

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

Ветроэнергетические ресурсы Оренбургской области

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 5 курса 521 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Александрова Юрия Александровича

Научный руководитель,

д.г.н. _____

А.Б. Рыхлов

Заведующий кафедрой,

профессор, д.ф.-м.н. _____

М.Б. Богданов

Саратов 2018

Введение. Возрастающий интерес к энергетическим ресурсам связан с глобальным потеплением и последствиями парникового эффекта. Сегодня люди понимают, что запасы ископаемого топлива ограничены и его использование ведет к загрязнению окружающей среды: так, эмиссия диоксида углерода приводит к глобальному потеплению, а диоксид серы является причиной кислотных дождей. Если принимать это во внимание, то все более привлекательным становится использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), к которым относятся: солнечная радиация, энергия ветра, энергия рек, приливов и океанских волн, энергия, заключенная в биомассе и органических отходах.

Целью работы является изучение природных возможностей развития ветроэнергетики в Оренбургской области.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- изучить и применить методику вычисления скоростей ветра на различных высотах приземного слоя атмосферы по данным наземных метеорологических наблюдений;
- вычислить удельную мощность ветрового потока на различных высотах;
- провести анализ и оценить ветроэнергетический потенциал Оренбургской области.

В ходе проведения работы эти задачи были выполнены. Полученные данные говорят о том, что Оренбургская область располагает значительными ресурсами ветровой энергии, достаточными для использования ветроэнергетических ресурсов круглый год. Это говорит о том, что в Оренбургской области выгодно использовать ветроэнергетические генераторы.

Основное содержание работы. В данной работе было ценено состояние ветроэнергетики. Энергетический кризис 1973 г. стал той точкой отсчета,

после которой началось интенсивное развитие возобновляемых источников энергии вообще и ветроэнергетики в частности.

Уже в 1974 г. во многих промышленно развитых странах мира стали разрабатываться и приниматься государственные многолетние программы исследований, разработок и использования возобновляемых источников энергии.

Рассмотрены методы оценки ветроэнергетических ресурсов.

Согласно теоретическим основам аэродинамики силу давления ветрового потока P на единицу площади поверхности ветрового колеса можно с большой точностью считать пропорциональной так называемому ветровому напору - кинетической энергии единицы объема воздуха:

$$P = \rho \frac{v^2}{2} \quad (2.1)$$

где ρ - плотность воздуха, а v - скорость ветра.

Момент этой силы, вызывающий вращение ветрового колеса, также пропорционален величине P , а угловая скорость вращения колеса пропорциональна скорости ветра v . Поэтому мощность N , выдаваемая ветродвигателем, утилизирующим скорость ветра v , пропорциональна так называемой удельной ветроэнергетической мощности:

$$N = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (2.2)$$

Поскольку речь идет лишь о пропорциональности, множитель $1/2$ в формуле (2.2) может быть, разумеется, опущен. Принято, однако, под ветроэнергетической мощностью понимать именно величину N формуле (2.2), а не вдвое большую. Формула (2.2) используется для оценки потенциальных ветроэнергетических ресурсов.

Эта же особенность не позволяет оценивать среднюю за какой-либо отрезок времени (месяц, год) удельную мощность ВЭУ по средней скорости ветра и использовать ее для расчета величины вырабатываемой энергии. Поэтому среднюю потенциальную удельную мощность ВЭУ во всем диапазоне скоростей ветра при $\rho = \text{const}$ следует рассчитывать как

$$\bar{N} = \frac{1}{2} \bar{\rho} \int_0^{\infty} f(v) v^3 dv \quad (2.3)$$

где $f(v)$ - дифференциальная функция распределения скоростей ветра за определенный промежуток времени (месяц, сезон, год). Установление функции $f(v)$ - задача, имеющая важное научное и прикладное значение.

