновляемых источниках энергии, воздействие на окружающую среду

практически отсутствует, такие проекты становятся все более и более доступными, в них вкладывают значительные средства инвестиций для перспективного развития исследований. Энергетический кризис, связанный с сокращением запасов органического топлива, и стремительно возрастающие проблемы экологии определяют все больший интерес во всем мире к использованию природных возобновляемых энергоресурсов. Среди них весьма существенное место по запасам и масштабам использования занимает энергия потоков воды и ветра. Гидроэнергетика является наиболее широко используемым возобновляемым источником энергии во всем мире, поскольку на нее приходится 19% мировой электроэнергии, вырабатываемой как крупными, так и малыми электростанциями. Валовой теоретический гидроэнергетический потенциал рек мира оценивается в 39100 млрд. кВт·ч. [1]. Что касается ветроэнергетики то за период 2022 года мировой рынок энергии ветра увеличился на 19%, добавив около 60 ГВт новых мощностей в мировые электрические сети (из них более 54 ГВт приходится на сушу и более 6 ГВт на море) [2].

Увеличение спроса на электроэнергию в результате увеличения численности населения, а также создание новых промышленных предприятий наблюдается во всем мире, конечно наша страна также не осталась в стороне. Доступность ветровых и гидроэнергетических ресурсов в стране, использование ветровой и гидроэнергии из возобновляемых источников энергии приобретает все большее значение для различных секторов экономики, особенно в развитии малого бизнеса и частного предпринимательства [3-5]. Особое внимание уделяется научным исследованиям, направленным на разработку надежных, экологически чистых технологий для удовлетворения этих потребностей. Точно оценивая ветровой и гидроэнергетический потенциал Бухарской области, мы можем восстановить энергетическую безопасность и экологические проблемы в регионе.

Методология оценки потенциала энергии ветра

При статистической обработке данных скорости ветра использовались несколько законов распределения. Наиболее распространенным теоретическим распределением является нормальное (нормативный), экспоненциальное, Вейбулла, логарифмическое нормальное (нормативный) или закон Гаусса, Реллея

и Гамма - распределения. На сегодняшний день широкое применение получило двухпараметрическое распределение Вейбулла в статистическом анализе ветроэнергетического потенциала в регионах[6].

Для характеристики скорости ветра используется плотность и интегральная функция распределения Вейбулла. Подробная информация о плотностях и интегральных функциях распределения приведены в следующих литературах [7,8].

$$f(V) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (1)$$

$$F(V) = \int_0^{\infty} f(V)dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Где: $f(V)$ – Плотность распределения Вейбулла; $F(V)$ – Интегральная функция распределения Вейбулла.

Чтобы проанализировать данные о скорости ветра, необходимо определить двухпараметрическое распределение вероятностей Вейбулла, а именно параметры масштаба и формы. Подробная информация о коэффициенте масштабирования и коэффициенте формы приведены в работе [9]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right)^{-1,086} \quad (3)$$

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (4)$$

Где: c – параметр масштаба, k – параметр формы, Γ – функция Гамма.

Согласно функции распределения Вейбулла, можно оценить среднюю скорость ветра, а также стандартное отклонение ветра, которые определяются с помощью выражений [10]:

$$\bar{V} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5)$$

$$\sigma = c \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{1/2} \quad (6)$$

Формула расчёта удельной мощности и энергии потока ветра для заданного региона при помощи рассчитанных параметров функции распределения Вейбулла [11]:

$$\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (7)$$

$$\frac{E_w}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) \cdot T \quad (8)$$

Метод определения ветроэнергетического потенциала на различных высотах путём экстраполяции.

На определенных высотах плотность воздуха и скорость ветра меняются. Плотность воздушного потока в зависимости от высоты определяется следующим образом[12]:

$$\rho = \rho_0 - (1,194 \cdot 10^{-4} \cdot H) \quad (9)$$

Где: ρ_0 – плотность воздушного потока в нормальных условиях $\rho_0 = 1,23 \text{ кг / м}^3$;

H – высота измерения скорости ветра.

