

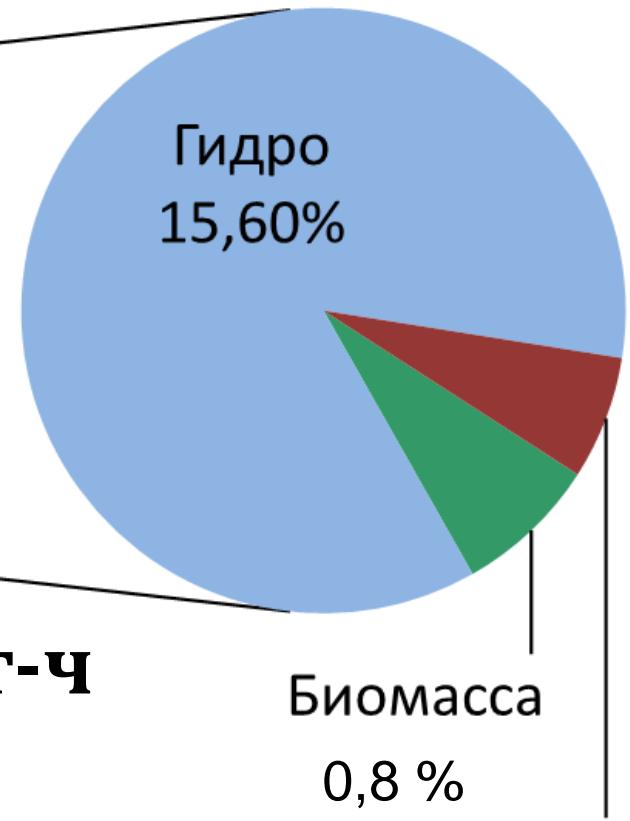
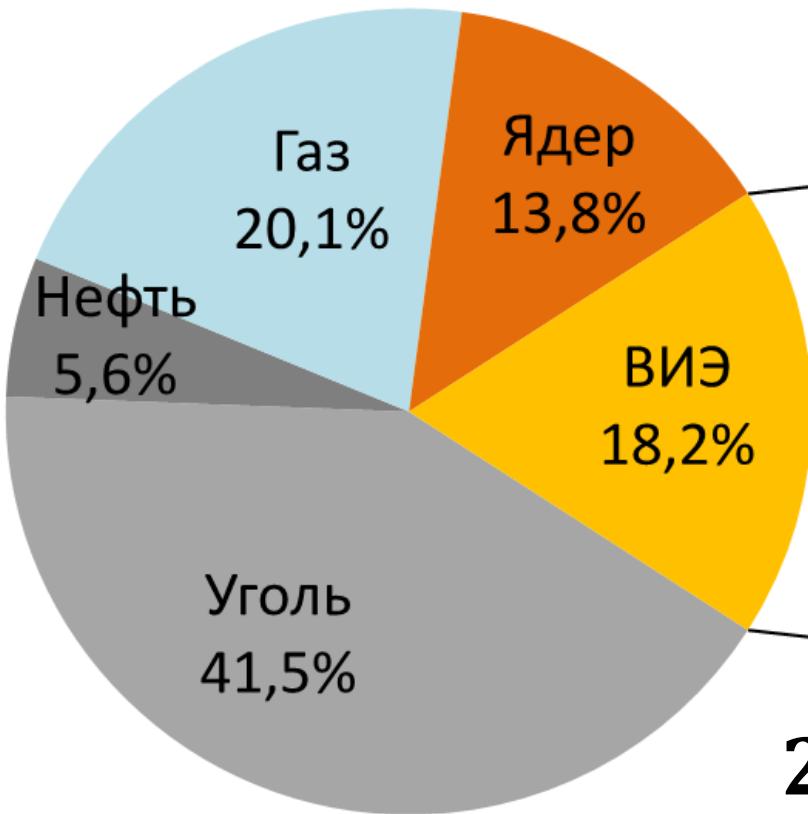
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Елистратов В.В.,

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой ВИЭГ СПбГПУ,
Председатель научного Совета
по проблемам ВИЭ СПб Центра РАН



Доля ВИЭ в производстве электроэнергии (2009г.)



20514 ТВт·ч

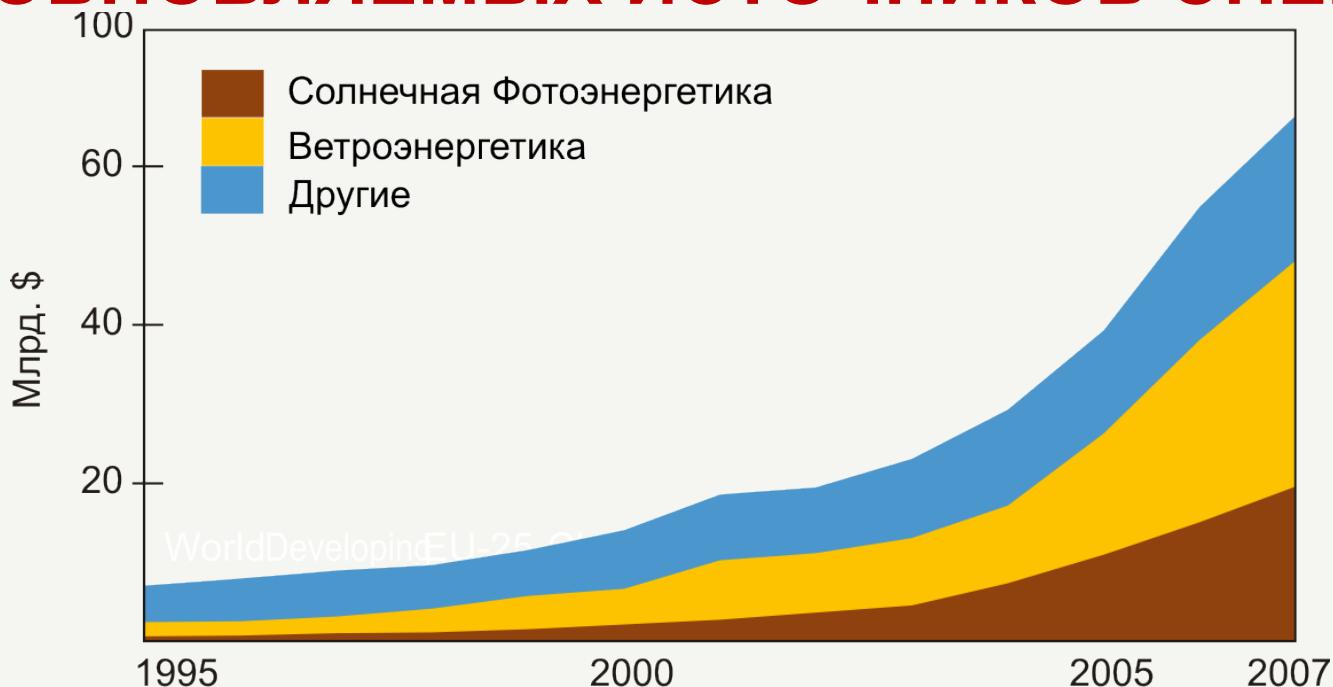
* Геотермальн., солнечн., ветр., волн., приливн., др.