Приведенный интеграл можно представить интегральной суммой:

$$\bar{N} = \frac{1}{2} \bar{\rho} [p(v_1)v_1^3 + p(v_2)v_2^3 + \dots + p(v_n)v_n^3] \quad (2.4)$$

где $v_{1,2,3..n}$ - конкретные значения скоростей ветра, $p_{1,2,3..n}$ - повторяемость этих значений. Данные вычисления можно произвести с использованием справочников по климату, где помещены таблицы повторяемостей различных градаций скоростей ветра. Разумеется, полученные оценки средних значений удельной мощности следует относить к тому пункту, где произведены метеорологические наблюдения. При использовании этих данных в качестве v_n берется значение скорости ветра для середины градации.

Для оценки утилизируемых ветроэнергетических ресурсов необходимо учесть, что ветродвигатель не одинаковым образом реагирует на различные скорости ветра. Поэтому вместо реальной скорости ветра v в формулу (2.2) следует ввести утилизируемую скорость ветра u , т. е. написать

$$N = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (2.5)$$

Именно при малых скоростях ветра $v < v_0$, где v_0 - так называемая скорость трогания, ветровое колесо вообще не вращается, так что при таких v нужно положить $u=0$. Это же верно и для очень больших скоростей ветра $v > v_{\max}$, представляющих опасность. При таких скоростях двигатель приходится выводить из-под нагрузки. Наконец, в интервале скоростей $v_p < v < v_{\max}$ осуществляется автоматическое регулирование, вследствие которого ветровое колесо при любой скорости ветра в этом интервале вращается с той же угловой скоростью, как и при скорости регулирования v_p . Это означает, что $u=v_p$ при $v_p < v < v_{\max}$. Таким образом,

$$u = \begin{cases} 0 & \text{при } v = v_{ft} \\ v & \text{при } v_0 < v < v_p \\ v_p & \text{при } v_p < v < v_{max} \\ 0 & \text{при } v > v_{max} \end{cases}$$

Зависимость u от v , показанная на рисунке 2.1, может рассматриваться как передаточная функция ветродвигателя. В силу предположения о квазистационарности u считается зависящей только от значения v в тот же момент времени. Реальная картина, разумеется, сложнее. В частности, если v , изменяясь, становится меньше, чем v_0 , то ветродвигатель продолжает некоторое время работать, хотя это противоречит формуле (2.6). Но даже если отбросить нестационарность, надо иметь в виду, что стилизация (2.6) является весьма грубой. Так, в действительности разрыва функции $u(v)$ при $v=v_0$, конечно, не существует. Мы, тем не менее, будем использовать аппроксимацию (2.6), поскольку, как будет видно из дальнейшего, она мало сказывается на получаемых результатах. Впрочем, если бы была известна более корректная аппроксимация зависимости $u(v)$, то не представляло бы затруднений повторить с ней все расчеты.

Как следует из выражения (2.2), удельная мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра, и в силу этого она значительно возрастает даже при небольшом усилении ветра. Так, при усилении скорости ветра в 2 раза мощность ВЭУ возрастает в 8 раз. Из-за кубической зависимости мощности от скорости ветра наибольший, как будет показано ниже, вносят не наиболее часто наблюдаемые и даже не средние скорости ветра, а скорости, превышающие последние в 1,7—1,9 раза.

Отсюда следует, что для оценки мощности ветроустановок и количества вырабатываемой ими энергии необходима надежная информация о частоте различных скоростей ветра в предполагаемом районе их установки на уровне оси ветроколеса.

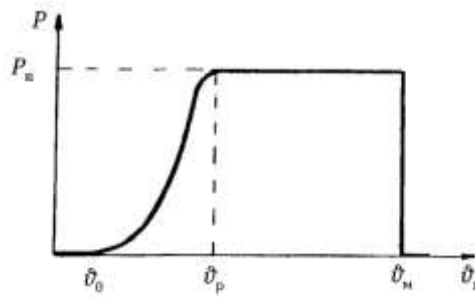


Рисунок 2.1 - Режим работы ВЭУ [4]

Плотность ρ меняется мало, и в пределах совокупности осредняемых случаев ее, как правило, можно считать постоянной. Именно плотность связана с давлением p и температурой t уравнением состояния

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2.7)$$

(R - удельная газовая постоянная для воздуха; T – абсолютная температура), которое с достаточной для наших целей точностью можно переписать в виде

$$\rho = \rho_0(1 + \beta p) \times (1 - \alpha t) \text{ кг/м}^3 \quad (2.8)$$

где $\beta=0,001$; p - атмосферное давление, гПа; $\alpha=0,00366$; t - температура, °С; $\rho_0=1,275 \text{ кг/м}^3$. Из (2.8) видно, что изменения ρ_0 в одной точке составляют несколько процентов, т. е. гораздо меньше изменений величины u^3 .