Значение скорости ветра зависит от высоты. С ростом высоты скорость ветра увеличивается. Следующая формула основана на высоте скорости ветра:

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^\alpha \quad (10)$$

Где: V_2 – скорость ветра, измеренная на определенной высоте;

V_1 – скорость ветра, измеренная на начальном уровне;

H_1 – высота станции;

H_2 – выбранная высота;

α – коэффициент возрастания скоростей ветра на разных высотах.

Коэффициент возрастания скоростей ветра на разных высотах определяется по следующей формуле:

$$\alpha = [0,096 \log_{10}(Z_0) + 0,016 (\log_{10}(Z_0))^2 + 0,24] \quad (11)$$

Z_0 – шероховатость подстилающей поверхности. В степных районах $Z_0 = 0,1 \text{ м}$ [13].

Значения масштабного параметра и параметра формы на указанной высоте также изменяются. Определение этих параметров производится по следующим выражением[14]:

$$k_{H2} = \frac{k_{H1}}{1 - 0,0881 \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right)} \quad (12)$$

$$c_{H2} = c_{H1} \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^n \quad (13)$$

$$n = [0,37 - 0,0881 \ln(c_{H1})] \quad (14)$$

Пользуясь параметрами распределения Вейбулла рассчитанными на различных высотах, определим удельные мощность и энергию ветра на определенных высотах при помощи выражений (12), (13).

Методология оценки гидроэнергетического потенциала

Для оценки потенциальных гидроэнергетических ресурсов (без учета потерь при преобразовании водной энергии в электрическую) определяется валовой гидроэнергетический потенциал.

Валовой потенциал – теоретическое количество энергии, поступающее или образующееся на данной территории.

Действие силы воды определяется разностью уровней воды в начале 1-1 и конце 2-2 рассматриваемого участка. (Рис. 1) Если падение участка реки длиной L , м, составляет H , м, то при расходе воды Q , м³/с, равном его среднему значению в начале и конце участка, работа текущей воды в течение одной секунды, т.е. мощность водотока P , Вт или Дж/с, на рассматриваемом участке составляет:

$$P = \rho g Q H = 9810 Q H, \quad (15)$$

где ρ - плотность воды, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с². [15]

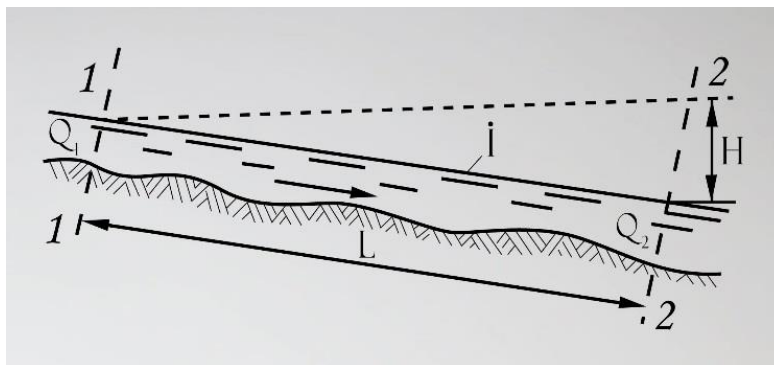


Рис. 1. Схематический продольный профиль участка оросительного канала.

L – длина участка; H – падение участка; i – уклон поверхности воды; Q_1 и Q_2 – расходы воды в створе 1-1 и 2-2.

Так как мощность в энергетике принято измеряться в киловаттах, то

$$P = 9,81 \cdot QH. \quad (16)$$

Энергия водотока $\mathcal{E}$, кВт·ч, определяются произведением мощности P на время t , с, составляет:

$$\mathcal{E} = \frac{9,81 \cdot QHt}{3600} = \frac{WH}{367}, \quad (17)$$

где $W = Qt$ – объём используемого стока, м³. [16]

Технический потенциал – часть валового потенциала, который можно реализовать с использованием существующих технологий.

