**МЕТОДИКА ОТБОРА ПЛОЩАДОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**МИНСК**

**2016**

# СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 6](#_Toc465069765)

[1. КРИТЕРИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЮ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЭУ 7](#_Toc465069766)

[2. ПОИСК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. 10](#_Toc465069767)

[3. ОТБОР ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЭУ 11](#_Toc465069768)

[4. РАНЖИРОВАНИЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 14](#_Toc465069769)

[5. АЛГОРИТМ ОТБОРА ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЭУ 16](#_Toc465069770)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Расчет выработки электрической энергии от ВЭУ 17](#_Toc465069771)

# СПИСОК ТАБЛИЦ

[Таблица 1 – Классификация местоположений анемометра на станциях по степени их открытости и по характеру рельефа 7](#_Toc465069777)

[Таблица 2 – Критерии, определяющие возможность, оптимизацию и эффективность строительства ВЭУ 12](#_Toc465069778)

[Таблица 3 – Оценка площадок для строительства ВЭС 14](#_Toc465069779)

[Таблица 4 – Дополнительные параметры для оценки площадок для строительства ВЭС 15](#_Toc465069780)

[Таблица 5 – Классификация местоположений анемометра на станциях по степени их открытости и по характеру рельефа. 17](#_Toc465069781)

# СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

[Рисунок 1 – Пример территории, соответствующий 1 классу 18](#_Toc465069782)

[Рисунок 2 – Пример территории, соответствующий 2 классу 18](#_Toc465069783)

[Рисунок 3 – Пример территории, соответствующий 3 классу 19](#_Toc465069784)

[Рисунок 4 – Определение скорости ветра на абсолютных высотах местности, на макроформах Ūф, и мезоформах U рельефа (В2, НВ) 19](#_Toc465069785)

# СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

**ВИК** – ветроизмерительный комплекс;

**ВЛ –** воздушная линия;

**ВЭП –** ветроэнергетический потенциал;

**ВЭС** – ветроэнергетическая станция;

**ВЭУ –** ветроэнергетическая установка;

**ИД** – исходные данные;

**КИУМ** – коэффициент использования установленной мощности;

**КЛ –** кабельная линия;

**МС –** метеостанция;

**С/н –** собственные нужды;

**С/х земля –** сельскохозяйственная земля;

**ТКП** – технический кодекс установившейся практики;

**Э/э** – электрическая энергия.

# ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Аэродинамическое препятствие –** предмет, который препятствует свободному движению и создает искажение течения воздушного потока, например, здания и деревья.

**Ветровой режим –** совокупность измеренных и вычисленных параметров ветра: скорости, направления, турбулентности, их экстремальных значений и продолжительности, характеризующих состояние воздушного потока на заданной высоте на испытательной площадке.

**Высота оси (ВЭУ) –** высота центра ометаемой площади ветроколеса ВЭУ над поверхностью земли.

***Примечание –*** *для ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения высота оси ветроколеса измеряется от поверхности земли до экваториальной плоскости ветроколеса.*

**Годовая выработка энергии –** полный объем произведенной ВЭУ электрической энергии в течение одного года, определенный на основе мощностной характеристики и различных базовых плотностей распределения скорости ветра на высоте оси ветроколеса в предположении 100 %-ной готовности ВЭУ.

**Мощностная характеристика** (график выходной мощности) – график вырабатываемой мощности, построенный в интервале скоростей ветра от 0 (или стартовой скорости ветра) до скорости ветра отключения.

**Номинальная мощность** – величина мощности, заявленная производителем и соответствующая указанным режимам эксплуатации устройства или оборудования.

**Ометаемая площадь** – площадь проекции поверхности, которую описывает ветроколесо за один полный оборот, на плоскость, перпендикулярную к направлению скорости ветра. Для качающихся ветроколес предполагается, что ветроколесо остается перпендикулярным к низкооборотному валу. Для ветроэлектрических установок с вертикальной осью площадь вращения ветроколеса проецируется на вертикальную плоскость.

**Фактическая скорость ветра** – это скорость ветра, зафиксированная датчиками в пункте приземных метеорологических наблюдений.

**Фоновая скорость ветра** – скорость ветра, определенная на основании данных государственных метеорологических станций и постов, приведенная расчетным путем к условиям открытой местности (класс открытости во всех направлениях ветра – ровная открытая местность в дали от водных объектов).

# ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь отсутствует методика отбора площадок для строительства ветроэнергетических установок (ВЭУ), не смотря на наличие ограничивающих критериев для размещения ВЭУ, принятых на законодательном уровне в области ветроэнергетики. Использование данной методики для отбора площадок под строительство ВЭУ имеет ряд преимуществ, поскольку в данной работе учтены критерии, ограничивающие (запрещающие) строительство ВЭУ на выбранных площадках, а также критерии, влияющие на технико-экономические показатели проекта.

Процесс отбора площадок делится на три стадии:

1. Поиск потенциальных площадок для строительства ветроэнергетических установок.
2. Отбор площадок для строительства ВЭУ.
3. Ранжирование площадок.

На первой стадии определяется перечень потенциальных площадок для размещения ВЭУ. На стадии отбора площадок (2-ой стадии) осуществляется проверка соответствия площадки заданным критериям. По результатам проверки определяется перечень площадок, на которых возможно строительство ВЭУ (или ветроэлектрических станций (ВЭС)). На третьей стадии осуществляется ранжирование площадок, пригодных для строительства ВЭУ, с целью определения наиболее подходящих(ей). Ранжирование площадок осуществляется на основании отношения капитальных затрат на реализацию проекта к выработке электрической энергии от ВЭУ (или ВЭС).