Установленная мощность электростанций в мире (2008 год)

■ Общая мощность ЭС, ГВт	4700
в том числе ЭС на ВИЭ:	
■ крупные ГЭС, ГВт	860
■ ВЭС, ГВт	157,9*
■ малые ГЭС, ГВт	85
■ биоЭС, ГВт	52
■ СолнФЭС, ГВт	16,5*
■ ГеоТЭС, ГВт	10

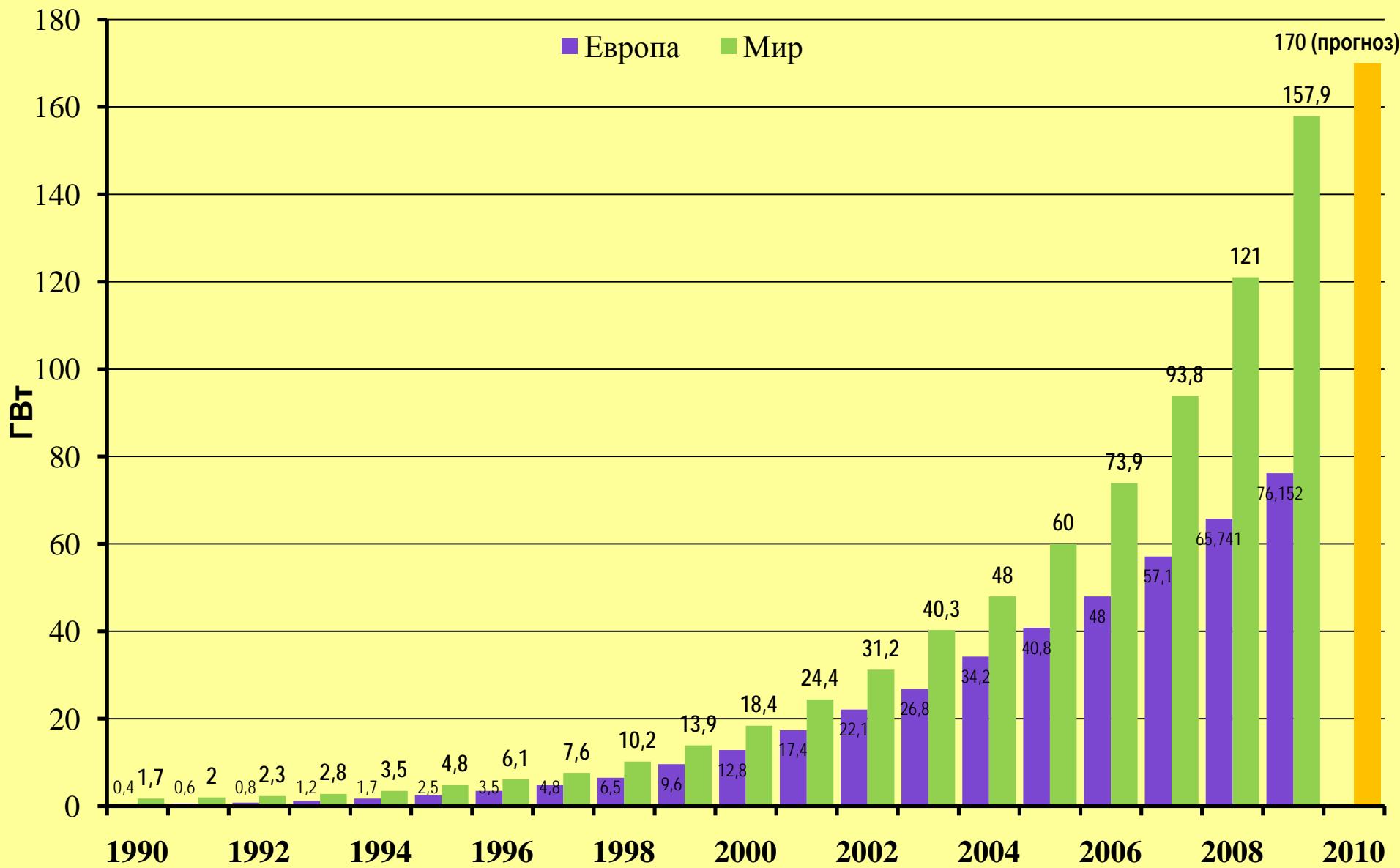
* - данные 2009 года

ИНВЕСТИЦИИ В ОТРАСЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ



- В 2008 году общие инвестиции в развитие возобновляемых источников энергии превысили **\$120 млрд (в 2009 году превысят 130 млрд. \$)**
- которые были направлены на строительство станций на базе ВИЭ
- **\$50.4 млрд** на развитие ветроэнергетики
- **\$38.4 млрд.** на развитие солнечной фотоэнергетики
- **\$15.6 млрд.** на строительство заводов по производству солнечных элементов
- **\$16 млрд.** направлены на научные исследования и проекты
- Дополнительно было затрачено **\$40-45 млрд.** на развитие большой гидроэнергетики

Развитие мировой ветроэнергетики до 2010 года



Мировые лидеры по развитию ветроэнергетики (2009 г.)

Место в мире	Страна	Ввод мощностей за год, МВт	Темп роста %	Общая установленная мощность, МВт
1	США	9922	28%	35159
2	Германия	1917	7%	25777
3	Китай	13000	52%	25104
4	Испания	2459	13%	19149
5	Индия	1271	12%	10926
	Остальные	8897	21%	41784
Всего		37466	24%	157899

Масштабы участия ВЭС в электроснабжении

В 2009 году на ВЭС мира выработано около 340 ТВт·ч электроэнергии, это около 2% произведенной электроэнергии

Доля ветроэнергии в странах мира:

- Дания - 20 %
- Португалия -15%,
- Испания – 14%,
- Германия – 9%.

Увеличение доли ветроэнергии может приводить к:

- ухудшению качества электроэнергии,
- увеличению риска аварии и «раскачивания» энергосистемы, особенно в региональных сетях;
- снижение надежности энергоснабжения

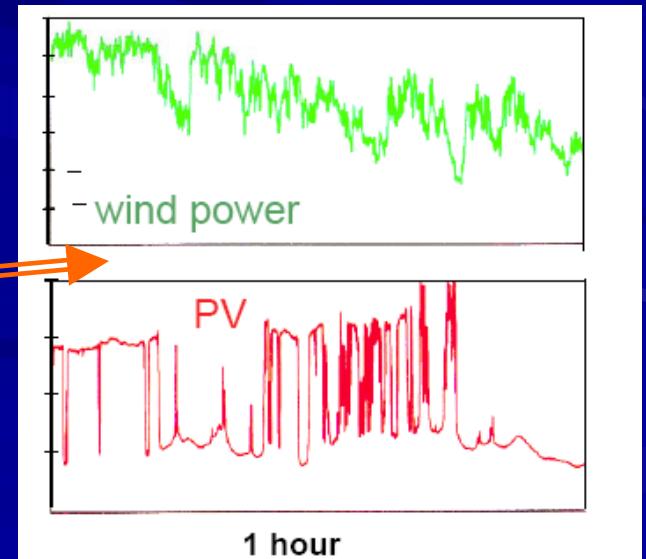
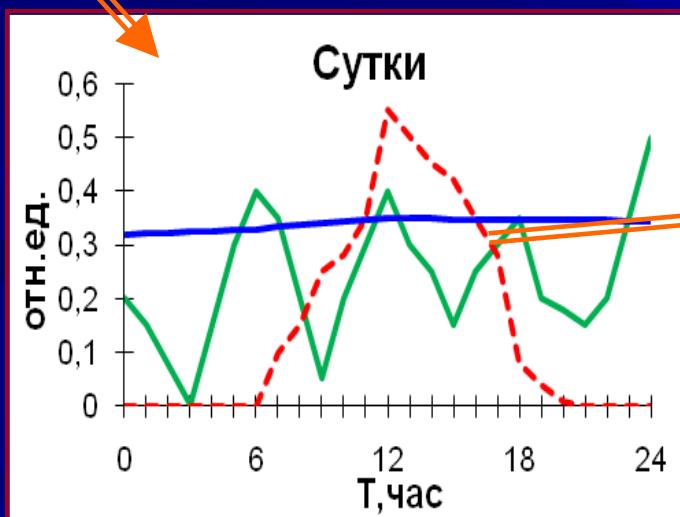
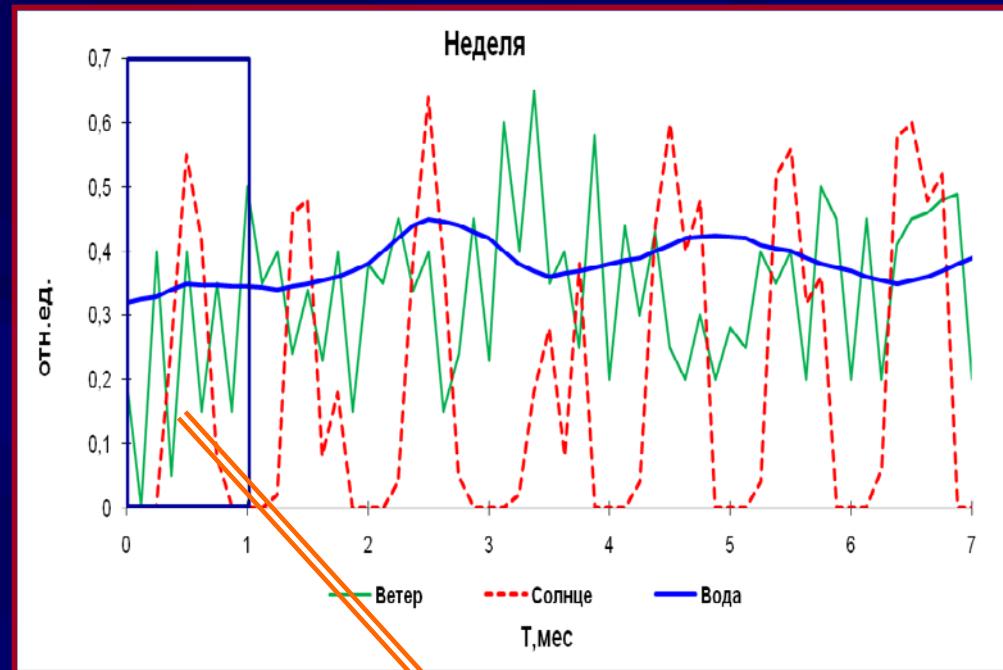
Этапы вовлечения ВИЭ в энергетический баланс региона