Помимо потенциальных гидроэнергоресурсов необходимо знать ту часть гидроэнергетических ресурсов, которая может быть использована для получения электроэнергии путём создания гидроэлектростанции, – так называемый технический потенциал.

При определении технического гидроэнергетического потенциала учитываются все потери, связанные с производством электроэнергии. К ним относятся невозможность полного использования стока, потерями на испарение с поверхности водохранилищ и на фильтрацию из водохранилищ, потерями напора и мощности в проточном тракте и энергетическом оборудовании ГЭС.

$$P = 9,81QH_{\text{под}}\eta_m\eta_g \quad (18)$$

где Q – расход воды, м³/с, используемой ГЭС для получения электроэнергии, H – подведенный к турбине напор, определяемый разностью уровней верхнего и нижнего бьефов, η_m – к.п.д. турбины, η_g – К.П.Д генератора [17].

Коэффициент полезного действия гидротурбин зависит от их мощности, конструкции, диаметра рабочего колеса, изменения напора. Для турбин с диаметром рабочего колеса от 1 до 10 м наибольший К.П.Д. достигает значений от 0,89 до 0,95. Для генераторов в зависимости от их мощности К.П.Д колеблется в пределах 0,92-0,98.

Если заменить в (4) коэффициенты η_m, η_g одним коэффициентом k , то с учётом возможного отклонения нагрузки гидроагрегатов ГЭС от оптимальной средние значения коэффициента k для ГЭС с крупными и средними гидроагрегатами составят 8,2-8,8 для небольших гидроагрегатов (мощностью до 5 МВт) k равно 7,8-8,0.

После расчёта энергии технического потенциала мы подсчитали суммарную выработку электроэнергии в размере 237 млн кВт·ч в год. (Рис. 9).

Под экономическим гидроэнергетическим потенциалом подразумевают ту часть технического потенциала, которую в настоящее время экономически целесообразно использовать.

Результаты и обсуждение.

На рисунке 2 показана линейная скорость ветра. Соответственно, средняя скорость ветра составляет 3,404 м/с на высоте 10 м, 4,4 м/с на высоте 50 м и 4,9 м/с на высоте 100 м.

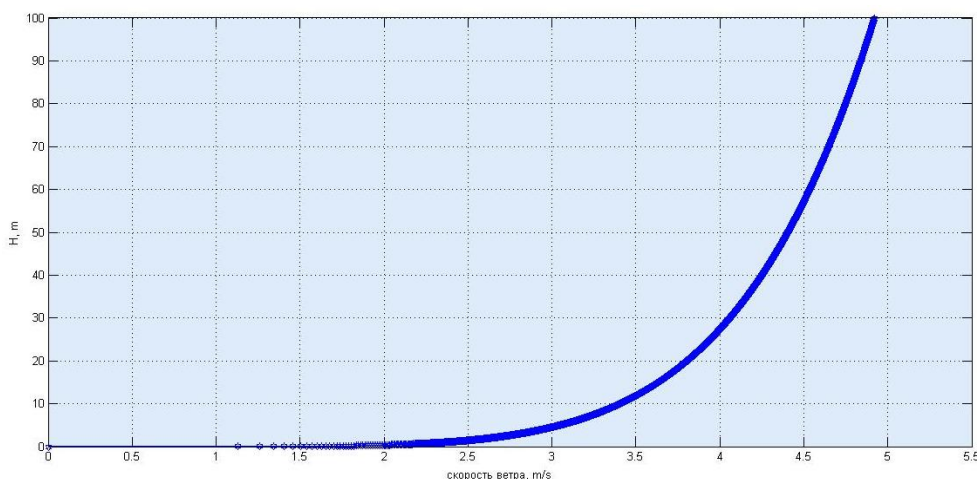


Рис.2. Средняя скорость ветра на различных высотах с помощью метода экстраполяции.