В методологии действуют следующие предположения и допущения:

* эксплуатационные расходы и отчисления на ремонт на всех площадках приняты одинаковыми, поскольку предполагается установка одинакового основного оборудования, которое требует одинаковых затрат на обслуживание вне зависимости от места размещения;
* транспортные расходы на доставку основного оборудования и подъемного крана одинаковы для всех площадок, поскольку на данной стадии отсутствует информация о месте отправки оборудования;
* наличие заболоченных почв на месте строительства ВЭУ не является критерием, запрещающим строительство, а ведет к увеличению затрат на строительство фундамента и, как следствие, капитальных затрат в целом;
* назначение земельного участка не является основным, однако в рамках проектов, где временны́е затраты на реализацию проекта являются одними из определяющих факторов, не рекомендуется рассматривать площадки, расположенные на с/х землях и лесах первой группы.

# КРИТЕРИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЮ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЭУ

При выборе площадок должны быть учтены следующие критерии, определяющие возможность, оптимизацию и эффективность строительства ВЭУ:

* **Высота над уровнем моря**.С повышением абсолютной высоты над уровнем моря, увеличивается ветроэнергетический потенциал площадки, как следствие, увеличивается выработка электроэнергии.
* **Транспортная доступность площадки для доставки и строительства ВЭУ**.Необходимо учитывать возможность проезда трака для доставки основных компонентов ВЭУ и строительной техники: принимать во внимание наличие ограничивающих факторов для проезда, например, ширину дорожного полотна, радиус поворота дороги, линии электропередач, «рамки» платных дорог, деревья и др.
* **Наличие постоянной дороги для обслуживания ВЭУ**. В случае отсутствия дороги для обслуживания ВЭУ проект не может быть реализован на данной площадке. При выборе площадки необходимо соблюдать минимальное расстояние от края дороги до ветроэнергетической установки: от магистральных автомобильных дорог республиканского значения (индекс «М») и прочих автомобильных дорог республиканского значения (индекс «Р») расстояние должно составлять высоту ВЭУ плюс 5 метров.

Для определения наличия дороги, по которой осуществляется обслуживание ВЭУ, необходимо обратится в землеустроительную службу, по месту размещения ВЭУ.

* **Открытость площадки в соответствии с классификацией Милевского**, которая позволяет учитывать в расчетах форму рельефа и местоположение ВЭУ относительно окружающих объектов. Согласно классификации Милевского степень открытости местоположения учитывается номером класса: чем больше номер, тем меньше воздействие затеняющих объектов на ВЭУ.

Классификация Милевского приведена в таблице 1.

**Таблица 1 – Классификация местоположений анемометра на станциях по степени их открытости и по характеру рельефа**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Степень открытости флюгера** | **Форма рельефа** | | |
| **выпуклая** | **плоская** | **вогнутая** |
| **Вдали от водных поверхностей** | | | |
| Флюгер выше окружающих предметов  нет элементов защищенности  отдельные элементы защищенности  среди элементов защищенности | 8  7  6 | 7  6  5 | 6  5  4 |
| Флюгер ниже окружающих предметов  среди элементов защищенности | 4 | 4 | 4 |

* **Близость** **площадки к государственным электрическим сетям**, имеющим требуемую пропускную способность. Увеличение расстояния до электрических сетей ведет к увеличению капитальных затрат на реализацию проекта. Предпочтение должно отводится площадкам, рядом с которыми (максимальная удаленность составляет 2,5 км) имеются действующие трансформаторные подстанции, удовлетворяющие требуемым мощностям. Осуществляется запрос в Облэнерго, по месту размещения ВЭУ, для получения технических условий на подключение к государственным электрическим сетям (услуга платная).

При размещении ВЭУ необходимо учитывать, что расстояние от ветроэнергетической установки до линии электропередач должно быть не менее 1,2 высоты ВЭУ.

* **Расстояние от внешней точки лопасти ветроколеса ВЭУ до территории жилой застройки, участков детских дошкольных учреждений, образовательных учреждений, учреждений и парков отдыха, спортивных сооружений, учреждений здравоохранения должно составлять не менее 300 м** (значение приведено в соответствии с ТКП 17-02-02-2010 «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок»).

**Примечание**:если расстояние менее 300 метров, необходимы согласование отступления от ТКП и проверка на соответствие шумовым загрязнениям.

* **Принадлежность площадки для размещения ВЭУ к территориям**, **на которых запрещено строительство ВЭУ**.В соответствии с ТКП 17-02-02-2010 «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок» размещение ВЭУ запрещается:
* в пределах особо охраняемых природных территорий (заповедник, национальный парк, заказник, памятник природы), а также охранных зон особо охраняемых природных территорий;
* в пределах природных территорий, подлежащих специальной охране:

1. курортные зоны, зоны отдыха и туризма;
2. ландшафтно-рекреационные зоны;
3. прибрежные полосы поверхностных водных объектов;
4. первый пояс зон санитарной охраны поверхностных и подземных источников водоснабжения, а также зон санитарной охраны лечебных минеральных вод и лечебных сапропелей;
5. санитарно-защитные полосы водоотводов и площадок водопроводных сооружений;
6. водоохранные леса;
7. защитные леса;

* на торфяных почвах;
* на путепроводах и под ними (рекомендуемое расстояние составляет 1,2 высоты ВЭУ);
* на плавающих средствах;
* под линиями электропередач;
* на затапливаемых территориях.
* **Наличие традиционных путей перемещения перелетных птиц, рукокрылых, миграции животных, а также от мест обитания птиц и диких животных, растений, относящихся к видам, включенным в Красную Книгу Республики Беларусь**. В соответствии с законодательством Республики Беларусь необходимо проведение дополнительных научных исследований по оценки воздействия миграционного русла птиц и диких животных на окружающую среду, которые выполняет ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам».

Поскольку на территории Беларуси основные миграционные пути проходят вдоль пойм крупных рек, озер, болотных комплексов, то необходимо учитывать данный фактор при выборе площадки для строительства ВЭУ для минимизации риска.

Осуществляется запрос в Областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды для получения информации об отсутствии памятников природы, заповедников, заказников, национальных парков, растений и животных, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь и иных памятников природы, которые могут находится на объекте строительства.

