

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС
REENCON XXI**

**«Возобновляемая энергетика XXI век:
энергетическая и экономическая эффективность»**

**г. Москва, Сколково
14 октября 2016 года**

Д О К Л А Д

Научно-информационного Центра «АТМОГРАФ», Москва, Россия

«Отечественная методика обоснования параметров автономных гибридных энергокомплексов на базе традиционных тепловых и возобновляемых источников энергии»

Докладчик: Николаев Василий Владимирович

Тел./факс: 8-499-744-41-63, E-mail: atmograph@gmail.com

- По разным оценкам в России используется до 50 тысяч ДГУ с Σ мощностью ≈ 3 ГВт , потребляющих от 10 до 14 млн т дорогого дизельного топлива (ДТ) в год стоимостью от 3 до 5 млрд \$ с себестоимостью электроэнергии ДГУ в удаленных районах России до 1 \$/кВтч.
- Согласно анализу Σ мощность ВДК в мире в 2012 г. ≈ 200 МВт (Аляска, островная Европа, Океания).

Деления ВДК в мире по мощности дано (на рис.):
мощность 57% ВДК < 2 МВт (11% выработки)
мощность 27% ВДК > 2 МВт (28% выработки)

Доля мощности ВЭУ в мощности ВДК :
ВДК > 10 МВт – ≈ 17 %; ВДК < 2 МВт – ≈ 54 %
2 МВт < ВДК < 10 МВт – ≈ 35 %;
Есть данные о ВДК с долей мощности ВЭУ > 90%

В России технология ВДК делает первые шаги на базе импортных ДГУ и ВЭУ Σ мощности первых ВДК < 6 МВт: о. Беринга; п. Новиково, Сахалин; Усть-Камчатск



Проблемы проектирования ВДК

3

Проектированием ВДК активно занимаются за рубежом (RISO (Дания), University of Massachusetts и NREL (США), National Institute of Technology (India), University of Cambridge (England) и др.

Но, несмотря на проводимые разработки ВДК, их внедрение в России происходит трудно.

Одна из причин – недостаточно достоверные и эффективные по срокам и затратам методики определения оптимального состава, параметров и режимов работы ВДК.

В работе рассмотрены свыше 20 факторов и параметров, определяющих технические и экономические показатели (ТЭП) ВДК

Важнейшая недостаточно исследованная группа факторов – характеристики ветрового потенциала и временного хода мощности ВЭУ

| № | Фактор | Себестоимость, \$/кВт·ч | | Окупаемость, лет | | Замещение топлива, % | |
|---|--|-------------------------|----------|------------------|----------|----------------------|----------|
| | | от | до | от | до | от | до |
| Факторы, влияющие на технико-экономические показатели ЭК без ВЭУ | | | | | | | |
| 1 | Количество ДГУ в энергокомплексе | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 2 | Мощности базовых ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 3 | Ресурсы ДГУ в моточасах (мгч) | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 4 | Число запусков-остановок ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 5 | Разные расходы топлива на ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 6 | Разброс цен на топливо | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| 7 | Диапазоны работы ДГУ по параметру $K_{\text{вмдгу}}$ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 8 | Разброс удельных капитальных затрат на ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| 9 | Разброс удельных затрат на эксплуатацию ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| Факторы влияния ВЭУ на ВДК | | | | | | | |
| 10 | Разное осреднение функций $F(V)$ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 11 | Разное осреднение скоростей ветра | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 12 | Разное соотношение мощностей ДГУ с ВЭУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 13 | Разные периоды измерения на ВИК | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 14 | Расхождение данных метеостанций и ВИК | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 15 | Учет числа включений-выключений ДГУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 16 | Погрешности определения скоростей ветра $V(h)$ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 17 | Вариации высот башен | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 18 | Разные типоразмеры базовых ВЭУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 19 | Разброс удельных капитальных затрат на ВЭУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 20 | Разброс удельных затрат на эксплуатацию ВЭУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| Факторы потребления мощности и энергии | | | | | | | |
| 21 | Разные модели нагрузки | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 22 | Неопределенность прогноза нагрузки | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| 23 | Реализация избытка мощности ВЭУ | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |
| Макроэкономические факторы | | | | | | | |
| 24 | Индекс потребительских цен | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| 25 | Индекс промышленной дефляции | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| 26 | Ставка кредитования | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| 27 | Коэффициент дисконтирования | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | 1,00 |
| Возможный разброс прогноза ТЭО | | 1,00 | ? | 1,00 | ? | 1,00 | ? |

Рабочая расчетная модель определения мощности $P_{ВЭУ}$:

$$P_{ВЭС} = K_{ТТ}(n) \cdot K_{НИД} \cdot (\rho/\rho_0) \cdot \sum_{m=1}^M P(V_m) \cdot f(V_m)$$

=> для расчета средних за период (год, месяц, сутки, час) $P_{ВЭУ}$ необходимо знать средние за тот же период значения $f(V)$

$f(V)$ моделируются по статистически обеспеченным данным измерений (метеорологическим, аэрологическим, ВИК, пр.)

Для расчета энергетических и экономических показателей сетевых ВЭС среднегодовых и среднемесячных $f(V)$, как правило, достаточно, поскольку сеть потребляет всю мощность ВЭС.

Но для расчетов параметров ВДК, работающих по заданным графикам нагрузки нужны, как минимум, средние часовые значения $f(V)$ за каждый месяц или сезон.

Компенсация $f(V)$ при расчетах ВДК заданием средних часовых мощностей ВЭУ другими методиками (например, HOMER) сомнителен, поскольку не учитывает реальных скачков мощности ВЭУ в течении часа из-за пульсаций ветра.

Правомерность замены часовых значений $f(V)$ средними сезонными или годовыми $f(V)$ (программа WAsP) сомнительна из-за реально существующего годового хода $f(V)$.