- определение потребностей региона в электроэнергии, т.е. оценить является ли регион энергодефицитным или энергоизбыточным;
- выполнить анализ основных источников органического топлива, местных и дальнепривозных, тепловой и электрической энергии;
- оценить ресурсы, прежде всего экономические, возобновляемых источников энергии, районировать территорию региона по плотности ресурсов для отдельных видов ВИЭ;
- изучить сетевое хозяйство региона, схемы транспортировки, распределения энергии различных классов напряжения, пропускную способность ЛЭП, места размещения подстанций и др.
- выполнить анализ технологических схем и установок для преобразования ВИЭ с учетом специфики региона;
- наметить и обосновать перспективные первоочередные площадки строительства установок на ВИЭ, выполнить первый этап проектирования – обоснование инвестиций, с оценкой технико-экономических показателей и учетом социально-экологических факторов и последствий.

Задачи, решаемые при внедрении ВИЭ в региональную энергетику

- достоверное определение текущей мощности и режима ее отдачи в краткосрочном, среднесрочном и долгосрочно периодах от случайно-детерминированных источников энергии ВИ в условиях неполноты исходной метеорологической, гидрологической и топографической информации;
- обоснование эффективных технологий пробразования и единичной мощности установок для использования источников энергии низкой плотности и концентрации и высокой удельной материалоемкости и стоимости;
- обеспечение качества и надежности энергоснабжения, согласование процессов производства и потребления энергии, возможность и целесообразность дублирования энергии ВИ из-за случайного характера ее прихода.

Сравнение прихода энергии ВИ в различных временных интервалах



Модель преобразования ветровой энергии.

При многолетних
рядах наблюдений
(3 года и более)

Данные многолетних
измерений



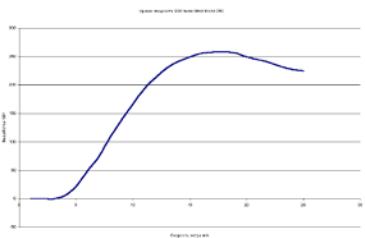
модель определения ветровых
параметров

$$f(V) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{V}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{\beta} \right)^\gamma \right]$$

$$\gamma = a + \frac{\delta_u}{\delta_{\bar{u}}} \cdot r(\bar{u}, \gamma) \cdot [\bar{u}_i - \bar{u}] \quad \beta = \frac{\bar{u}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)}$$

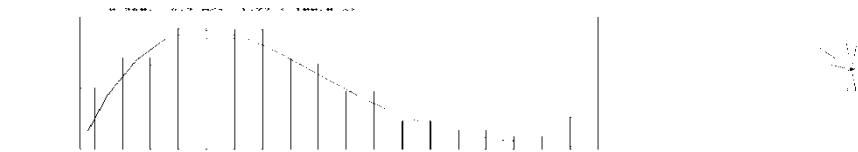
$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \beta^3 \cdot \Gamma \left(\frac{3}{\gamma} + 1 \right)$$

Банк рабочих характеристик
ВЭУ

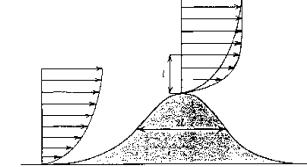
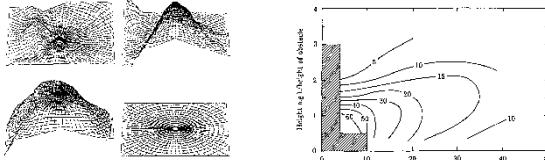


По осредненным характеристикам

Данные краткосрочных наблюдений от близлежащих метеостанций



Статистическая и гидродинамическая модели параметров ветра

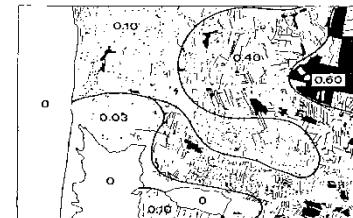


Расчет энергетических
показателей ВЭУ

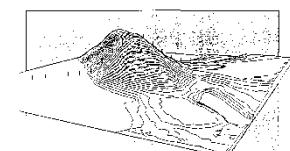
$$P_{BK} = \pi \rho \frac{V^3 R^2}{2} \xi$$

$$\mathcal{E} = T \int_{V_{MIN}}^{V_{MAX}} P(V) f(V) dV$$

Данные о рельефе и подстилающей
поверхности



$$z_o = 0,5 \cdot \frac{h \cdot S}{A_H}$$



$$V(z) = V(z_f) \left(\frac{z}{z_f} \right)^p$$

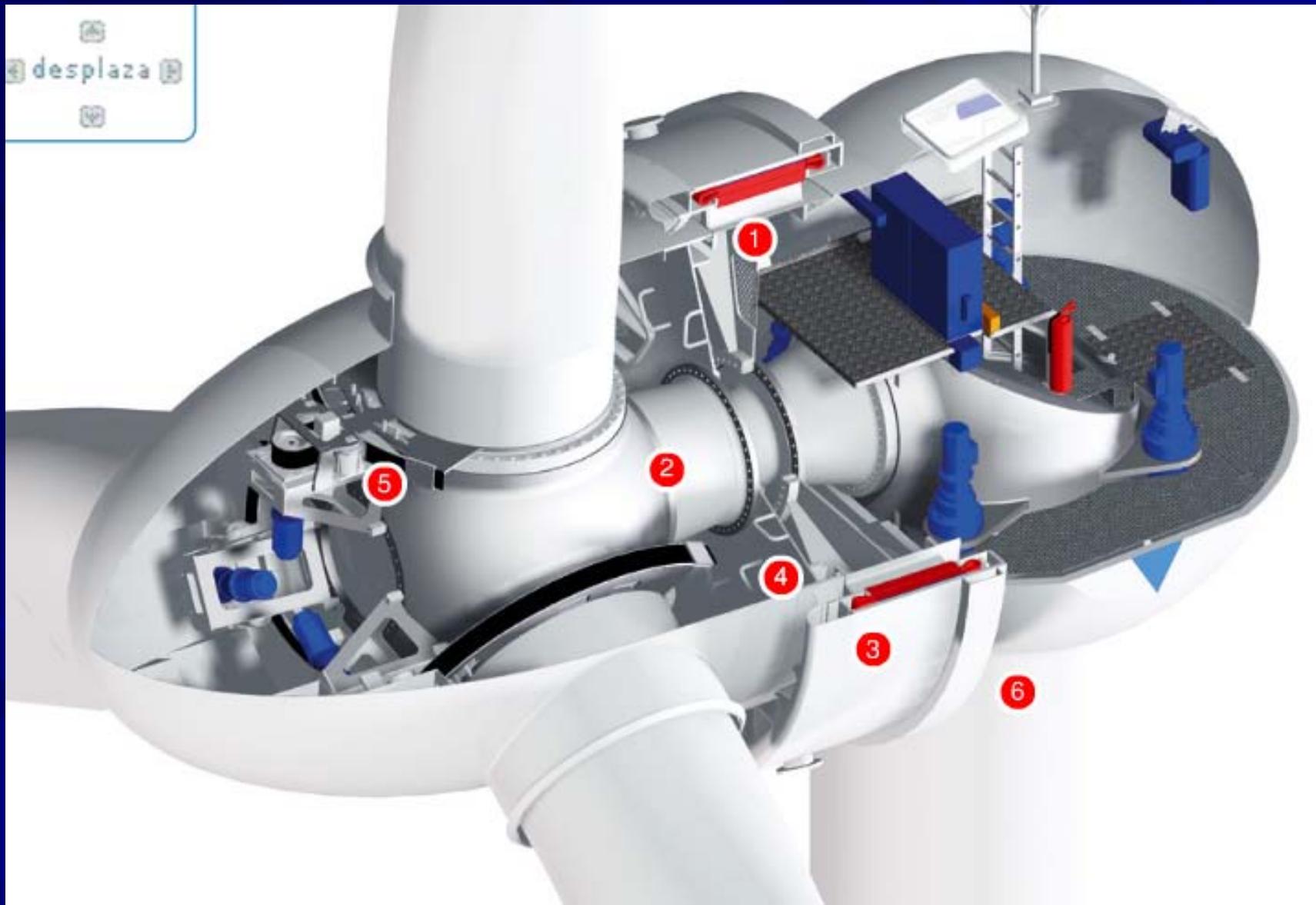
Мероприятия для решения 2-й и 3-й задач (схемный и системный уровни)