Годовой ход ρ обусловлен годовым ходом температуры воздуха. Как видно из (2.8), его амплитуда также составляет несколько процентов. Тем не менее годовой ход ρ целесообразно принимать во внимание, поскольку его недоучет приводит к систематическим ошибкам - занижению ветроэнергоресурсов зимой и завышению их летом.

Рассчитаны среднемесячные и годовые скорости ветра и удельная мощность ветрового потока на высотах.

В качестве исходного материала использовались данные многолетних метеонаблюдений из Научно-прикладного справочника по климату СССР в соответствии с таблицей 3.1.

Для расчета ветроэнергетического потенциала использовалась формула

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \beta^{-\frac{3}{\gamma}} v^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right) \quad (3.1)$$

где Γ - гамма-функция при расчетах используется свойство $\Gamma(x+1)=x\Gamma(x)$, v - средняя скорость ветра. Значения гамма-функции затабулированы.

При известных параметрах $\beta = 0,88$ и $\gamma = 1,37$ для нахождения $N_{уд}$ на требуемой высоте необходимы только данные о средней скорости ветра на уровне оси ветроколеса. Используя значения параметров β и γ и значения гамма-функции от них можно привести формулу (3.1) к виду

$$N_{уд} = \frac{1}{2}\rho * 3,176 * \bar{v}^3 \quad (3.2)$$

Как следует из формулы (3.2), действительно, вблизи земной поверхности удельная мощность ветрового потока пропорциональна кубу средней скорости, но она в рассматриваемом регионе должна быть увеличена в 3,176 раз [4].

Для расчёта удельного ветроэнергетического потенциала используем данные средних скоростей ветра из Справочника по климату СССР [12], и воспользуемся формулой (3.2).

Первые два фактора зависят от выбора района установки ВЭУ, удельная выработка ветровой электроэнергии полностью зависит от силы ветра и продолжительности энергоактивных скоростей на данной территории. Остальные факторы являются функциями генераторов. Также следует иметь в виду, что получение энергии достигается лишь при скорости ветра, находящейся в допустимом рабочем диапазоне для каждого ветроагрегата.

Удельная мощность ветрового потока на высоте флюгера рассчитана по формуле (3.2) и результаты приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Удельная мощность ветрового потока для метеостанций Оренбургской области на высоте флюгера, Вт/м² (составлено автором)

Станция	Месяц, $N_{уд}$ (Вт/м ²)												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Троицкое (Асекеевского района)	190	155	166	115	144	99	70	64	99	166	190	215	134

Фадеевский (б. Пономаревский з/свх)	307	290	342	202	202	134	99	83	134	229	274	307	202
Сорочинск	144	144	155	115	115	77	53	47	64	125	125	166	107
Троицкое (Тюльганского района)	58	58	77	53	83	47	34	30	47	91	70	70	58
Совхоз им. Калинина	215	202	202	166	155	107	91	77	91	134	144	166	144
Оренбург, ГМО	190	215	202	177	190	125	107	91	91	144	166	190	155
Ирикля	202	229	202	166	190	144	115	99	134	202	202	215	177
Кувандык	125	134	177	107	115	70	58	47	70	125	134	134	107
Акбулак	125	155	166	99	99	64	58	53	47	77	83	99	91
Домбаровский	144	166	190	166	166	134	107	77	99	166	155	144	144

По данным таблицы 3.2 удельная мощность ветрового потока на высоте флюгера изменяется в пределах 30-350 Вт/м². Максимальные значения отмечаются на западе (Фадеевский) и востоке (Ирикля) области, минимальные в центральной части - Троицкое (Тюльганского района).