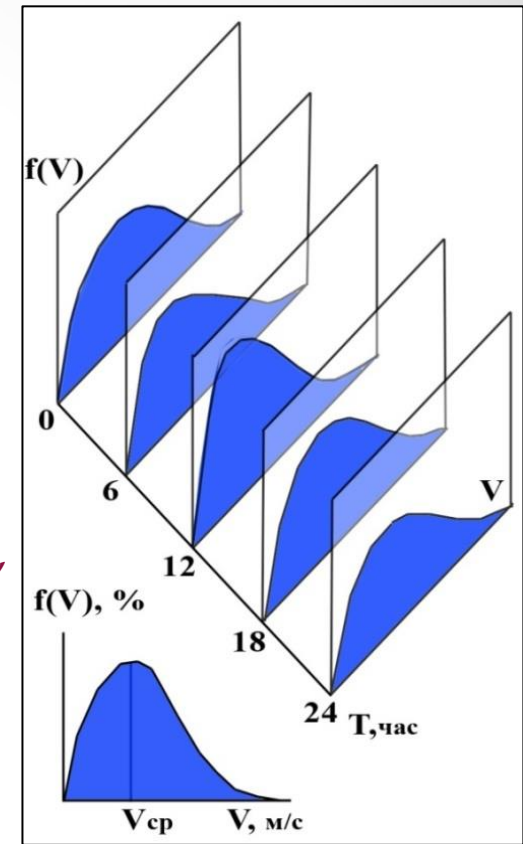
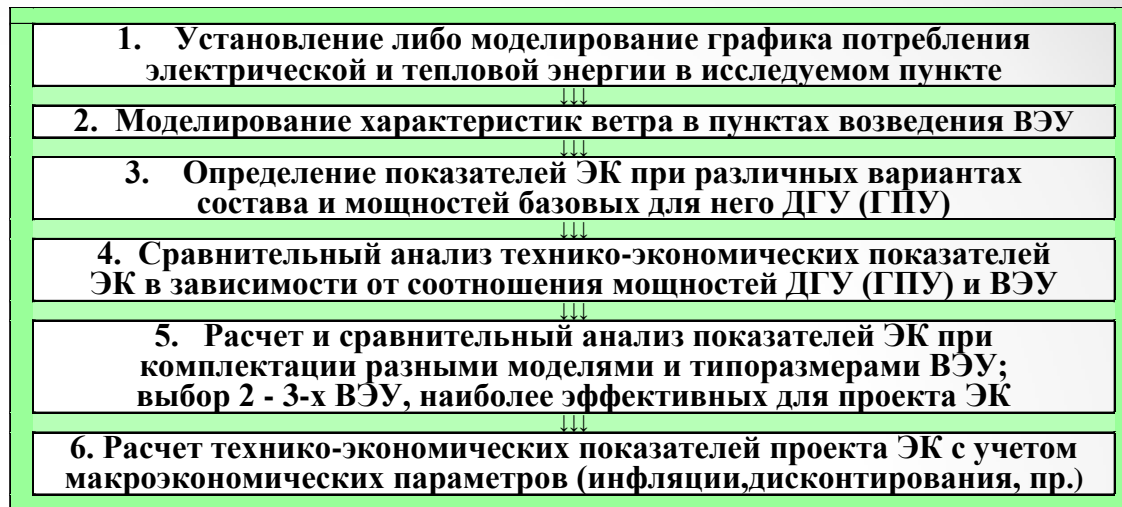


Схема и основные этапы исследования по разработанной методике



► Критерии выбора оптимального состава и параметров ВДК :

- максимум замещения топлива, чистого приведенного дохода, внутр. нормы доходности
- минимум себестоимости ЭлЭн и сроков окупаемости ВДК;

Выбор оптимума состава: по найденным экстремумам по оси параметра $\varepsilon = P_{\text{ВЭС}} / P_{\text{ДЭС}}$

► Графики потребляемой мощности ВДК

задаются математическими моделями либо (при наличии) реальными

► Мощность ВДК, соответствующая нагрузке,

обеспечивается заданным набором до 5 ДГУ

Суммарная номинальная мощность ДЭС выбирается с

25 - 30 % запасом от максимума средн. нагрузки за год

► Зависимость удельного (на 1 кВт·ч) расхода ДТ

дизтоплива $F(P_{\text{ДГ}})$ задается фактической расходной характеристикой либо математической моделью

Принципы и результаты решения задачи

6

НИЦ "АТМОГРАФ" разработана методика расчета ТЭП ЭК по заданным графикам нагрузки и технико-экономическим характеристикам ДГУ (ГПУ/ГТУ) и ВЭУ, численно реализованная программным комплексом (ПК) "ВОСТОК", совмещенным с БД метео- и аэрологических данных "ФЛЮГЕР" (© НИЦ "АТМОГРАФ").

На входе задаются параметры ЭК, на выходе ТЭП ЭК в цифровом и графическом виде.

Преимущества ПК "ВОСТОК": существенно более точное по сравнению с известными методиками теоретическое моделирование годового и суточного хода скорости и функции распределения ветра и мощности ВЭУ по метео- и аэрологическим данным

© НИЦ "АТМОГРАФ": ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС "ВОСТОК" ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА В РАЙОНЕ **Тикси, Саха-Якутия**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА

МОДЕЛЬ W A S P МОДЕЛЬ "СЭНДВИЧ" ЭЛИПС c WAsP ЛОГАРИФМ

ПРОФИЛ LOG LOG+ LOG LOG+ + ЭЛИПС

ВЕТРА $V(h)$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $G(V)$ АТМОГРАФ ВЕЙБУЛА A = ОСРЕДНЕНИЕ $G(V)$ ГОДОВАЯ СЕЗОННАЯ

K =

РАСЧЕТ ПО РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| СРЕДНИМ | МЕТЕО | ВИК 1 | ВИК 2 |
| V часовым | 0 | 0 | 1 |
| V суточным | 0 | 0 | 0 |
| V годовым | 0 | 0 | 0 |

ПЛОТНОСТЬ РЕАЛЬНАЯ ВОЗДУХА ρ

$\rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3$

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|------|
| МОЩНОСТЬ НОМ | ТЭС 1 | ТЭС 2 | ТЭС 3 | ТЭС 4 | ТЭС 5 | АСУМ |
| К _{ИУМ} MINIMUM | 0,560 | 0,340 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 0,00 |
| Уд. CAPEX, \$/кВт | 616 | 649 | 685 | 0 | 0 | |
| ОРЕХ, \$/МВт·ч | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | |
| РЕСУРС до кап.рем. | 60000 | | ПОТЕРИ НА Вкл. | | 5 | мтч |
| РЕСУРС ЭК | 20,0 | | | | | лет |
| $\epsilon = P_{вэс} / P_{тэс}$ | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| CAPEX, \$/кВт | 1100 | 700 | 1300 | 0 | 0 | |
| ОРЕХ, \$/кВт·ч | 0,012 | 0,008 | 0,008 | 0,000 | 0,008 | |