- ❑ Использование новых схем оборудования ВЭУ**
- ❑ Использование новых схем подключения ВЭУ к сети**
- ❑ Закольцовывание сетей и расшивка «узких горлышек» в сетях**
- ❑ Использование схем компенсации недовыработки ВЭУ – создание энергокомплексов, например, ГЭС-ВЭС**

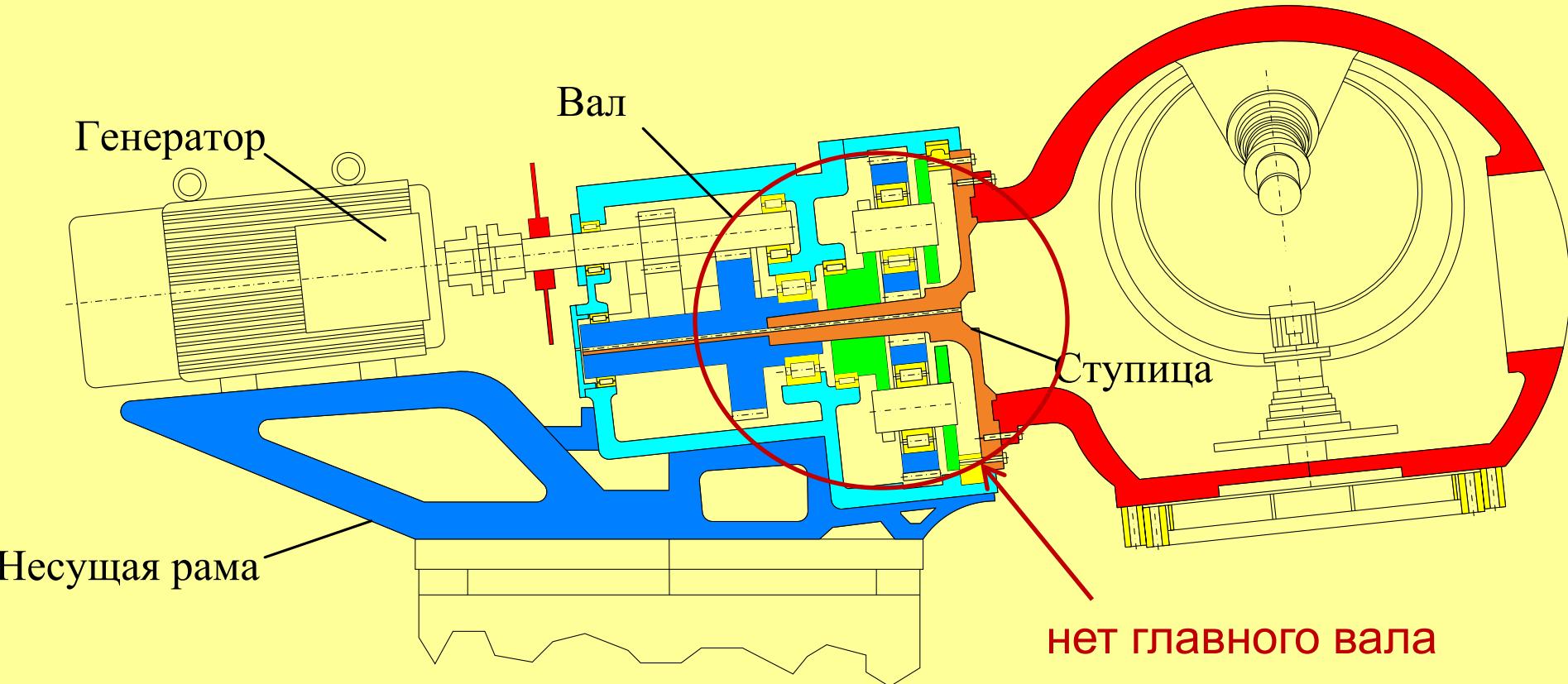
Ветровая турбина ENERCON с классическим электромагнитным возбуждением



Ветровая турбина Vensys с генератором на постоянных магнитах



Ветровая турбина Vestas V90 и WWD- 3MW с соединением оборудования без главного вала



Гондола WWD-3 без оболочки



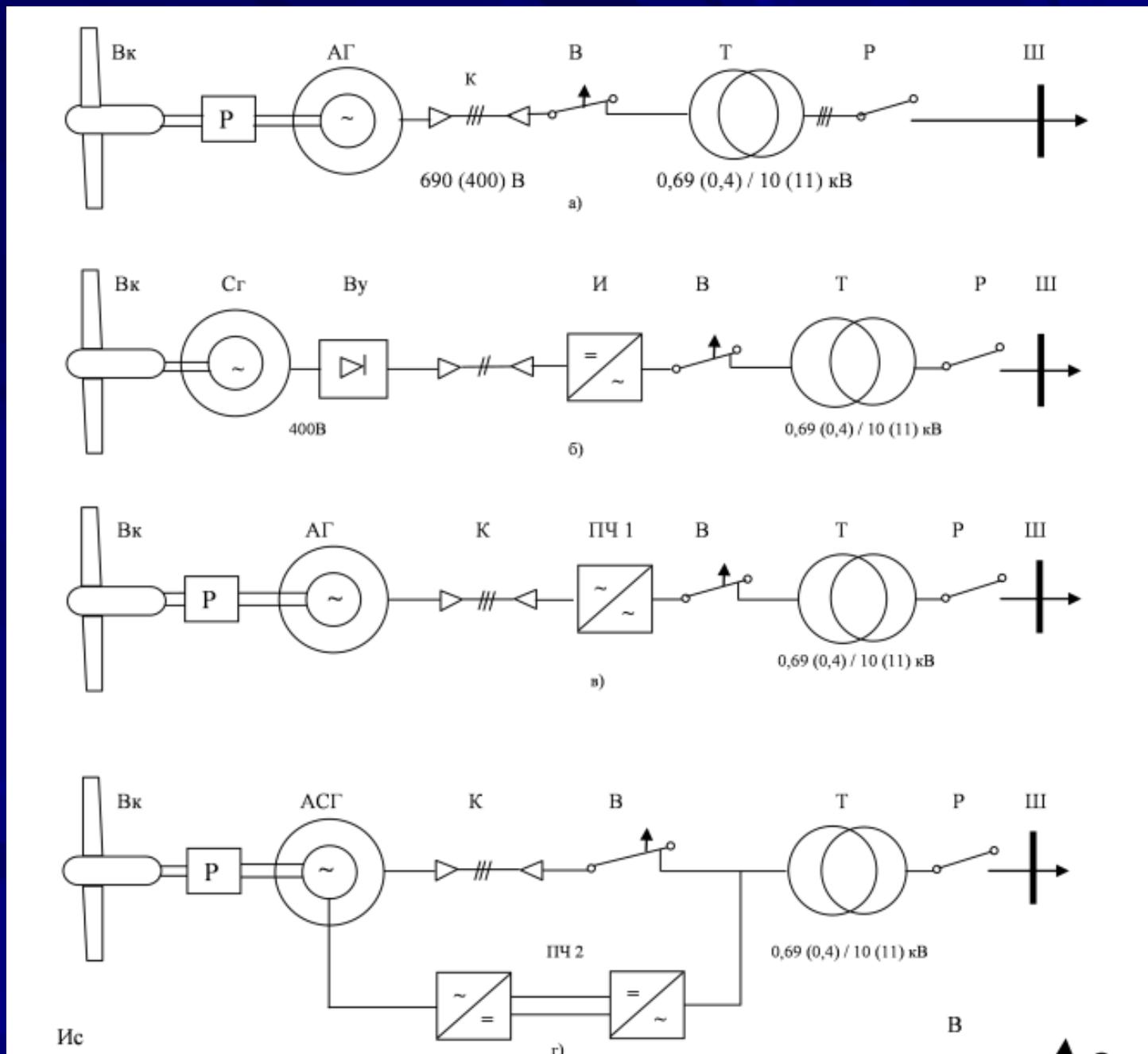
Ступица ветроколеса WWD-3 с системой поворота лопастей