* **Наличие согласования мест размещения ВЭУ с организациями, на чьём балансе имеются радиоэлектронные средства**. Осуществляется запрос в следующие организации:
* Министерство обороны Республики Беларусь;
* Республиканское унитарное предприятие по надзору за электросвязью «БелГИЭ» (услуга платная);
* Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.
* **Наличие требуемого размера территории для установки ВЭУ и дополнительного оборудования**. На площадки для строительства ВЭУ зачастую требуется размещение повышающей трансформаторной подстанции, а так же площадки для обслуживания ВЭУ и разворотной площадки, помимо площадки для установки ВЭУ. Размеры территории определяются для каждой конкретной модели ВЭУ.
* **Заболоченность площадки под строительство ВЭУ**. Строительство на заболоченных территориях ведет к увеличению капитальных затрат в реализацию проекта.
* **Назначение земельного участка.** При строительстве ВЭУ на сельскохозяйственных (с/х) землях или лесах первой группы потребуется разрешение Президента Республики Беларусь, что влечет за собой увеличение срока реализации проекта или получение отказа о реализации проекта на данных землях. При строительстве ВЭУ на с/х землях необходимо учитывать качество отчужденных угодий.

Для определения назначения земельного участка необходимо обратится в землеустроительную службу, по месту размещения ВЭУ. В случае размещения ВЭУ в лесах необходимо обратится в лесхоз, в чьем видении находится лес, для получения информации о группе леса.

* **Площадь, вырубаемой древесной растительности.** При размещении ВЭУ в лесах, кустарниках требуется вырубка древесной растительности для уменьшения затенения ВЭУ. Вырубка древесной растительности влечет за собой увеличение капитальных затрат на реализацию проекта.
* **Наличие религиозных объектов.** Не рекомендуется размещение ВЭУ в непосредственной близости от религиозных объектов. Рекомендуется соблюдать расстояние 300 м от края лопасти ВЭУ до религиозного объекта.

# ПОИСК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

Поиск потенциальных площадок для строительства ВЭУ осуществляется на основании достаточного ВЭП. За критерий, определяющий ветропотенциал площадки используется высота над уровнем моря. На данной стадии также определяется соответствие площадки следующим критериям:

* наличие постоянной дороги для обслуживания ВЭУ;
* открытость площадки в соответствии с классификацией Милевского;
* близость площадки к государственным электрическим сетям, имеющих требуемую пропускную способность;
* расстояние от внешней точки лопасти ветроколеса ВЭУ до территории жилой застройки, участков детских дошкольных учреждений, образовательных учреждений, учреждений и парков отдыха, спортивных сооружений, учреждений здравоохранения.

Для анализа ветропотенциала рекомендуется использовать следующие материалы:

* картографические материалы (распределение средней скорости ветра на различных высотах);
* данных о скоростях ветра с метеостанций Республики Беларусь (источник информации Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»);
* онлайн источники данных о ветроресурсах на высоте 80 м над уровнем земли (GHCND, IRENA, NCDC/GSOD и др.)

Онлайн источники дают наибольшее представление о ВЭП площадки и окружающей территории для размещения ВЭУ.

# ОТБОР ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЭУ

Выбранные площадки после первой стадии, проверяются на соответствие критериям, приведенным в 1-ом разделе данной методики.

Результаты сводятся в таблицу 2. В связи с тем, что невозможно указать некоторые критерии для ветропарка в целом, то указываются критерии для каждой ВЭУ. На основании полученных результатов, принимается решение о возможности строительства ВЭС в целом и каждой конкретной ВЭУ.

**Таблица 2 – Критерии, определяющие возможность, оптимизацию и эффективность строительства ВЭУ**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя |  | Площадка №1 | | Площадка № N | | Примечание |
| ВЭУ 1 | ВЭУ N | ВЭУ 1 | ВЭУ N |  |
| Высота площадки над уровнем моря | м |  |  |  |  |  |
| Площадка для размещения ВЭУ принадлежит к территориям, на которых запрещено строительство ВЭУ | да/нет |  |  |  |  |  |
| Транспортная доступность для доставки ВЭУ и строительства ВЭУ | да/нет |  |  |  |  |  |
| Протяженность дороги, подлежащей модернизации (строительству), для доставки ВЭУ | м |  |  |  |  |  |
| Наличие постоянной дороги для обслуживания ВЭУ | да/нет |  |  |  |  | Если отсутствует подъездная дорога, то проект на данной площадке реализовать невозможно |
| Открытость площадки по классификации Милевского, по направлениям | С |  |  |  |  |  |
| СЗ |  |  |  |  |  |
| З |  |  |  |  |  |
| ЮЗ |  |  |  |  |  |
| Ю |  |  |  |  |  |
| ЮВ |  |  |  |  |  |
| В |  |  |  |  |  |
| СВ |  |  |  |  |  |
| Расстояние до государственных электрических сетей, имеющих требуемую пропускную способность | м |  |  |  |  |  |
| Наличие действующей трансформаторной подстанции, удовлетворяющие требуемой мощности | да/нет |  |  |  |  |  |
| Расстояние от внешней точки края лопасти ветроколеса ВЭУ до территории жилой застройки, участков детских дошкольных, образовательных и учреждений здравоохранения, а также парков отдыха и спортивных сооружений | м |  |  |  |  |  |
| Наличие традиционных путей перемещения перелетных птиц, рукокрылых, миграции животных, а также от мест обитания птиц и диких животных, растений, относящихся к видам, включенным в Красную Книгу Республики Беларусь | да/нет |  |  |  |  |  |
| Наличие согласования мест размещения ВЭУ с организациями, на чьём балансе имеются радиоэлектронные средств, в т.ч.:   * Министерство обороны Республики Беларусь; * Республиканское унитарное предприятие по надзору за электросвязью «БелГИЭ» ; * Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь; | да/нет да/нет  да/нет |  |  |  |  | Если получен отрицательный ответ, строительство ВЭУ на данной площадке невозможно |
| Наличие требуемого размера территории для размещения ВЭУ и инженерной инфраструктуры | да/нет |  |  |  |  |  |
| Заболоченность площадки под строительство ВЭУ | да/нет |  |  |  |  |  |
| Назначение земельного участка |  |  |  |  |  |  |
| Качество отчужденных сельскохозяйственных угодий |  |  |  |  |  | Данный пункт заполняется только при использовании с/х земель |
| Площадь, вырубаемой древесной растительности | га |  |  |  |  |  |
| Наличие религиозных объектов | да/нет |  |  |  |  |  |

# РАНЖИРОВАНИЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В ранжировании участвуют площадки, прошедшие стадию отбора и на которых возможно строительство ветроэнергетических установок.