ЗАКУПОЧНЫЕ ЭлЭн ТЕПЛО ТОПЛИВО КУРС, #/\$ Г_{дисконт}

| | | | | | | |
|--------------------|----------------------|------------|--|------|-------|------|
| ЦЕНЫ, руб./кВт·ч | 10,85 | 3,62 | 600 | \$/т | 65,00 | 11,4 |
| Уд. Расход топлива | F(Р _{тэс}) | Постоянный | Р _{тэс} НОМ / Р _{тэс} СРЕДН. МАХ | | | |
| | 1 | 0 | 1,35 | | | |

ТИП ВЭУ, МОЩНОСТЬ P_{вэу} (кВт) и ВЫСОТА Н

| | | | |
|---|---------------------------|-----|------|
| 0 | Gamesa 53 55 м | 850 | 55,0 |
| 0 | Vestas V 52 850 kW H=55 м | 850 | 55,0 |
| 0 | Free Breez V 47/600 kW 50 | 600 | 51,0 |
| 0 | Vestas V39 - 500 кВт 40 м | 500 | 41,0 |
| 0 | Vestas V 27 225x50 kW | 225 | 31,5 |
| 0 | Vergnet GEV 30/275 55 м | 275 | 55,0 |
| 1 | Komai KWT 300 41.5 м | 300 | 41,5 |
| 0 | Vestas V 29 225 kW H=31 | 225 | 31,5 |

СОСТАВ CAPEX И ОРЕХ
Удельная стоимость, \$/кВт
ТЭС ВЭС ФЭС
600 1300 800

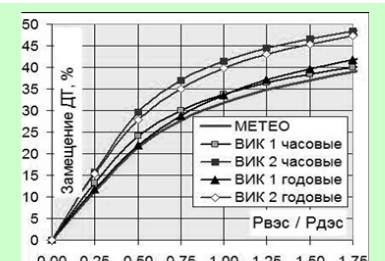
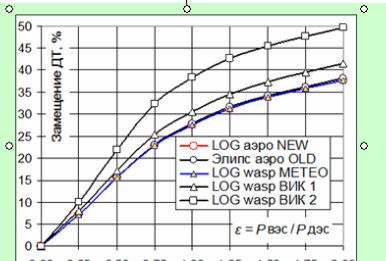
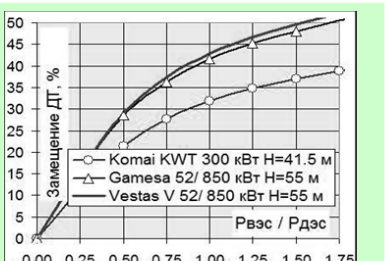
Система управл. **136**
Доставка **113**
ЛЭП **35**
Дороги **22**
Кредит **3000** под **8** %
ИТОГО CAPEX : **3006**
Зарплата **500**
МАКРОЭКОНОМИКА
Индекс потребления **0,02**
Пром. Дефлятор **0,02**
НАЛОГИ (%):
Прибыль **20,0** НДС **20**
Соц.страх **34,2** Имущ **2,00**

ВЫСОТА НА ОСИ РОТОРА ВЭУ **41** м

| | | | | | |
|----------------------|------|-------|------|-------|------|
| ГОД | ЗИМА | ВЕСНА | ЛЕТО | ОСЕНЬ | |
| СКОРОСТЬ ВЕТРА | 6,64 | 6,2 | 5,4 | 6,11 | 8,87 |
| ρ/ρ_0 | 1,11 | 1,19 | 1,13 | 1,02 | 1,1 |
| K _{ИУМ} , % | 22,8 | 19,7 | 14,7 | 19,2 | 37,7 |

РЕЗУЛЬТАТЫ

| | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---|
| | Без ВЭЗ | Без тепла | С теплом |
| | f(V) _{год} | f(V) _{час} | f(V) _{год} f(V) _{час} |
| Замещение топлива, % | 0,0 | 48,5 | 49,5 |
| Себестоимость ЭлЭн, \$/кВтч | 0,068 | 0,064 | 0,046 |
| Капзатраты на ЭК, \$/кВт | 634 | 2834 | 2850 |
| Затраты на топливо, \$ | 5271 | 2716 | 2660 |
| Затраты на О&М ЭК, \$/кВт | 815 | 855 | 863 |
| CAPEX+ОРЕХ, \$ | 6720 | 6405 | 6430 |
| Т окупаемости, лет | 20,5 | 14,3 | 13,8 |
| ЧДД по ЭлЭн, \$ | -102 | 393 | 447 |
| IRR (ВНД), % | 11 | 14,0 | 14,2 |