Гондола WWD-3 d в сборе (длина 16,9 м)



СПОСОБЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ВЕТРОТУРБИНЫ К СЕТИ



Алгоритм обоснования параметров при комплексном использовании ВИЭ в регионе

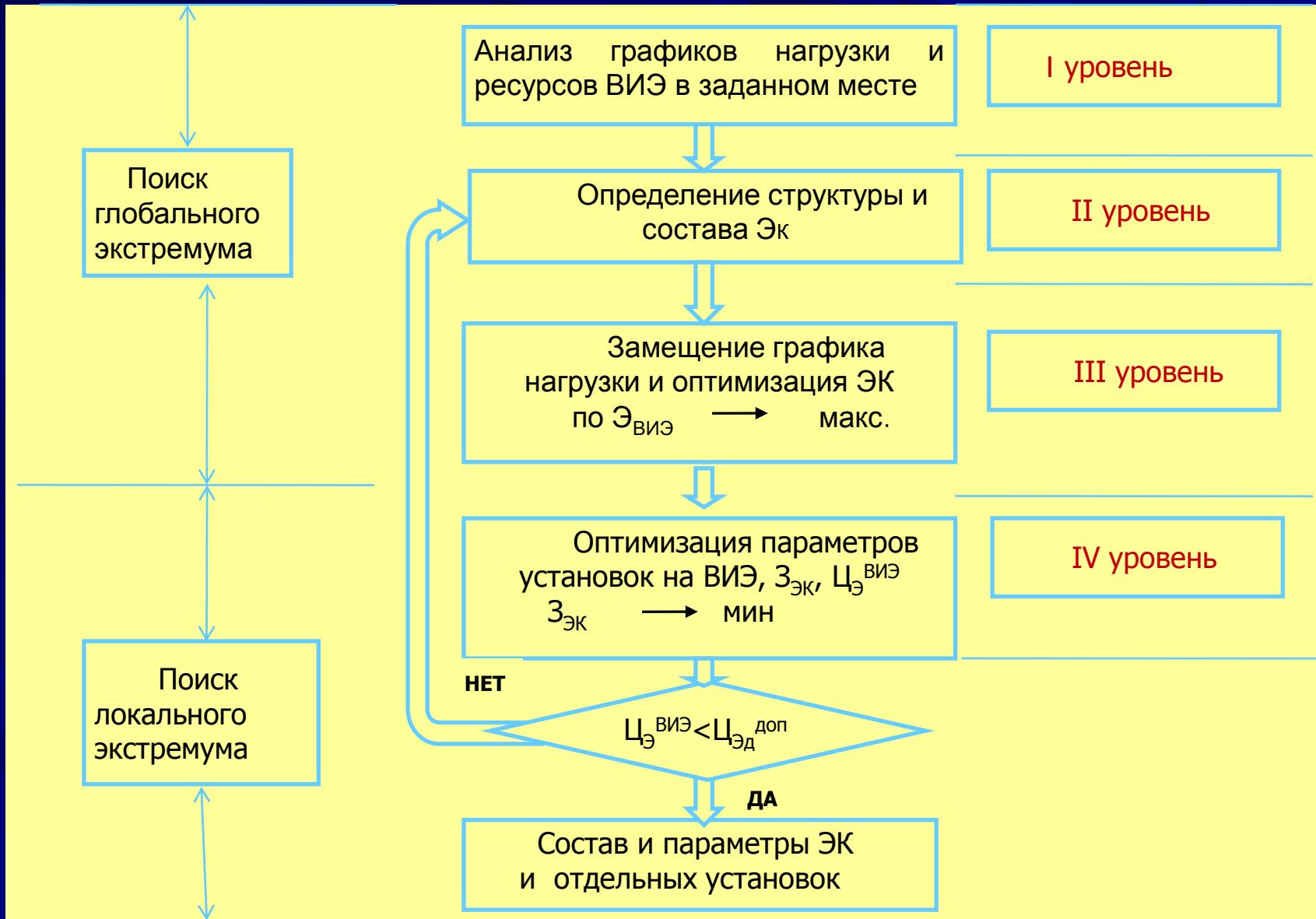
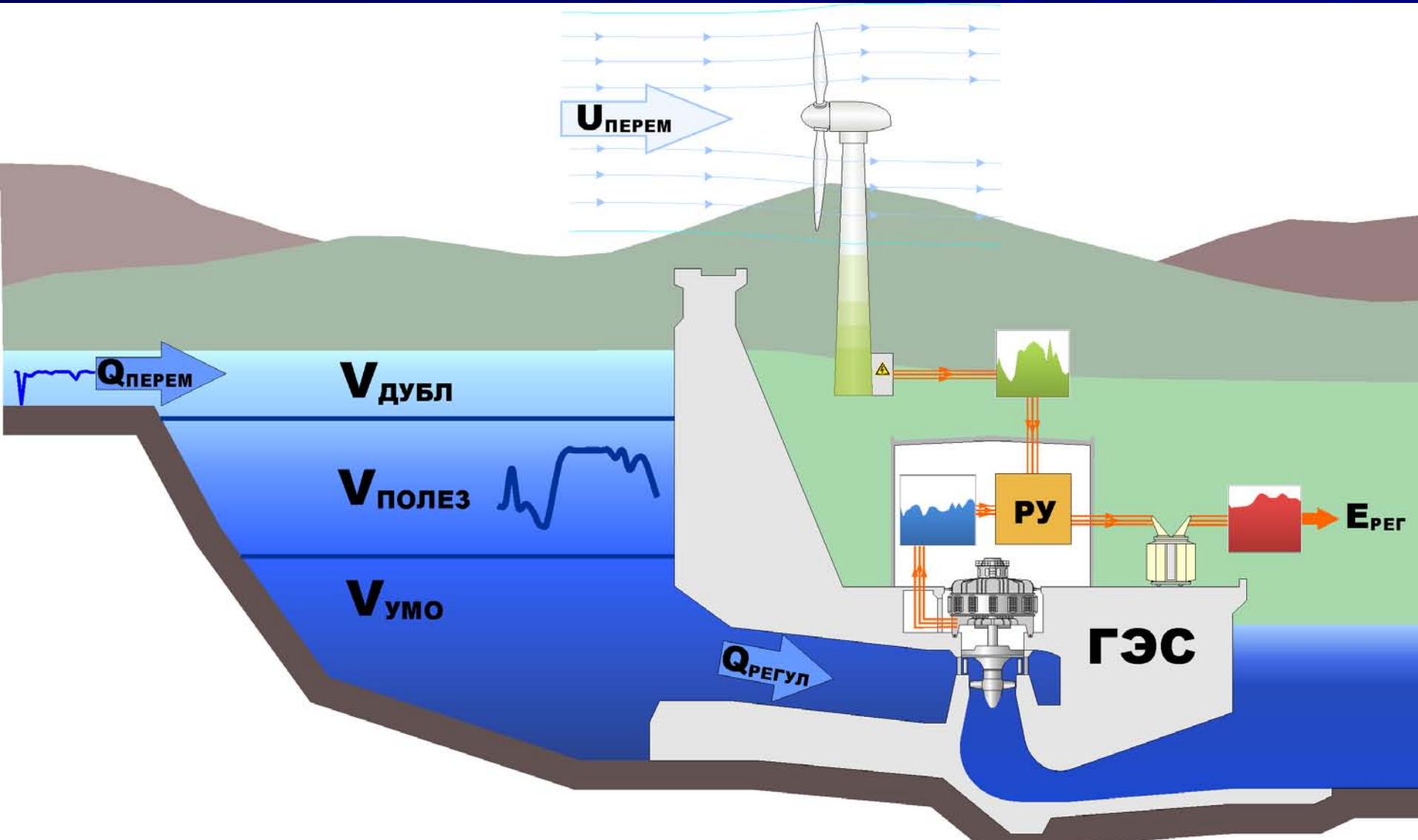
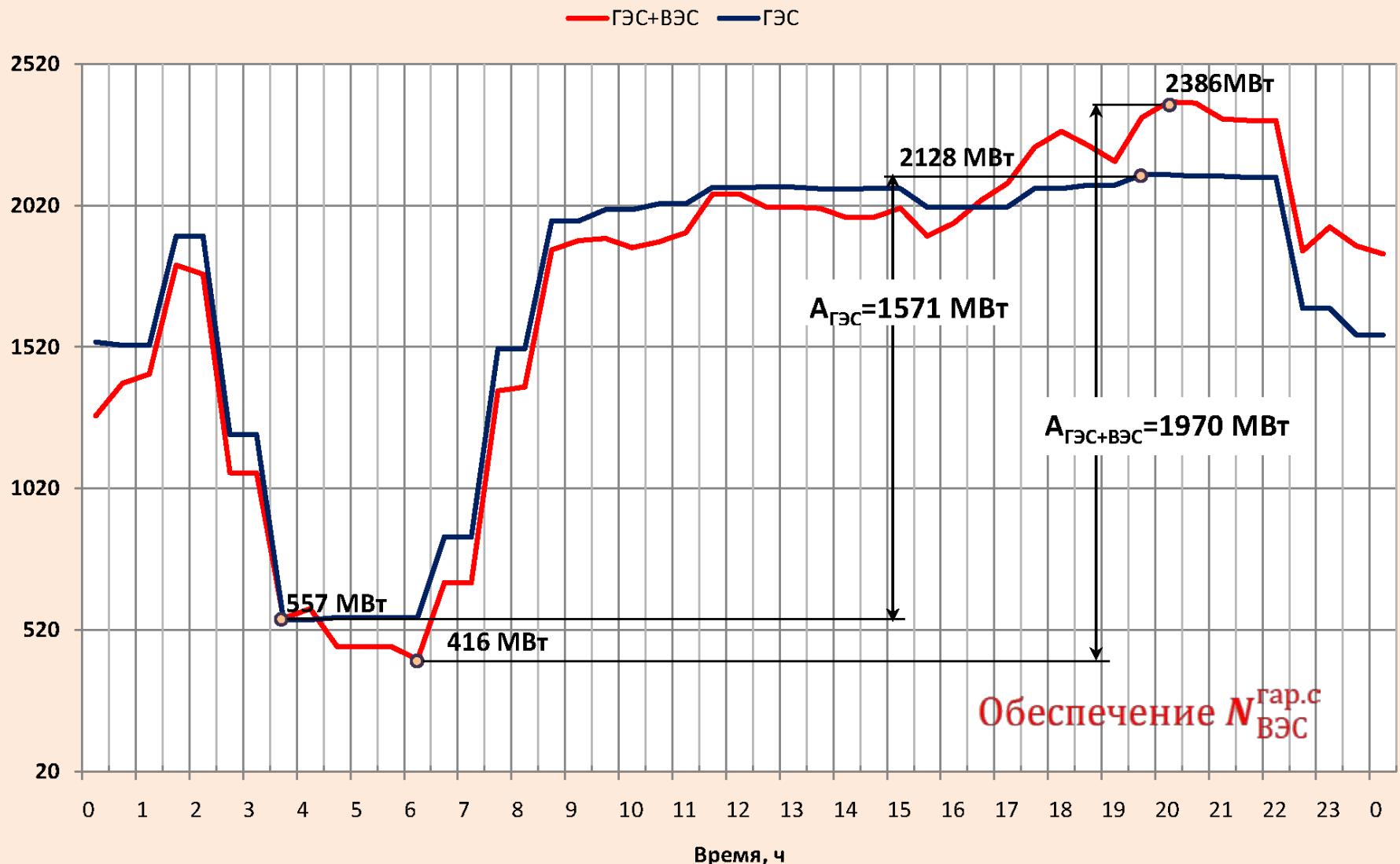