На рисунках 3 и 4 показаны значения плотности энергии ветра и плотности энергии ветра при разной высоте ветра. Соответственно, удельная мощность ветра и удельная энергия ветра на высоте 100 м составили 164,79 Вт/м², 1443,59 кВтч/м².



Рис.3. Среднегодовое значение для измеренных по распределению Вейбулла удельной мощности ветра на выбранных высотах.



Рис.4. Среднегодовое значение для измеренных по распределению Вейбулла удельной энергии ветра выбранных высотах.

С увеличением расхода воды в летнее время года, также растёт валовый потенциал энергии воды что заметно из нашей диаграммы. Можно увидеть, что наименьшее значение 13,9 МВт приходится на март месяц, с последующими месяцами мощность растёт и в июле принимает свое максимальное значение что составляет 37,1 МВт, что по отношению к весеннему периоду превышает почти в 2-2,5 раза. Осенью валовый потенциал идёт на спад и отпускается до отметки в 16,1 МВт в зимний период. (Рис. 5)

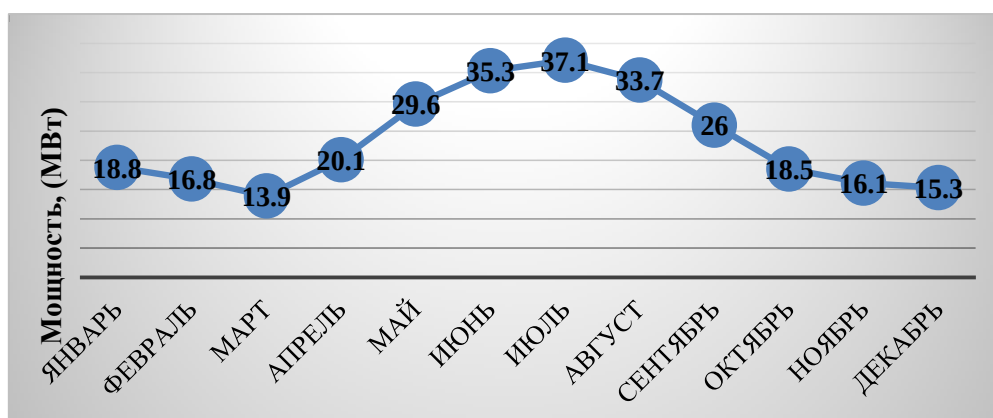


Рис. 5. Валовый гидроэнергетический потенциал за период 2023 года для территории Бухарской области

На основании данных за 2023 год можно сделать вывод что на период летнего времени приходится больше выработанной электроэнергии по отношению к зимнему периоду. Полученные данные были введены в диаграмму (рисунок 6).

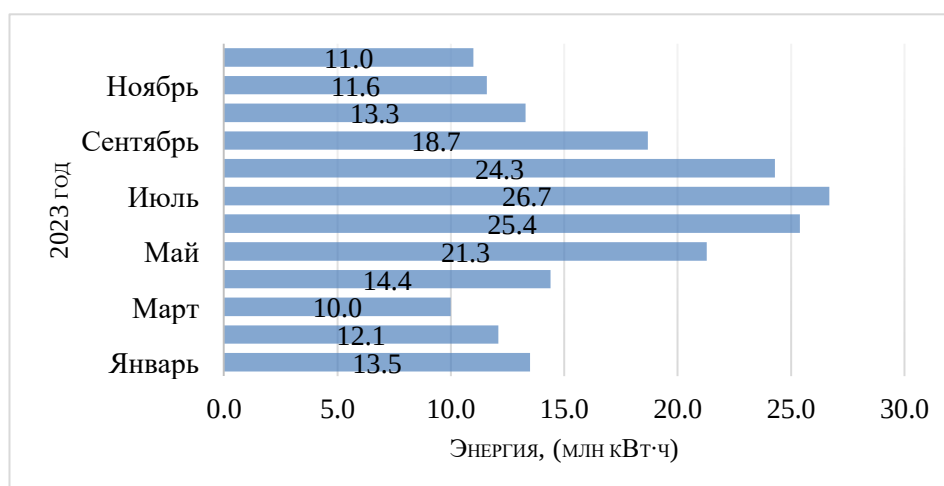


Рис. 6. Энергия водотока (млн кВт·ч) валового гидроэнергетического потенциала за период 2023 года для территории Бухарской области