Сравнительный анализ влияния рассмотренных факторов на ТЭП ВДК

7

| № | Факторы | Себестоимость, \$/кВт·ч | | Окупаемость, лет | | Капзатраты, \$/кВт | |
|----------------------------|---|-------------------------|-------|------------------|-------|--------------------|-------|
| | | покр-ли ДЭС | | (без ВЭС) | | | |
| влияющие на экономические | | | | | | | |
| 1 | Количество ДГУ в ДЭС | 1 | 1,19 | 1 | 1,66 | 1 | 1,68 |
| 2 | Мощности базовых ДГУ в ДЭС | 1 | 1,07 | 1 | 1,33 | 1 | 1,22 |
| 3 | Ресурсы ДГУ (моточасы) | 1 | 1,31 | 1 | 3,82 | 1 | 5,78 |
| 4 | Число запусков-остановок ДГУ | 1 | 1,13 | 1 | 1,83 | 1 | 1,62 |
| 5 | Разные расходы топлива на ДГУ | 1 | 1,05 | 1 | 1,62 | 1 | 1 |
| 6 | Разброс цен на топливо | 1 | 1,26 | 1 | 4,44 | 1 | 1 |
| 7 | Диапазоны работы ДГУ по $K_{иум}$ | 1 | 1,02 | 1 | 1,57 | 1 | 1,4 |
| 8 | Разброс удельных капзатрат на ДЭС | 1 | 1,06 | 1 | 1,38 | 1 | 1,4 |
| 9 | Разброс удельных затрат на эксплуатацию ДЭС | 1 | 1,09 | 1 | 1,31 | 1 | 1 |
| Факторы влияния ВЭС на ВДК | | | | | | | |
| 1 | Разное осреднение функций $F(V)$ | 1 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1 | 1,03 |
| 2 | Разное осреднение скоростей ветра | 1 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1 | 1,03 |
| 3 | Разное соотношение мощностей ДГУ | 1 | 1,03 | 1 | 1,09 | 1 | 1,11 |
| 4 | Разные периоды измерения на ВИК | 1 | 1,08 | 1 | 1,32 | 1 | 1,30 |
| 5 | Расхождение данных метео- и ВИК | 1 | 1,12 | 1 | 1,39 | 1 | 1,43 |
| 6 | Учет числа включений-выкл. ДГУ | 1 | 1,12 | 1 | 1,12 | 1 | 1,30 |
| 7 | Погрешности определения скоростей ветра | 1 | 1,05 | 1 | 1,26 | 1 | 1,32 |
| 8 | Вариации высот башен | 1 | 1,03 | 1 | 1,00 | 1 | 1,04 |
| 9 | Разные типоразмеры базовых ВЭУ | 1 | 1,09 | 1 | 1,05 | 1 | 1,03 |
| 10 | Разброс удельных капзатрат на ВЭС | 1 | 1,08 | 1 | 1,23 | 1 | 1,23 |
| 11 | Разброс удельных затрат на эксплуатацию ВЭС | 1 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1 | 1,03 |
| 12 | Разные модели нагрузки | 1 | 1,07 | 1 | 1,75 | 1 | 1,08 |
| 13 | Коэффициент дисконтирования | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% |
| 14 | Реализация избытка мощности ВЭС | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% |

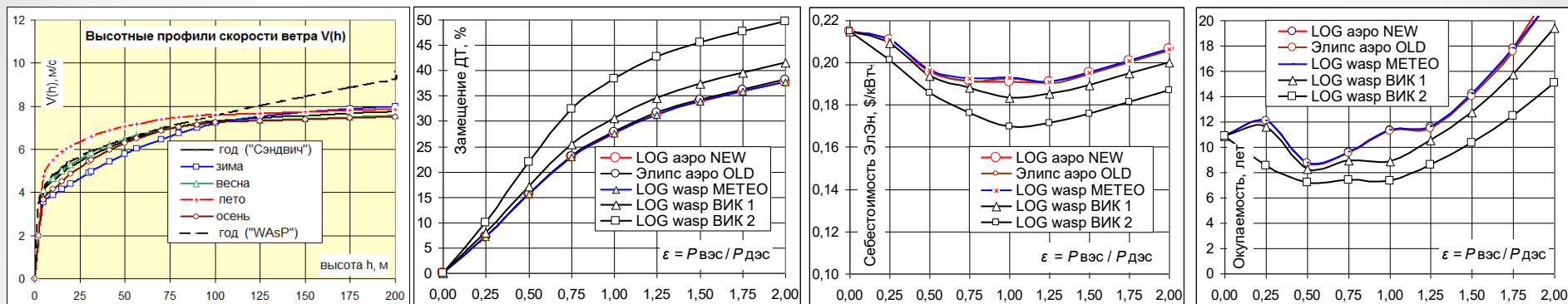
Результаты анализа даны в безразмерном виде с диапазонами возможных погрешностей определения экономических показателей ВДК при возможной неопределенности факторов.

Установлено: Все приведенные в таблице факторы существенны при выборе составов и типов ДГУ и ВЭУ для ВДК. Суммарные погрешности определения себестоимости ЭЭ ЭК без ВЭУ, оцененные по диапазонам изменчивости рассмотренных и приведенных в таблице факторов, могут достигать 45%, а при определении окупаемости ДГУ и ЭКВ могут привести к качественно неверным выводам (с точностью до наличия или отсутствия окупаемости).

Исследование влияния на точность определения средней месячной, суточной, часовой мощности ВЭУ высотных профилей скорости ветра $V(h)$ по разным моделям

Результаты исследования влияния моделей $V(h)$ на ТЭП ВДК для Тикси даны на рисунках

Зависимость показателей ВДК от модели высотного профиля скорости $V(h)$



Отличия себестоимости ЭлЭн ВДК по моделям АТМОГРАФ и WASP на 60, 80 и 100 м = 5, 7 и 10%

Использованная в методике автора модель $V(h)$ "Сэндвич", учитывающая известный эффект выравнивания скорости ветра с высотой, дает возможность выбора оптимальных высот

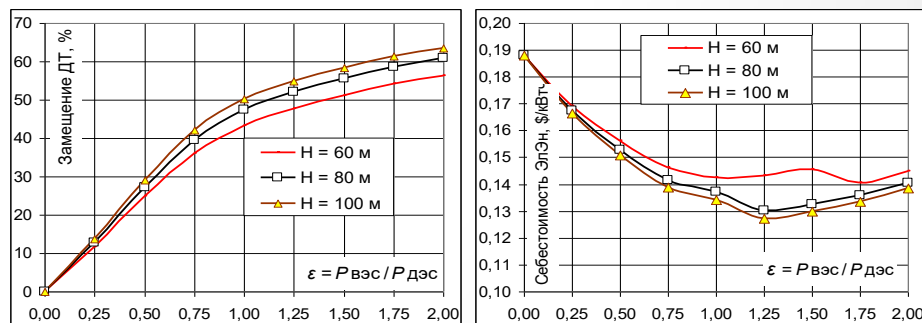
башен ВЭУ на основании достоверного учета изменения $V(h)$, мощности ВЭУ и ТЭП ВДК с ростом высоты башни H_B по предложенной автором и приведенной ниже модели связи капзатрат на ВЭУ от высоты их башен H_B :

$$K_3(H) = K_{z_0} + K_H \cdot (H_B - H_B^0), \text{ где } H_B^0 \approx D_{ВК} \text{ ВЭУ}$$