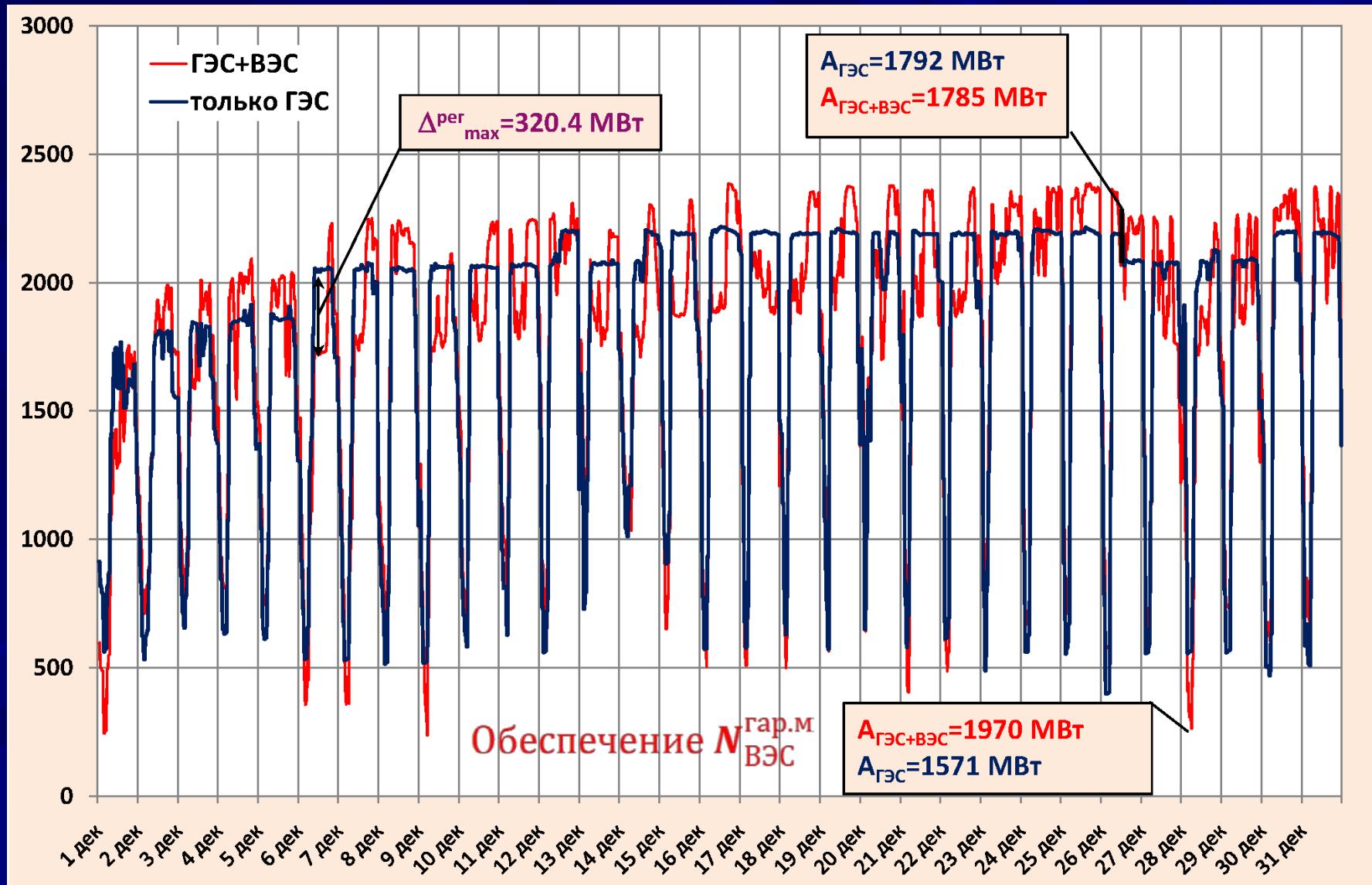
Схема использования регулирующих возможностей ГЭС для гидравлического аккумулирования энергии ВЭС