Ранжирование площадок осуществляется на основании отношения капитальных затрат на реализацию проекта к выработки электрической энергии от ВЭУ (или ветроэнергетической станции (ВЭС)), для чего необходимо определить выработку электрической энергии и капитальные затраты.

Процедура расчета выработки э/э от ВЭУ (ВЭС) включает в себя следующие этапы работ:

* определение регионального ветрового режима;
* определение шероховатости подстилающей поверхности, возвышенных участков региона (потенциальных площадок для строительства ВЭУ);
* определение открытости потенциальных площадок для строительства ВЭУ;
* построение распределения повторяемости скоростей ветра;
* расчет выработки э/э от каждой ВЭУ и ветропарка в целом.

Методика расчета выработки электрической энергии от ВЭУ приведена в приложении 1.

Оценка капитальных затрат производится на основании объектов-аналогов. В оценке капитальных затрат оцениваются следующие факторы:

* стоимость проектно-изыскательских работ;
* стоимость основного оборудования;
* строительно-монтажные работы;
* затраты на создание инфраструктуры: подключение к электрическим сетям и дорога для доставки и обслуживания ВЭУ;
* транспортные расходы;
* пуско-наладочные работы;
* временные здания и сооружения;
* страхование.

Полученные результаты расчета выработки электрической энергии и капитальных затрат сводятся в таблицу 3

**Таблица 3 – Оценка площадок для строительства ВЭС**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | Единицы измерения | Площадка №1 | …… | Примечание |
| Годовая выработка электроэнергии ветропарком | тыс .кВт\*ч/год |  |  |  |
| Капитальные затраты, в т.ч: | тыс.евро  (без НДС) |  |  |  |
| стоимость основного оборудования | тыс.евро  (без НДС) |  |  |  |
| стоимость схемы выдачи электрической мощности | тыс.евро  (без НДС) |  |  |  |
| стоимость дорог для доставки и обслуживания ВЭУ | тыс.евро  (без НДС) |  |  |  |
| Отношение затрат к выработке электрической энергии | евро  (без НДС) / тыс. кВт\*ч/год |  |  |  |

Наибольшей привлекательностью обладают площадки с наименьшим отношением капитальных затрат к выработке электрической энергии.

Отдельно вынесен такой показатель как капитальные затраты, по причине потенциальной заинтересованности некоторых инвесторов в реализацию проектов с наименьшими инвестициями в реализацию проекта пусть даже с большим соотношением затрат к выработке.

В случае если площадки обладают одинаковым (близким по значению) отношением капитальных затрат к выработке электрической энергии, предлагается вести оценку по дополнительным факторам.

**Таблица 4 – Дополнительные параметры для оценки площадок для строительства ВЭС**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | Единицы измерения | Площадка №1 | …… | Примечание |
| Наличие площадки не сельскохозяйственного назначения для строительства ветроизмерительного комплекса (ВИК) | да/нет |  |  | Фактор учитывается при необходимости проведения ветромониторинга для строительства ВЭС |
| Расстояние от предполагаемого места установки ВИК до ветропарка | м |  |  |  |
| Качество отчужденных сельскохозяйственных угодий под ВИК |  |  |  | Данный пункт заполняется только при использовании с/х земель |
| Заинтересованность местной исполнительной власти в реализации данного проекта | да/нет |  |  |  |
| Район установки ВЭУ является энергодефицитным | да/нет |  |  |  |

По результатам заполнения таблиц 3 и 4 делается выбор необходимого количества площадок для дальнейшего проведения прединвестиционного этапа проектов:

# D:\Целюк АА\ВЭУ\Минприроды\проект\Этап 2.1\методология\Map1 (2).pngАЛГОРИТМ ОТБОРА ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЭУ

**Стадия 1 - Поиск потенциальных площадок для строительства ветроэнергетических установок**

**Стадия 2 - Отбор площадок для размещения ВЭУ**

# Стадия 3 - Ранжирование площадок

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Расчет выработки электрической энергии от ВЭУ

Процедура расчета выработки э/э от ВЭУ (ВЭС) включает в себя следующие этапы работ:

* определение регионального ветрового режима;
* определение шероховатости подстилающей поверхности, возвышенных участков региона (потенциальных площадок для строительства ВЭУ);
* определение открытости потенциальных площадок для строительства ВЭУ;
* построение распределения повторяемости скоростей ветра;
* расчет выработки э/э от каждой ВЭУ и ветропарка в целом;

# Определение регионального ветрового режима

Согласно ТКП 17.10-39-2012 «Порядок оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь» ветровой режим предполагаемой площадки размещения ВЭУ моделируется на основании данных с пунктов гидрометеорологических наблюдений, расположенных в сходных климатических условиях на расстоянии не более 100 км. Данные предоставляются Государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» после официального обращения.

Особенностью пунктов приземных метеорологических наблюдений, расположенных на территории Республики Беларусь, является наличие затеняющих объектов. Это вносит погрешность в расчет ветроэнергетического потенциала. Для оценки ВЭП, с целью устранения влияния факторов защищенности пунктов метеорологических наблюдений, измеренную фактическую скорость следует привести к показателю фоновой скорости ветра. Для перевода необходимо определить класс открытости метеостанции по 8-ми (восьми) направлениям.