Расчет для ВЭУ Fuhrlander FL 2500-100 в Керчи: с ростом H_B изменения ТЭП ВДК

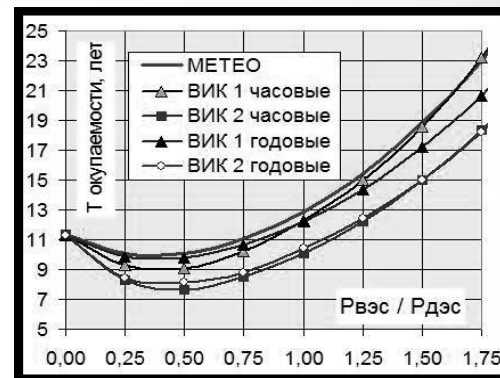
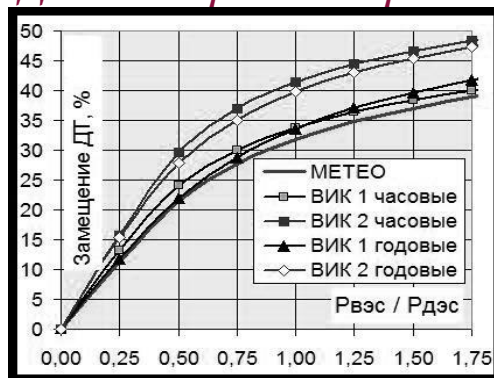
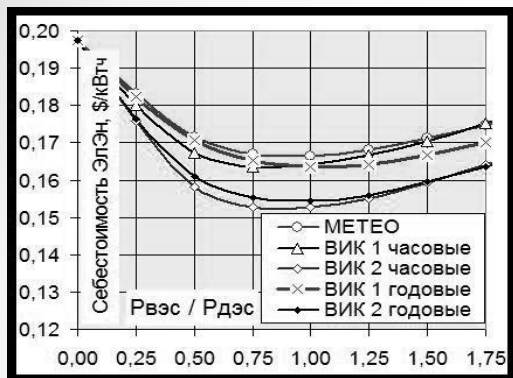
замедляются => Выбор ВЭУ с $H_B = 80$ м технологичнее и экономичнее, чем с $H_B = 100$ м

Результат практически важен с учетом принятого в России курса на локализацию ВЭУ



Исследование возможности совместного использования данных измерений ветра на метео- (МС) и аэро- (АС) станциях и ВИК для моделирования ВЭП

Зависимость показателей ВДК от ϵ при моделировании по данным МС и ВИК



Установлено: Разница ТЭП ВДК в Керчи, рассчитанных по данным МС и АС и ВИК в 2 соседних года, отличается количественно и качественно: разница себест. ЭлЭл в минимуме – до 8%, а по замещению ДТ и окупаемости в минимумах себестоимости ЭЭ ВДК – до 20%.

К вопросу об использовании корреляции данных для устранения межгодовой изменчивости и сопоставлении данных измерений ветра на МС и ВИК: в Керчи (как и в Новиково и Тикси) корреляция скоростей ветра, определенных по многолетним среднемесячным метеоданным и данным 2-х годовых измерений на ВИК, полученным в разные время, не обнаружено (табл.)

Данные ВИК из-за межгодовых вариаций ветра не гарантируют достоверного расчета ТЭП ВДК

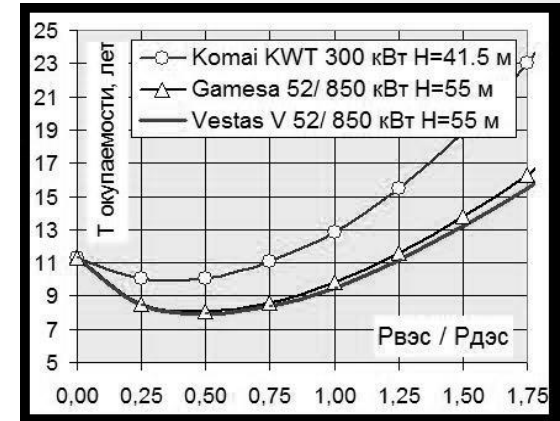
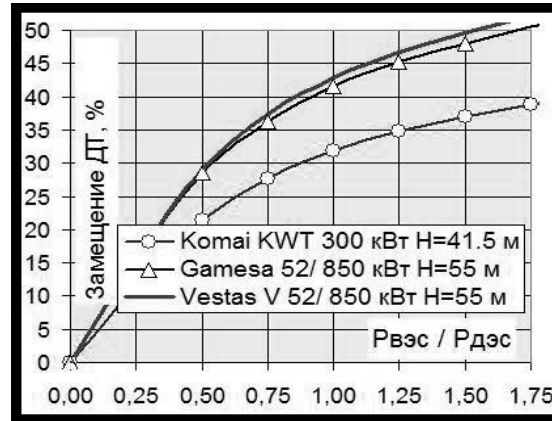
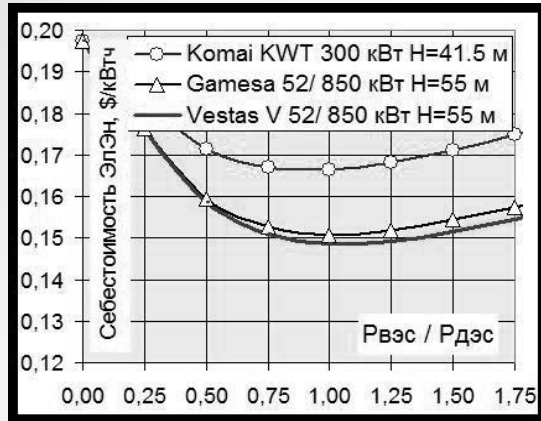
Таблица 7. Коэффициенты корреляции, рассчитанные по данным метеоцентра и ВИК Тикси

| Месяц | Янв | Февр | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентяб | Октяб | Нояб | Декаб |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|-------|
| $R_{\text{ВИК 1-ВИК 2}}$ | 0,15 | -0,06 | -0,34 | | | | | | 0,72 | 0,32 | 0,26 | -0,14 |
| $R_{\text{МЕТЕО-ВИК 1}}$ | 0,42 | -0,27 | -0,45 | 0,34 | 0,68 | 0,07 | 0,83 | 0,06 | 0,59 | -0,04 | -0,68 | -0,12 |
| $R_{\text{МЕТЕО-ВИК 2}}$ | -0,01 | -0,35 | -0,22 | 0,34 | 0,68 | 0,07 | 0,83 | 0,06 | 0,72 | -0,20 | -0,31 | -0,58 |

Выбор оптимальной модели ВЭУ и их количества в составе ВДК 10

Определяется по итоговому расчетным ТЭП ВДК на базе каждой из 8 анализируемых в одном сеансе ВЭУ. Данные расчетов с учетом суточного хода скорости ветра – на рис.