Суточный режим работы ГЭС и ЭК ГЭС+ВЭС для декабря



Режим работы ГЭС и ЭК ГЭС+ВЭС для декабря



Изменение мощности Волжской ГЭС при регулировании энергии Волг. ВЭС

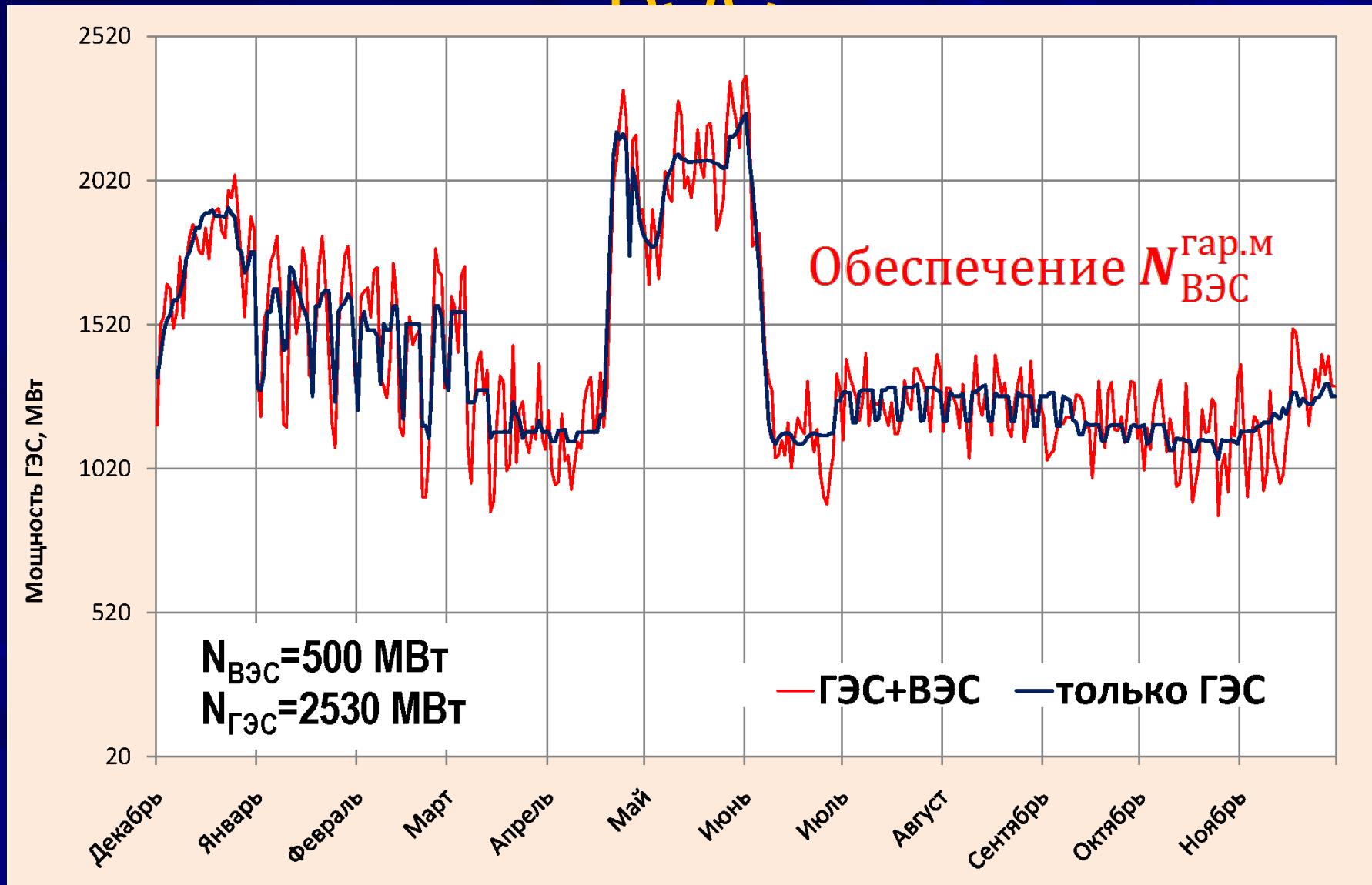


График мощности ВЭС при различном участии ГЭС в регулировании

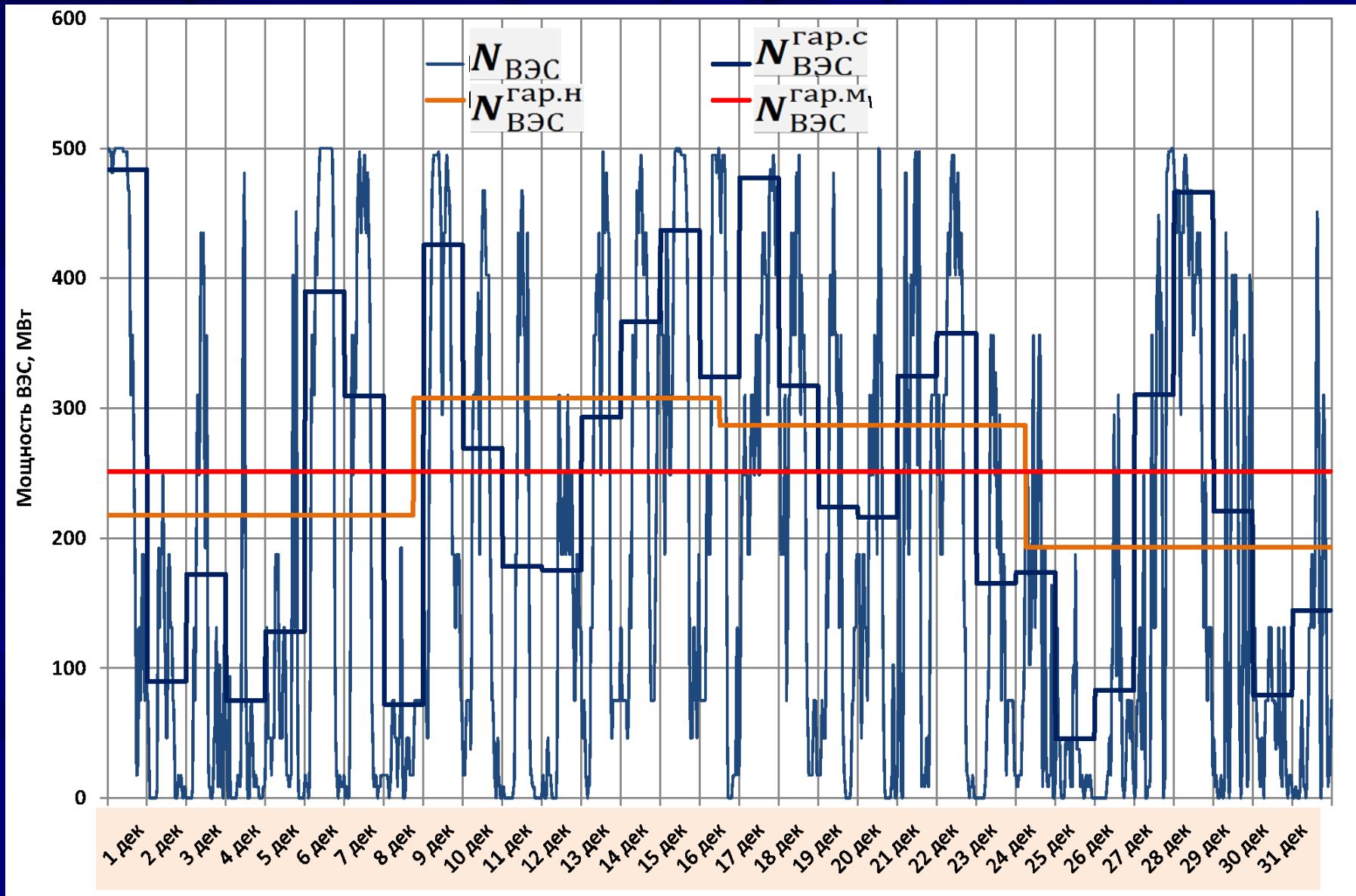
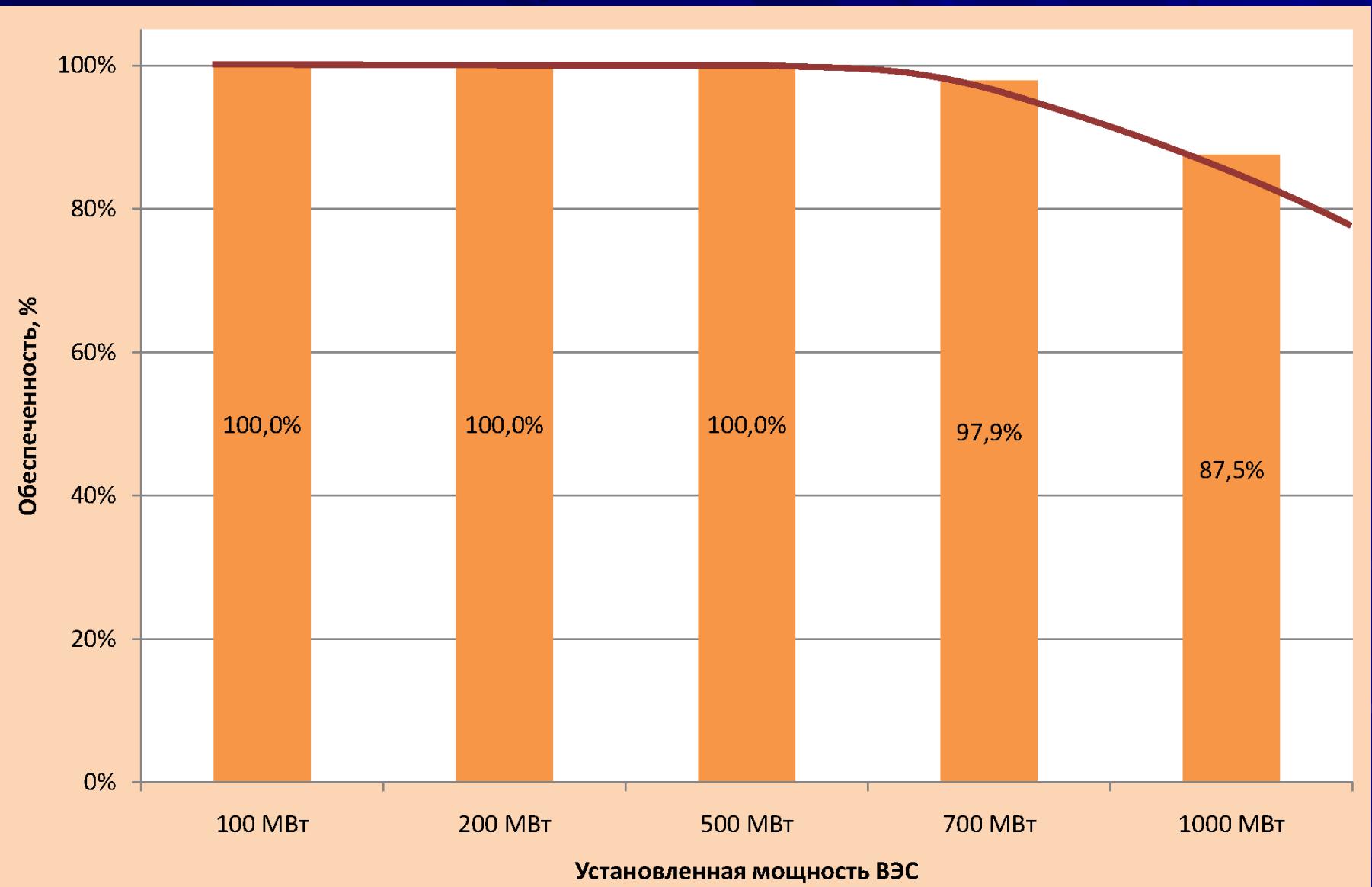