Расчет скорости ветра для различных высот z , превышающих высоту флюгера h , производился по степенной формуле:

$$\frac{\bar{v}_z}{\bar{v}_h} = \left(\frac{z}{h}\right)^m \quad (3.3)$$

где v_z и v_h – средние скорости ветра на высотах z и h соответственно, m – безразмерный параметр, зависящий от состояния турбулентности, стратификации атмосферы и местных физико-географических условий.

В расчетах значения m , принимаются равными:

$$m = 0.864 \exp(-0.31\bar{v}_h) \quad (3.4)$$

для среднегодовых скоростей ветра

для периода сентябрь-май:

$$m = 0.798 \exp(-0.28\bar{v}_h) \quad (3.5)$$

для периода июль-август:

$$m = 0.911 \exp(-0.35\bar{v}_h) \quad (3.6)$$

Параметр m для станций Оренбургской области рассчитан по формулам (3.4, 3.5, 3.6), результаты приведены в таблице 3.3.

С использованием данных таблицы 3.3 по формуле (3.3) рассчитаны средние скорости ветра на высотах 30, 50, 70 и 90 метров. Результат представлен в таблице 3.4.

Исходя из полученных расчетов видно, что с ростом высоты происходит заметное усиление скорости ветра (скорость на высоте 90 метров выше в 1,5-1,7 раз, чем на высоте флюгера) и, следовательно энергетической мощности ветрового потока.

С использованием формулы (3.2) были произведены расчеты ветроэнергетических ресурсов на уровне флюгера и на высотах 30, 50, 70 и 90 метров, результаты расчетов представлены в таблице 3.5.

На рисунках 3.1-3.5 представлены графики годового хода удельной мощности ветрового потока на станциях Оренбургской области на разных высотах.

Оренбургская область располагает значительными ресурсами ветровой энергии, достаточными для использования ветроэнергетических ресурсов круглый год. Это говорит о том, что в Оренбургской области выгодно использовать ветроэнергетические генераторы.