Для определения класса открытости во всех направлениях ветра введена классификация Милевского, которая позволяет учитывать в расчетах форму рельефа и местоположение анемометра на станции относительно окружающих объектов. Классификация приведена в таблице 5. Согласно классификации Милевского степень открытости местоположения учитывается номером класса: чем больше номер, тем меньше затененность анемометра и тем больше регистрируемая на данной станции скорость ветра.

**Таблица 5 – Классификация местоположений анемометра на станциях по степени их открытости и по характеру рельефа.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Степень открытости флюгера** | **Форма рельефа** | | |
| **выпуклая** | **плоская** | **вогнутая** |
| **Вдали от водных поверхностей** | | | |
| Флюгер выше окружающих предметов  нет элементов защищенности  отдельные элементы защищенности  среди элементов защищенности | 8  7  6 | 7  6  5 | 6  5  4 |
| Флюгер ниже окружающих предметов  среди элементов защищенности | 4 | 4 | 4 |

**Источник:** «Труды Главной геофизической обсерватории» вып. 113.

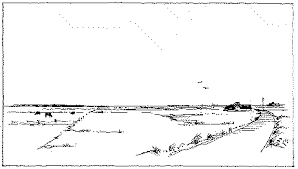
В течение года направление и сила ветра носят переменный характер. Поскольку каждое направление имеет свой весовой показатель в определении ветропотенциала, то необходимо определить повторяемость скоростей ветра для МС.

# Определение шероховатости подстилающей поверхности

Территория Республики Беларусь по особенностям рельефа разделена на четыре типа, каждый из которых характеризуется своими элементами шероховатости и может быть отнесен к определенному классу.

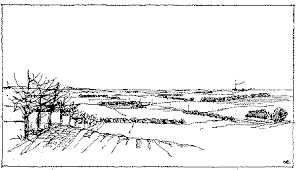
**Класс 0** соответствует поверхности водохранилищ (озер) – размер шероховатости zo=0,0002 м.

**Класс 1** соответствует открытые области с небольшими лесозащитными полосами. Размер шероховатости zo=0,03 м (рисунок 1).



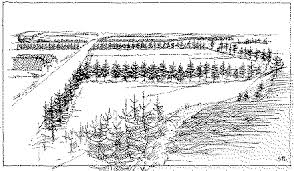
**Рисунок 1 – Пример территории, соответствующий 1 классу**

**Классу 2** соответствуют территории земель с небольшими лесозащитными полосами (расстояние между которыми составляет до 1 км), с разбросанными областями построек. Территория может быть ровной или характеризоваться небольшой холмистостью.Размер шероховатости zo=0,1 м (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Пример территории, соответствующий 2 классу**

**Классу 3** соответствуют территории земель с городскими застройками, лесом или сельскохозяйственные земли с многочисленными лесозащитными полосами. Размер шероховатости zo=0,4 м (рисунок 3).

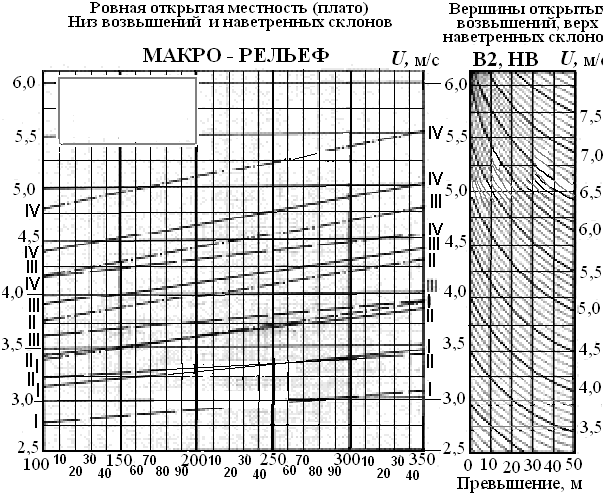


**Рисунок 3 – Пример территории, соответствующий 3 классу**

# Определение открытости потенциальных площадок

При рассмотрении конкретной предполагаемой площадки размещения ВЭУ необходимо учитывать эффект влияния на поток ветра высоты рельефа вокруг площадки. Для оценки влияния рельефа определяются показатели макрорельефа площадки для строительства ВЭУ и высота МС над уровнем моря.

По графическим материалам (рисунок 4) определяется фоновая скорость на МС и на площадке для строительства ВЭУ. Отношение данных скоростей ветра называется коэффициент, приращения скорости ветра с высотой опоры kh.



**Рисунок 4 – Определение скорости ветра на абсолютных высотах местности, на макроформах Ūф, и мезоформах U рельефа (В2, НВ)**

В соответствии с классификацией Милевского (таблица 2) определяется класс открытости предполагаемой площадки для строительства ВЭУ по направлениям В, СВ, С, СЗ, З; ЮЗ, Ю, ЮВ. После чего оценивается распределение ветра *f* по *i* направлениям в румбах относительно показателей ГМС «Новогрудок» через расчетный коэффициент КО к масштабу открытости М.



где – класс открытости площадки для строительства ВЭУ по i-тому направлению;

– класс открытости МС по i-тому направлению;

- повторяемость скорости ветра по i-тому направлению, в процентах.

# Построение распределение повторяемости скоростей ветра

Основной расчетной характеристикой при оценке режимов ветра является скорость ветра на месте строительства ВЭУ.

Оценка направлена на изучение степени влияния местных условий на ветровые режимы. Расчетная формула оценки скорости ветра на уровне 10м от поверхности земли на месте возведения ВЭУ, м/с:

,

где *Ūфi* – *i*-ая доля фоновой скорости ветра по румбам, м/с;

 – суммарный коэффициент, приращения скорости ветра с высотой опоры *kh* и преобразования долевых (*i*-х) по румбам коэффициентов приведения *k*о*i* к классам открытости в направлениях по румбам, расположения на плато *k*н*i*, и размещения на рельефе *k*Δн*i*.

Для оценки скорости ветра на высоте ветроколеса необходимо провести перерасчёт скорости ветра с 10 м, в соответствии со следующим выражением:

где – скорость ветра на высоте регулярных данных наблюдений;

– высота регулярных данных наблюдений, 10 м;

– расчетная высота оси ветроколеса, м;

– параметр шероховатости подстилающей поверхности.