Зависимость показателей ВДК от параметра ε разных базовых ВЭУ в составе ВДК



Установлено: Разброс показателей рассмотренных ВЭУ (в табл.), обусловленный разной скоростью ветра на высотах башен ВЭУ (5,35 и 5,73 м/с), а также их разной энергетической эффективностью ($K_{иум}$ ВЭУ KWT 300 с высотой башни 55 м составил бы 20,9 % против 23,4 и 23,1 % у ВЭУ Vestas V 52/850 kW и Gamesa G 52/850 kW).

| | Номинальная мощность, кВт | Высота оси ротора, м | Скорость ветра на оси, м/с | Средний годовой $K_{иум}$, % | Средний зимний $K_{иум}$, % | Средний летний $K_{иум}$, % |
|----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Komai KWT 300 | 300 | 41,5 | 5,35 | 17,2 | 22,5 | 12,4 |
| Vestas V 52 / 850 kW | 850 | 55 | 5,73 | 23,4 | 28,9 | 18,0 |
| Gamesa G 52 / 850 kW | 850 | 55 | 5,73 | 23,1 | 28,6 | 17,5 |

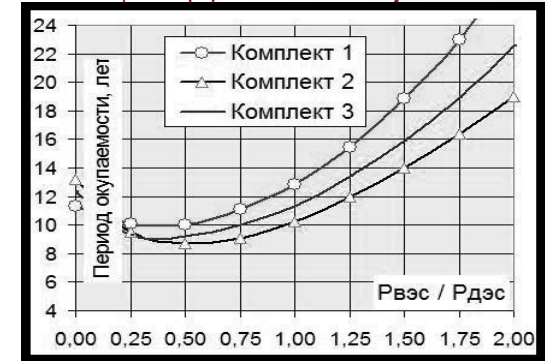
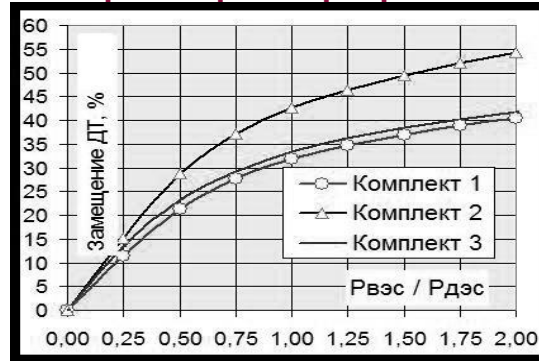
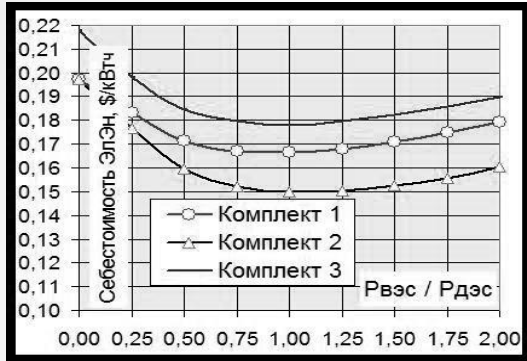
По расчетным показателям 3-х ВЭУ для ВДК Тикси наименее эффективен выбор ВЭУ KWT 300. Наиболее эффективными по выбранным критериям представляются Vestas V 52/850 kW и Gamesa G 52/850 kW, снижающих себестоимость ЭлЭн ВДК \approx на 25% и сроки окупаемости с 11 до 9 лет при изменении ε с 0 до 1.

Исследование влияния состава ДГУ на показатели ВДК 11

Показатели ВДК существенно зависят от состава ДЭС в ВДК и от выбора их мощности, ТЭП ВДК рассчитаны для трех вариантов состава и мощностей ДЭС:

- вариант 1) ДГУ 1 - 0,8; ДГУ 2 - 0,28; ДГУ 3 - 0,100; ДГУ 4 - 0,034
- вариант 2) ДГУ 1 - 0,65; ДГУ 2 - 0,35; ДГУ 3 - 0,083; ДГУ 4 - 0,027
- вариант 3) ДГУ 1 - 0,5; ДГУ 2 - 0,5; ДГУ 3 - 0,083; ДГУ 4 - 0,027

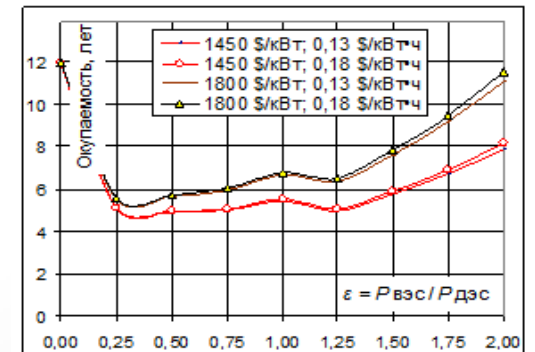
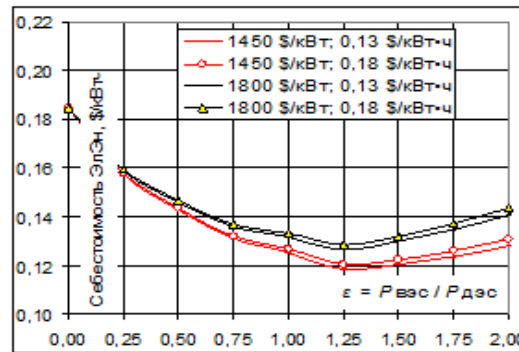
Зависимость показателей ВДК от параметра ϵ при разной комплектации ДЭС для Керчи



Установлено: Приведенный пример демонстрирует возможность снижения расхода ДТ до 10-15 % за счет оптимального выбора состава и мощности ДГУ, комплектующих ВДК