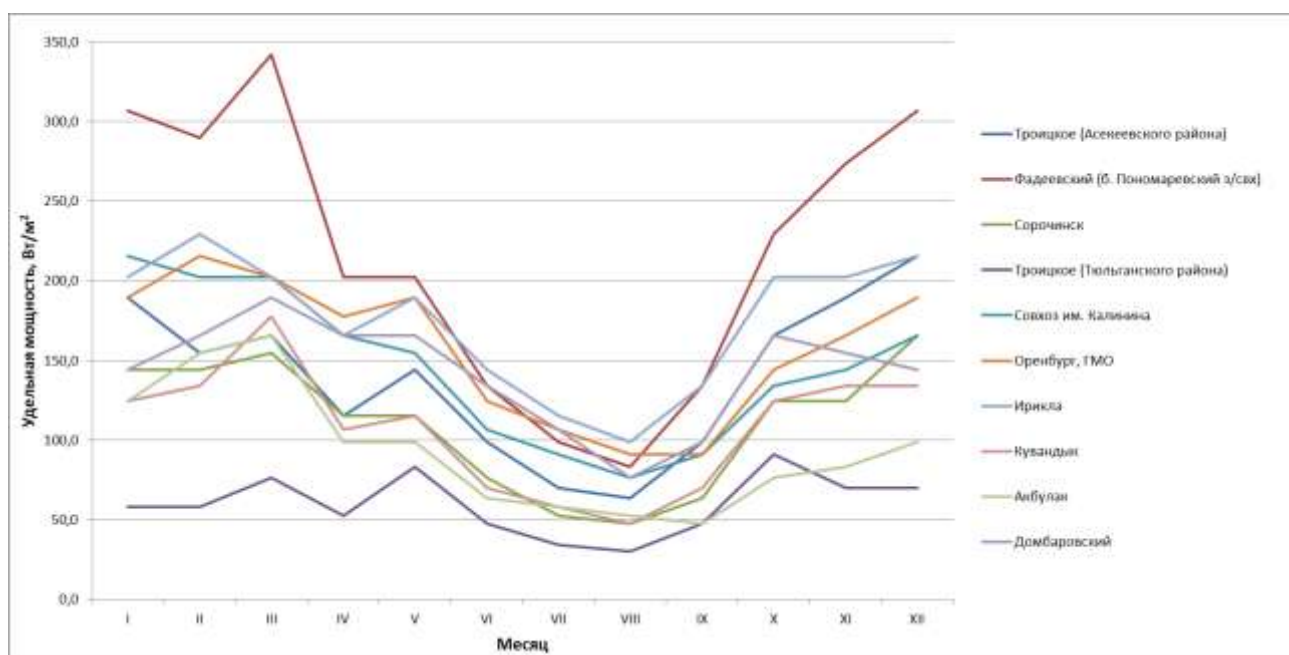


Рисунок 3.1 - Годовой ход средней удельной мощности ветрового потока для метеостанций Оренбургской области на высоте флюгера (составлено автором)

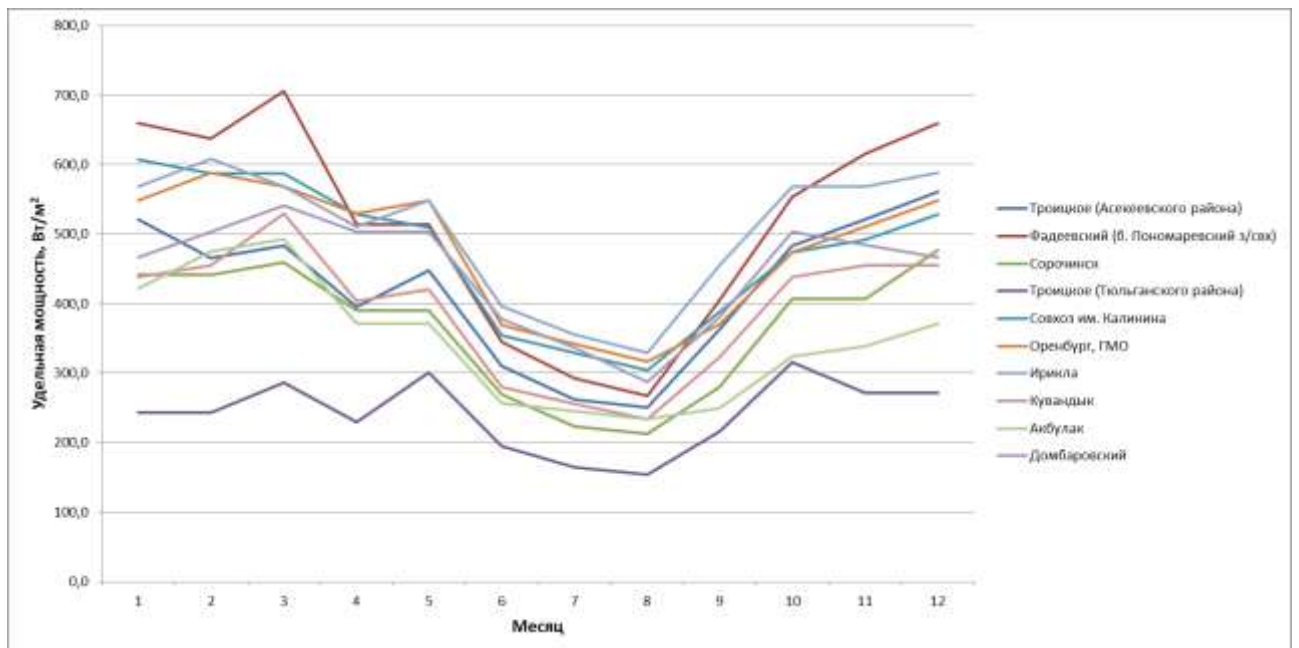


Рисунок 3.3 - Годовой ход средней удельной мощности ветрового потока для метеостанций Оренбургской области на высоте 50 метров (составлено автором)