На основании полученного диапазона данных определяются коэффициенты распределения Вейбулла *k* – коэффициент характеризующий форму кривой (параметр формы,),  – коэффициент характеризующий масштаб изменения функции распределения по оси скоростей (параметр масштаба, ).

Оценка коэффициентов распределения Вейбулла может основываться на следующих математических моделях:

* метод моментов;
* метод моментов параметров гамма-распределения;
* метод максимального правдоподобия;
* множительные оценки Каплана–Мейера;
* оценки Нельсона–Аалена;
* метод наименьших квадратов.

Оценку параметров теоретических распределений лучше производить с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Таким методом определяются параметры масштаба (*a)* и параметры формы (*k*)*.*

Решение задачи состоит из следующих этапов:

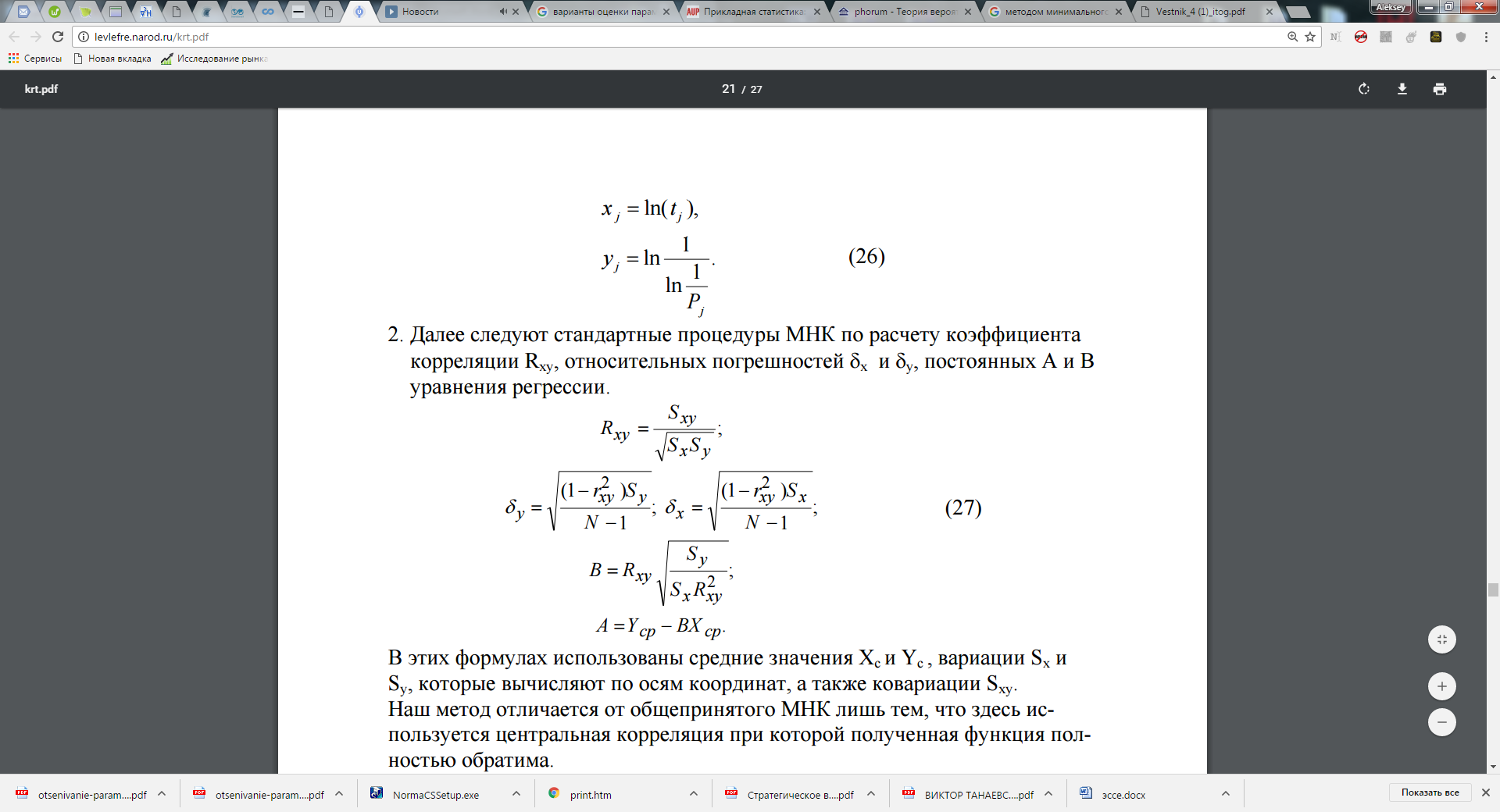
1. Преобразование (анаморфоза) координат исследуемой эмпирической зависимости с целью ее приведения к линейному виду