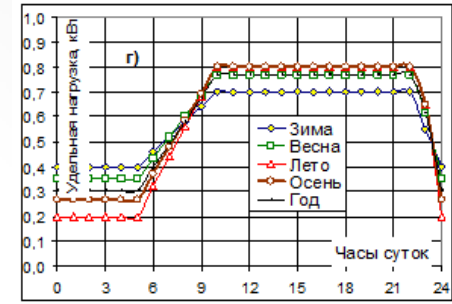
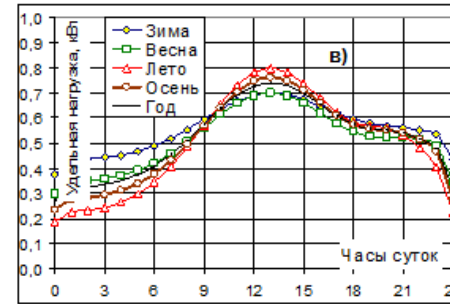
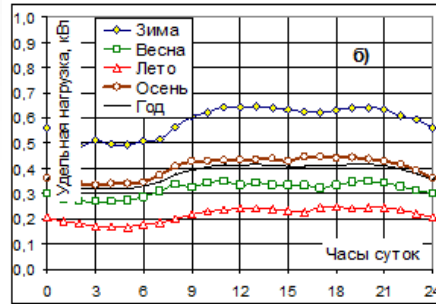
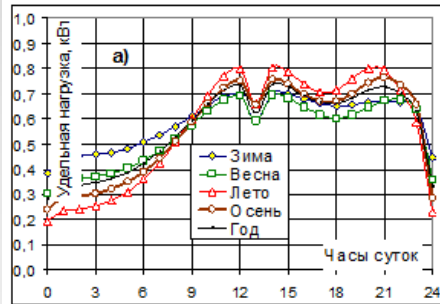
Исследование влияния стоимостных характеристик ВЭУ на ТЭП ВДК

Установлено: незначительные изменения себестоимости ЭлЭн, сроков окупаемости и ЧДД ВДК с увеличением удельных затрат на эксплуатацию ВЭУ (с 0,013 до 0,018 \$/ кВт·ч) и существенные – при росте капитальных затрат на ВЭУ (с 1450 до 1800 \$/ кВт)



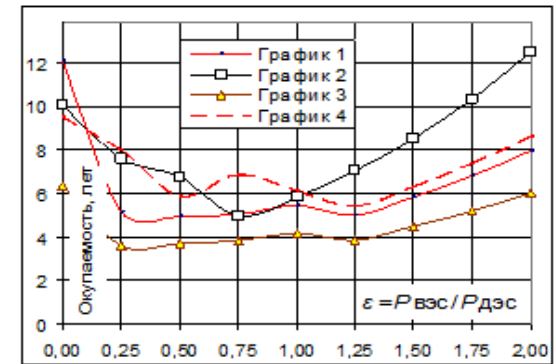
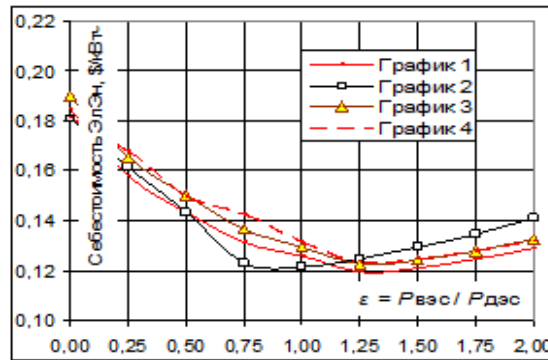
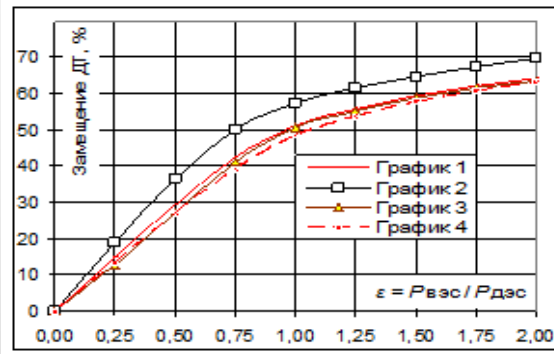
Исследование влияния на ТЭП ВДК параметров (графиков) нагрузки

Расчеты проведены для 4-х графиков нагрузки, приведенных на рисунках а) - г).



Графики нагрузки на рисунке а) примерно соответствуют потреблению ЭлЭн поселениями с развитым производством, основная активность которого приходится на летний период и на световой день с учетом обеденного перерыва. Графики на рисунке б) и в) соответствуют потреблению ЭлЭн поселениями со слабо и умеренно развитым производством. График на рисунке г) рассмотрен для сравнения с графиком на рисунке а) в связи с использованием кусочно-линейной модели для аппроксимации реальных графиков нагрузки.

Зависимость показателей ВДК от параметра ϵ при разных графиках нагрузки



Установлены: Количественные отличия при значениях параметра ϵ вблизи экстремумов T_{OK} и ЧДД достигают 50 - 100 % и более. Качественные отличия показателей ВДК состоят в смещении положения экстремумов по оси ϵ в широком диапазоне для T_{OK} и ЧДД .

Влияние изменчивости характеристик ветра на режимы работы 13 ДГУ и ВДК

Влияние временных вариаций ветра и мощности ВЭУ на работу ДГУ и ВДК исследовано при проектировании ВДК в п. Новиково (Сахалин) статистическим моделированием по данным ВИК с 10-минутным осреднением скорости ветра с учетом графиков нагрузки местной ДЭС.