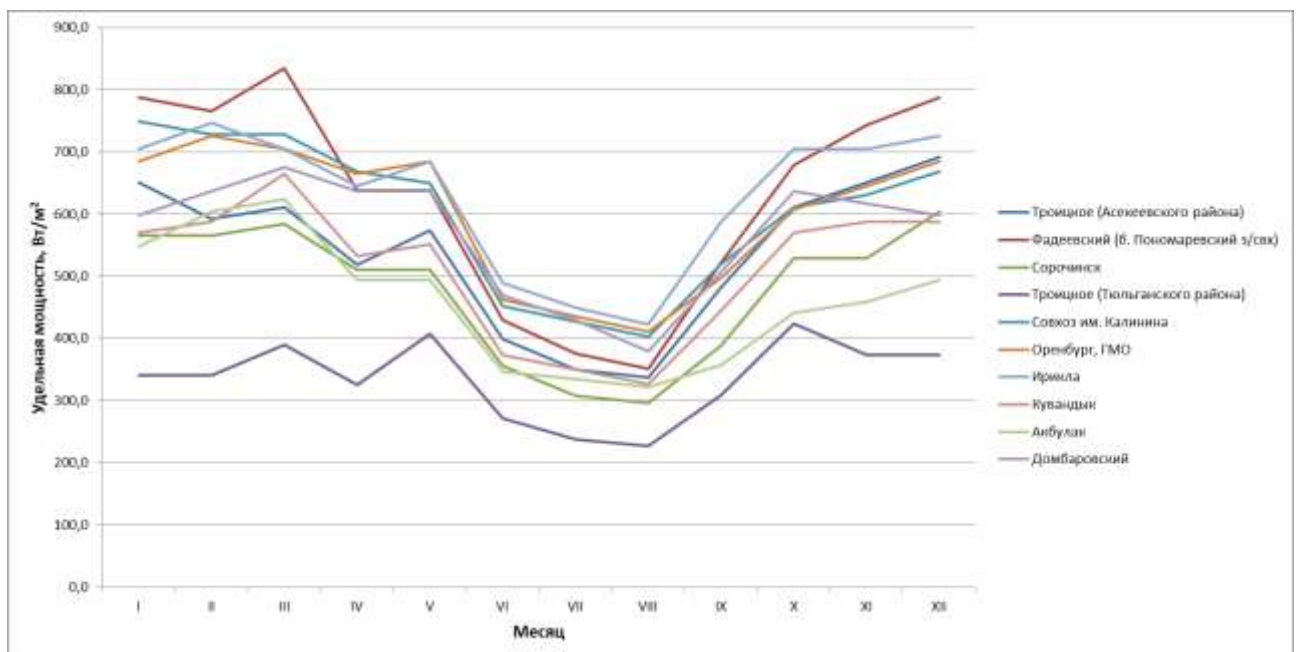


Рисунок 3.4 - Годовой ход средней удельной мощности ветрового потока для метеостанций Оренбургской области на высоте 70 метров (составлено автором)