При определении технического гидроэнергетического потенциала с учётом потерь был принят коэффициент полезного действия равный 0,82. По диаграмме видно, что в летний период времени установленная мощность достигает около 30 МВт. (Рис. 7).

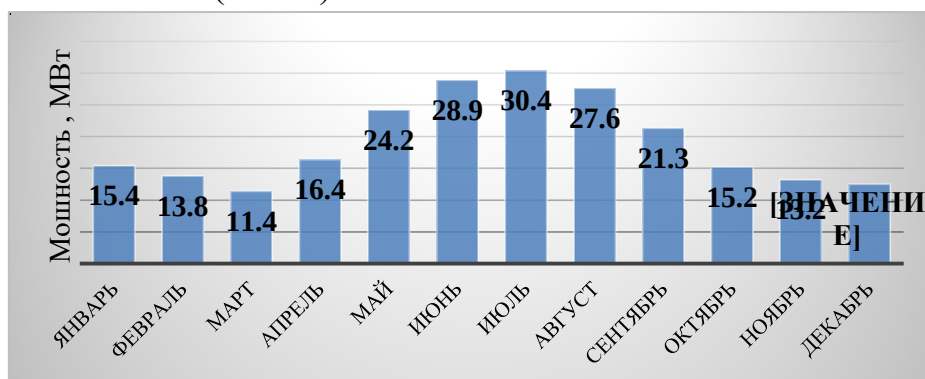


Рис. 7. Технический гидроэнергетический потенциал за 2023 год для территории Бухарской области

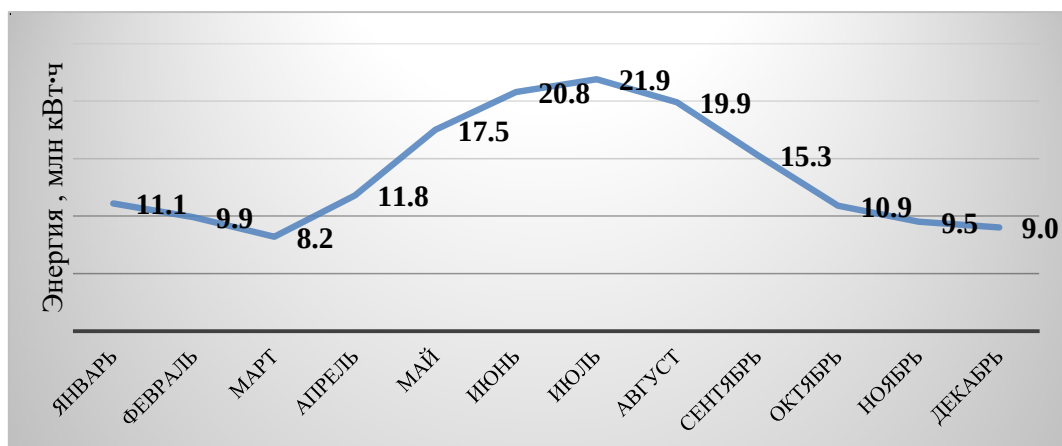


Рис. 8. Энергия водотока технического гидроэнергетического потенциала за 2023 год для территории Бухарской области

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значения удельной мощности и энергии ветра на высоте 10 м были определены и проанализированы с использованием функции распределения

вероятностей Вейбулла. Соответственно, средняя удельная энергия ветра составляет $40,98 \text{ Вт/м}^2$, а годовая удельная энергия ветра $359,56 \text{ кВт/м}^2$. Потенциал ветра на разных высотах определялся с помощью распределения Вейбулла. Соответственно, значения удельной мощности ветра и удельной энергии ветра на высоте 100 м были определены методом экстраполяции $164,79 \text{ Вт/м}^2$, $1443,59 \text{ кВтч/м}^2$.