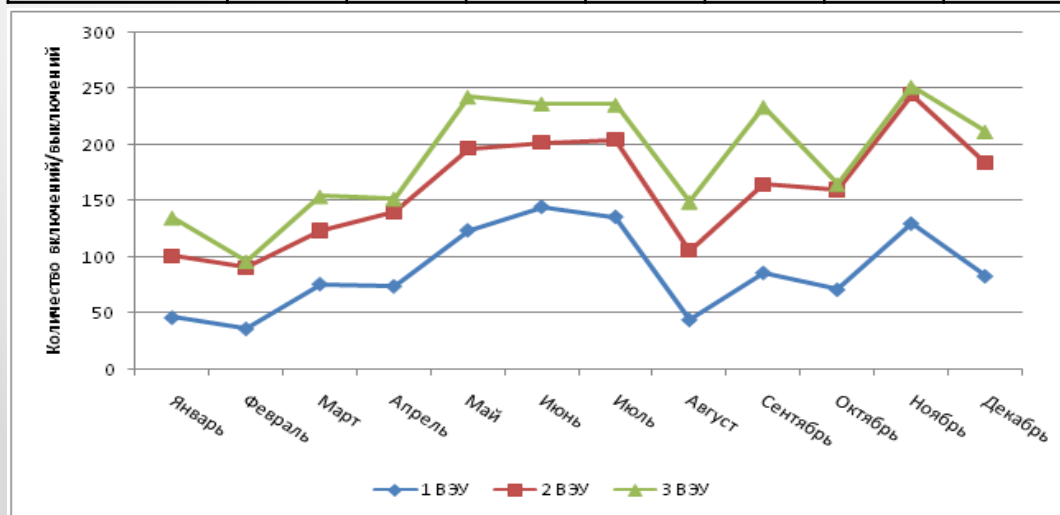
Средние месячные значения нагрузки Новиковской ДЭС (кВт)

| Год \ месяц: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2010 г. | 323 | 332 | 302 | 264 | 266 | 214 | 210 | 312 | 257 | 307 | 317 | 331 |
| 2011 г. | 348 | 321 | 294 | 267 | 261 | 237 | 208 | 316 | 266 | 300 | 309 | 350 |

Установлено: Ежемесячное число отключений – включений ДГУ

зависит от соотношения номинальных мощностей ВЭУ и ДГУ.

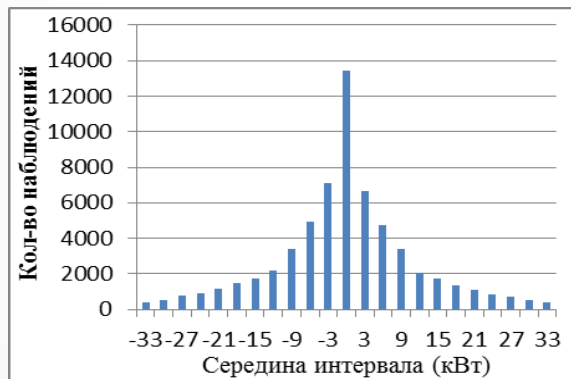
| Месяц № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | За год |
|---------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1 ВЭУ | 46 | 36 | 76 | 74 | 124 | 145 | 136 | 44 | 86 | 71 | 130 | 83 | 1050 |
| 2 ВЭУ | 101 | 91 | 124 | 140 | 197 | 202 | 205 | 106 | 165 | 160 | 245 | 184 | 1920 |
| 3 ВЭУ | 135 | 96 | 154 | 152 | 243 | 237 | 236 | 149 | 234 | 165 | 252 | 212 | 2265 |



Исследование воздействия нестабильности работы ВЭУ на ресурс ДГУ ¹⁴

Согласно исследованию автора, число остановок-запусков ДГУ за год из за пульсаций скорости ветра и мощности ВЭС (Komai KWT 300) в составе ВДК, может достигать > тысячи. Автором предложено оценивать влияние этого фактора через уменьшение ресурса ДГУ при каждом его выключении-включении на определенное количество моточасов (мтч). Рассмотрены варианты потери ресурса ДГУ при каждом включении в 0, 3, 6 и 9 мтч (для танковых ДГУ оно = 50 мтч). Расчетное количество замен каждого ДГУ за 20-летний срок службы ВДК, обусловленное ускоренным расходом их ресурсов по принятой модели влияния включений-выключений, дано в табл. (при $\varepsilon=1,0$).

Вариации 10-минутной средней мощности Vestas V 27



Зависимость числа замен ДГУ по потере ресурса

| Состав ВДК | Мощность ВДК | 0 мтч | 3 мтч | 6 мтч | 9 мтч | 12 мтч |
|------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| ДГУ 1 | 0,65 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| ДГУ 2 | 0,35 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| ДГУ 3 | 0,123 | 9 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| ДГУ 4 | 0,043 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ДГУ 5 | 0,015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| САРЕХ ДГУ при $\varepsilon=$ | | 1225 | 1469 | 1559 | 1803 | 2259 |
| САРЕХ ВДК при $\varepsilon=$ | | 2863 | 3107 | 3197 | 3441 | 3897 |

Установлено: Число включений-выключений ДГУ незначительно повышает себестоимость ЭлЭн ВДК, однако, существенно снижает экономическую эффективность ВДК за счет роста капзатрат при замене выработавших ресурс ДГУ.

Окупаемость и положительный ЧДД за 20-летний период возможны при потере ресурса ДГУ при каждом его включении не более 7 – 8 мтч.

Согласно расчетам, наиболее частой замене подлежит ДГУ наибольшей мощности

Апробация методики

Развитая методика апробирована при проведении предпроектных исследований технико-экономической эффективности проектов ЭК на базе ВЭУ, ДГУ и ГПУ для нескольких пунктов России, результаты трех из которых представлены в диссертации: пос. Новиково (южный Сахалин), пос. Тикси (Саха-Якутия) и г. Керчи (Крым).

Проектирование ВДК для поселка Новиково.

При моделировании характеристик ВЭП, расчетах показателей ВДК и выборе его комплектации и места установки ВЭУ использованы данные многолетних (с 1960 г.) измерений атмосферных параметров (температуры, плотности, скорости ветра) на метеостанции Новиково и ближайших

к ней метеоцентров по данным

БД «Флюгер» и данные двухлетних измерений на ВИК.

На основании проведенных расчетов для вариантов без и с утилизацией в местной угольной котельной избыточной выработки ЭлЭн ВДК при сильных ветрах наиболее эффективным для поселка Новиково оказалась и выбрана комплектация ВДК двумя ВЭУ V 27 компании Vestas.

В конце 2015 г. предложенный вариант ВДК был реализован силами

ОАО РАО "ЭС Востока" и в 2016 г. планируется приступить к его опытной эксплуатации.