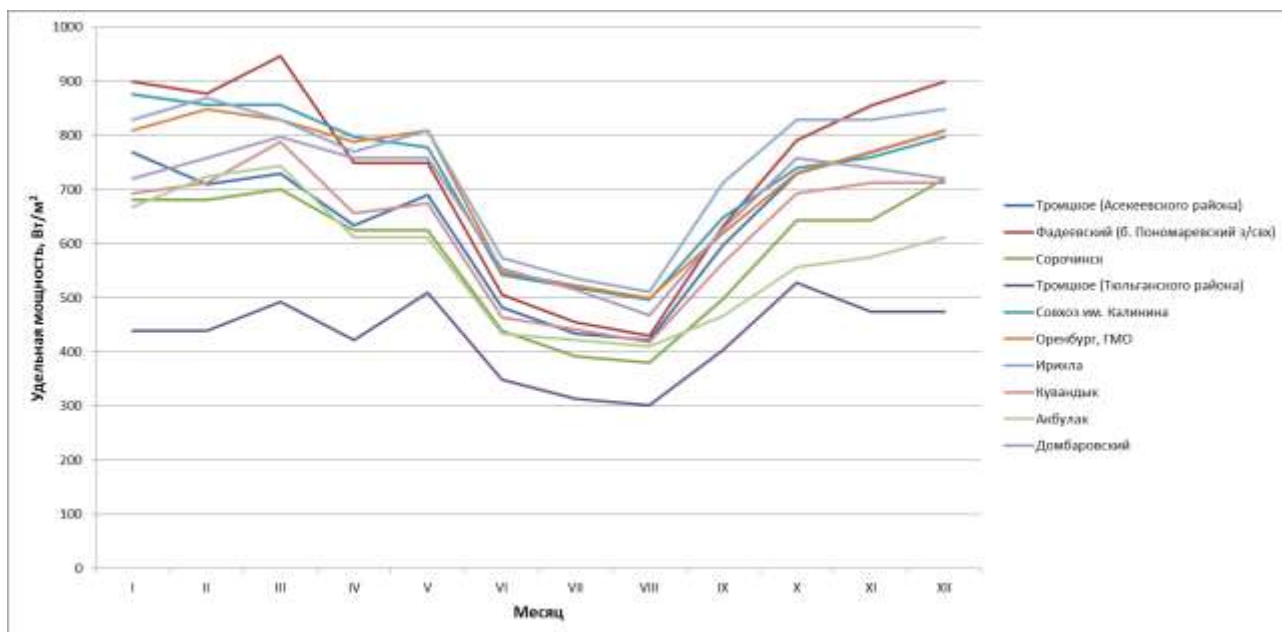


Рисунок 3.5 - Годовой ход средней удельной мощности ветрового потока для метеостанций Оренбургской области на высоте 90 метров (составлено автором)

Заключение. В ходе работы были изучены природные возможности развития ветроэнергетики в Оренбургской области. Для достижения поставленной цели в работе были вычислены среднемесячные и годовые скорости ветра и удельные мощности ветрового потока на различных высотах приземного слоя атмосферы на станциях Оренбургской области по данным наземных метеорологических наблюдений, оценен ветроэнергетический потенциал Оренбургской области.

При анализе полученных данных можно сделать вывод: Оренбургская область располагает значительными ресурсами ветровой энергии, достаточными для использования ветроэнергетических ресурсов круглый год. Это говорит о том, что в Оренбургской области выгодно использовать ветроэнергетические генераторы.

Самая большая средняя годовая скорость ветра отмечается на станции Фадеевский (бывший Пономаревский з/свх) - 4,7 м/с, а наименьшая на станции Троицкое (Тюльганского района) – 3,1 м/с. Повторяемость штилей по многолетним наблюдениям метеорологической станции г. Оренбурга, составляет за год 3,9%. Средние месячные и годовые скорости ветра в большой степени зависят от рельефа и защищенности метеостанции. В

пониженных формах рельефа они заметно ниже. Это говорит о необходимости внимательно подходить к выбору мест размещения ветроэнергетических установок.

Используя методы, описанные в «Разработка методов климатологической оценки ветроэнергетического потенциала на различных высотах (на примере юго-востока европейской части России)» [4] были вычислены скорости ветра на разных высотах приземного слоя атмосферы по данным наземных метеорологических наблюдений. Для нахождения скорости ветра на высотах была использована степенная формула, вычислен ее параметр m , который в Оренбургской области находится в интервале 0,2-0,3. С высотой скорость ветра возрастает, так на высоте 90 метров скорость ветрового потока в 1,5-1,7 раз выше, чем на высоте флюгера.

В результате расчетов были получены сведения об удельной мощности ветрового потока на различных высотах. С ростом высоты удельная мощность возрастает в несколько раз в сравнении с мощностью на высоте флюгера. Так на высоте флюгера удельная мощность составляет 50-200 Вт/м², на высоте 30 метров – 150-360 Вт/м², 50 метров – 240-500 Вт/м², 70 метров – 330-620 Вт/м², 90 метров – 420-720 Вт/м². С высотой удельная мощность ветрового потока по территории сглаживается. Высотные мощные ВЭУ можно размещать практически повсеместно.

В зимние и весенние месяцы удельная мощность ветрового потока выше, чем в летние и осенние. Это положительно сказывается на эффективности использования ветроэнергоресурсов в зимнее время, когда необходимы повышенные затраты энергии на отопление зданий.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что Оренбургская область имеет благоприятные условия для использования ветроэнергетических агрегатов.