Исследование показало что Аму-Бухарский канал обладает хорошим гидроэнергетическим потенциалом, благодаря этого средняя мощность технического гидроэнергетического потенциала за год составляет 19,2 МВт, а его энергия составляет 165,8 млн Вт·ч в год. Гидроэнергетический потенциал может послужить путём решения проблем с электрификацией отдалённых районов с бесперебойной и надёжной электроэнергией, снизить выбросы парниковых газов на атмосферу, а также может способствовать развитию малого бизнеса, предпринимательства, сельского хозяйства вдоль оросительного канала в отдаленных районах Бухарской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>
2. <https://www.evwind.es/2020/07/05/wind-energy-expanded-19-in-2019-with-around-60-gw-of-new-capacity/75563>
3. Sadullaev N. N., Safarov A. B., Mamedov R. A., Kodirov D., "Assessment of wind and hydropower potential of the Bukhara region," 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering, 2020, pp. 1–7.
4. 16. Uzakov G.N., Kuziev Z.E., Safarov A.B., Mamedov R.A. “[Development of a System for Modeling the Design and Optimization of the Operation of a Small Hydroelectric Power Station](#)”. International Scientific and Practical Conference Digital and Information Technologies in Economics and Management. November 2023, pp. 243-252
5. 17. Uzakov G.N., Kuziev Z.E., Safarov A.B., Mamedov R.A. “Improvement Research of a Vertical Axis Micro Hydro Power Plant”, International Journal of

Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 11, Issue 2, February 2024, pp. 21438- 21443

6. Sh. Ahmed. "Wind energy characteristics and wind park installation in Shark El-Ouinat, Egypt". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. V.82. pp. 734-742.

7. G. Johnson. "Wind Energy Systems". 2006. pp. 2-16...2-43.

8. C. Ozay., M. Soner. "Statistical analysis of wind speed using two-parametr Weibull distribution in Alacati region". Energy conversion and management. 2016. V. 12. pp. 49-54.

9. M. Shoaib., I.Siddiqui., Y. Amir., S. Rehman. " Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V.70. pp. 1343-1351.

10. D. Hui Ko., Sh. Taek Jeong., Y. Chil Kim. "Assesment of wind energy for small-scale wind power in Chuuk State, Micronesia". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 52. pp. 613-622.

11. Y. Kantal., I. Usta. "Analysis of the upper-truncated Weibull distribution for wind speed". Energy conversion and management. V. 96. pp. 81-88.

12. P. Chaurasiya., S. Ahmed., W. Varudkar. "Stady of different parametrs estimation metods of Weibull distribution to determine wind power density using ground based Dopller SODAR instrument". Alexandra Engineering Journal. 2017. V.80. pp. 34-40.

13. J. Catoldo., M. Zeballos. "Roughness terrain consideration in a wind interpolation numerical model". Americas Conference on Eind Engineering-San Juan.2009. V.48. pp. 62-68.

14. G. Suvire. "Wind Farm -Technical Regulation, Potential Estimation and Siting Assessment". 2011. V.44. pp. 96-105.

15. N. Raman, I. Hussein, K. Palanisamy, Micro Hydro Potential in West Malaysia. Proceedings of ICEE 2009 3rd International Conference on Energy and Environment. (2009) 348-358.

16. В.И Обрезов, Н.К. Малинин и др. Гидроэнергетика 1981 стр 20-22.

17. Yulianus Rombe Pasalli, Adelhard Beni Rehiara, «Design Planning of Micro-hydro Power Plant in Hink River». Procedia Environmental Sciences 20 (2014) 55-63