y = A + Bx ,

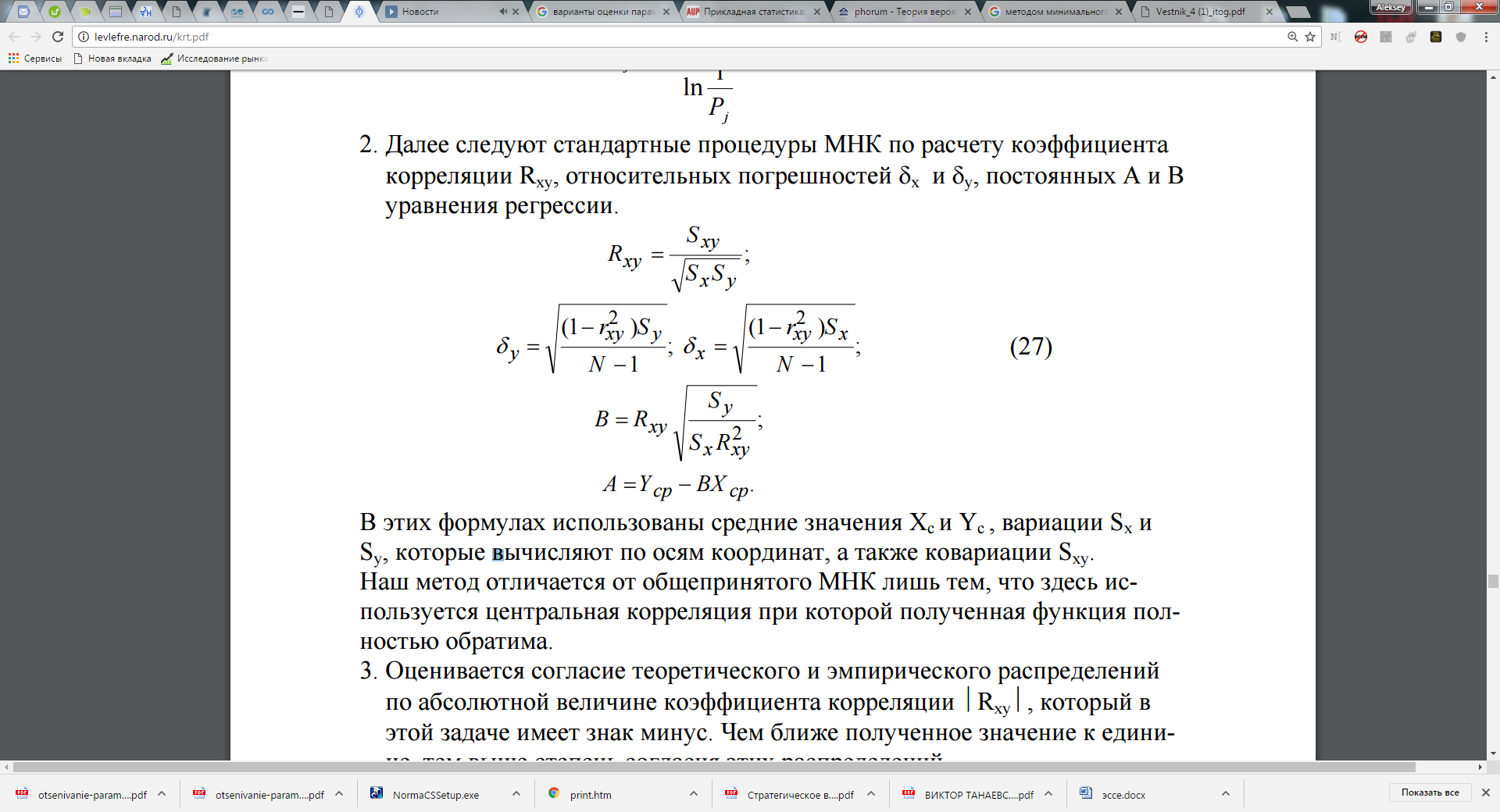
где x = f(t) и y = f(P) – функции анаморфозы;

А и В – постоянные уравнения регрессии.

В данном случае применяется следующая анаморфоза:



1. Далее следуют стандартные процедуры МНК по расчету коэффициента корреляции Rxy, относительных погрешностей δx и δy, постоянных А и В уравнения регрессии.



В этих формулах использованы средние значения Xc и Yc , вариации Sx и Sy, которые вычисляют по осям координат, а также ковариации Sxy.

1. Оценивается согласие теоретического и эмпирического распределений по абсолютной величине коэффициента корреляции abs(Rxy), который в этой задаче имеет знак минус. Чем ближе полученное значение к единице, тем выше степень согласия этих распределений.
2. 4. Параметры формы (k) и масштаба (*a*) распределения Вейбулла определяются по формулам

k= - *B*

*a=*exp *(- A/B)*

Найденные коэффициенты используются для описания Функция Вейбулла следующими выражениями:

**дифференциальная повторяемость**:

,

**интегральная повторяемость:**

,

где – градация скорости ветра (), от 0 до максимально рабочей (в большинстве случаев до 25 м/с включительно)

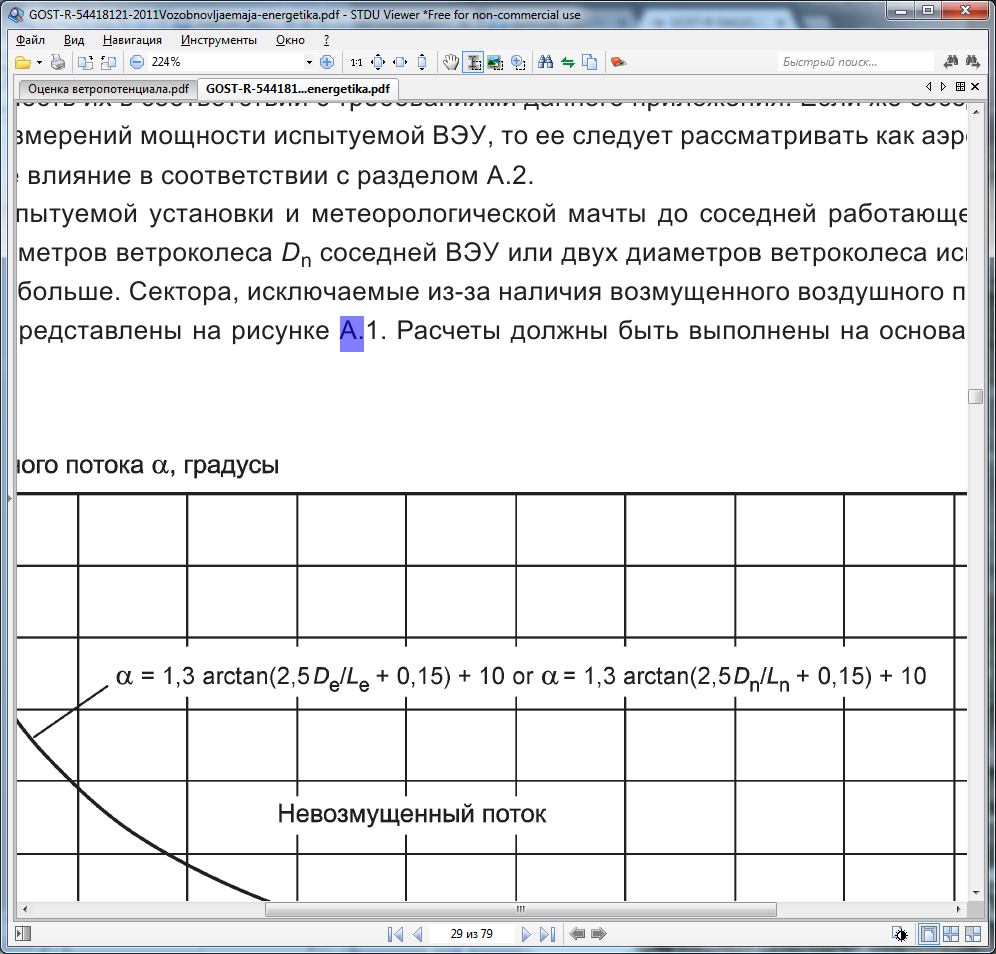
# Расчет выработки электроэнергии

Для расчета выработки электроэнергии от конкретной ВЭУ на предполагаемой площадке необходима кривая мощности ВЭУ и функция плотности вероятности распределения скорости ветра на уровне гондолы ВЭУ. Произведение этих двух функций дает кривую плотности мощности, интеграл которой – среднее производство электроэнергии. Интеграл рассчитывается по основанию от 0 до конца временного диапазона, за который ведется расчет.

При расчете выработки электрической энергии от конкретной ВЭУ необходимо учитывать следующие факторы:

* расстояния между ВЭУ;
* воздействие аэродинамических препятствий.

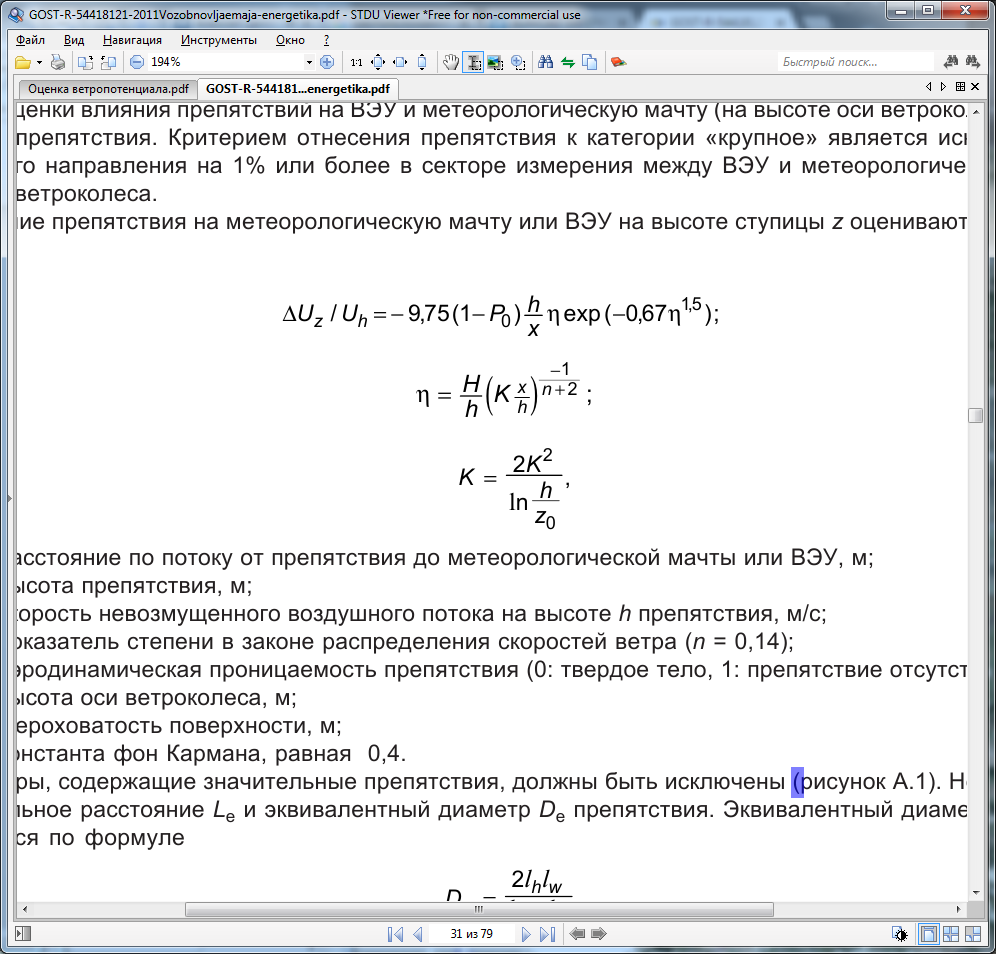
При расчете выработки электрической энергии необходимо определить сектор, возмущенного потока от соседних ВЭУ или препятствий, располагающихся на расстоянии менее 10 высот препятствия. Для расчета сектора возмущенного потока рекомендуется пользоваться следующей формулой:



где Dn – диметр ветроколеса соседней ВЭУ, м;

Ln – расстояние между ВЭУ, м.

В случае если ВЭУ находится в секторе возмущенного потока, то необходимо определить степень влияния по следующим формулам:



где х – расстояние по потоку от препятствия до метеорологической мачты или ВЭУ, м;

h – высота препятствия, м;

Uh – скорость невозмущенного воздушного потока на высоте h препятствия, м/с;

n – показатель степени в законе распределения скоростей ветра, принимается равным 0,4

P0 – аэродинамическая проницаемость препятствия, значение зависит от аэродинамических свойств объекта, лежит в диапазоне от 0 до 1.

H – высота оси ветроколеса, м;

z0 – шероховатость поверхности, м;

K – константа фон Кармана.