График совместной работы Волжской ГЭС и Волгоградской ВЭС с гарантированной мощностью ВЭС «на сутки вперед»

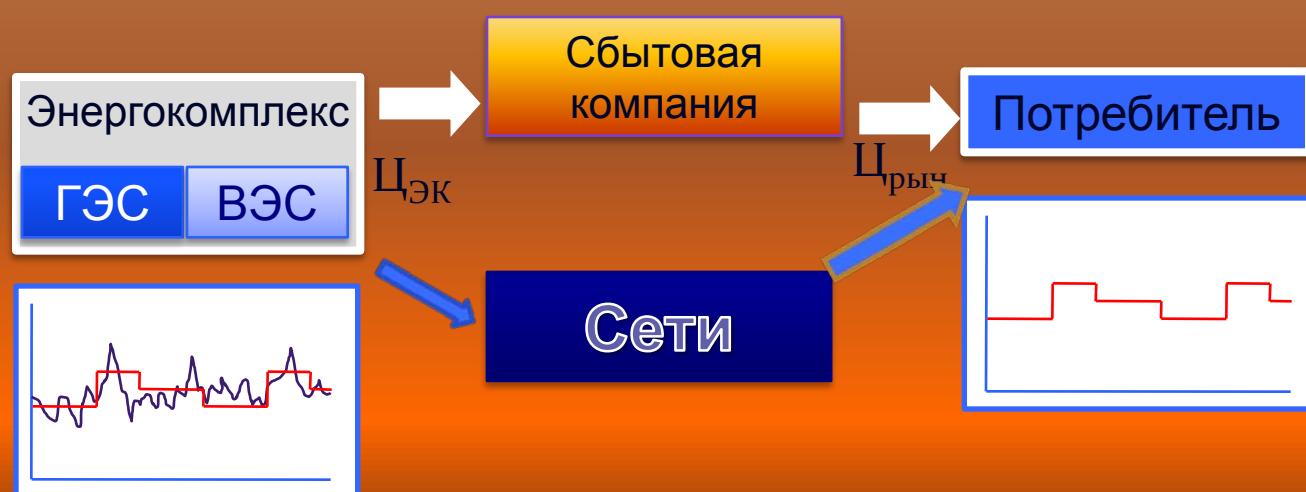


Обеспеченность гарантированной мощности Волг. ВЭС водохранилищем Волжской ГЭС



* для средневодного года

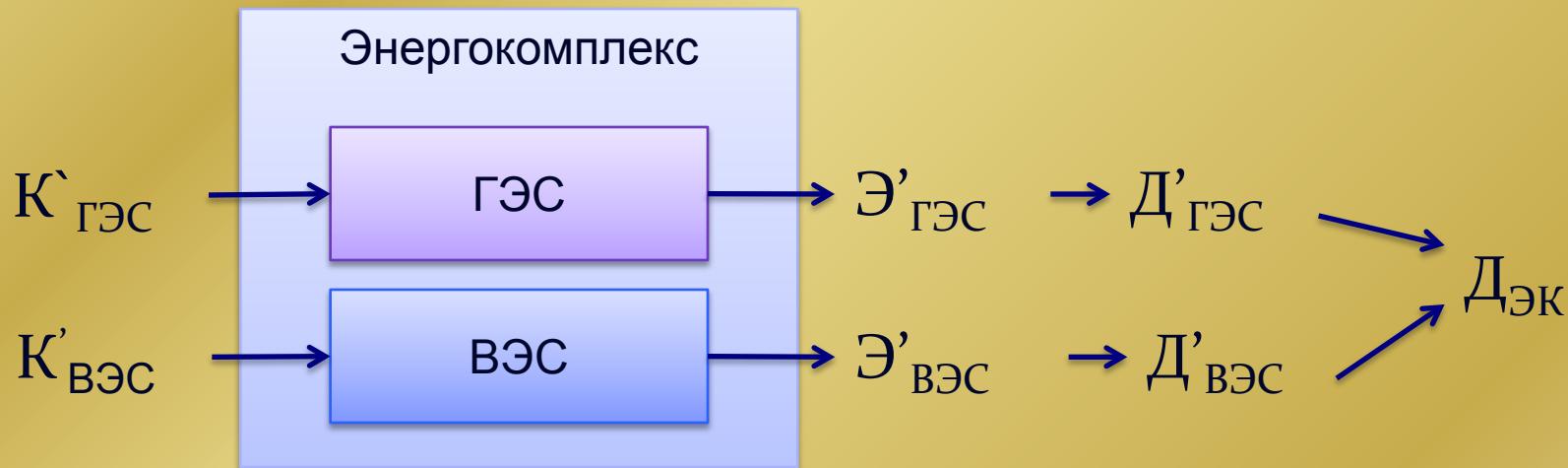
ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНЫ ЭНЕРГИИ ОТ ВЭС и ВЭС-ГЭС



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЭС И ВЭС И ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА ГЭС-ВЭС



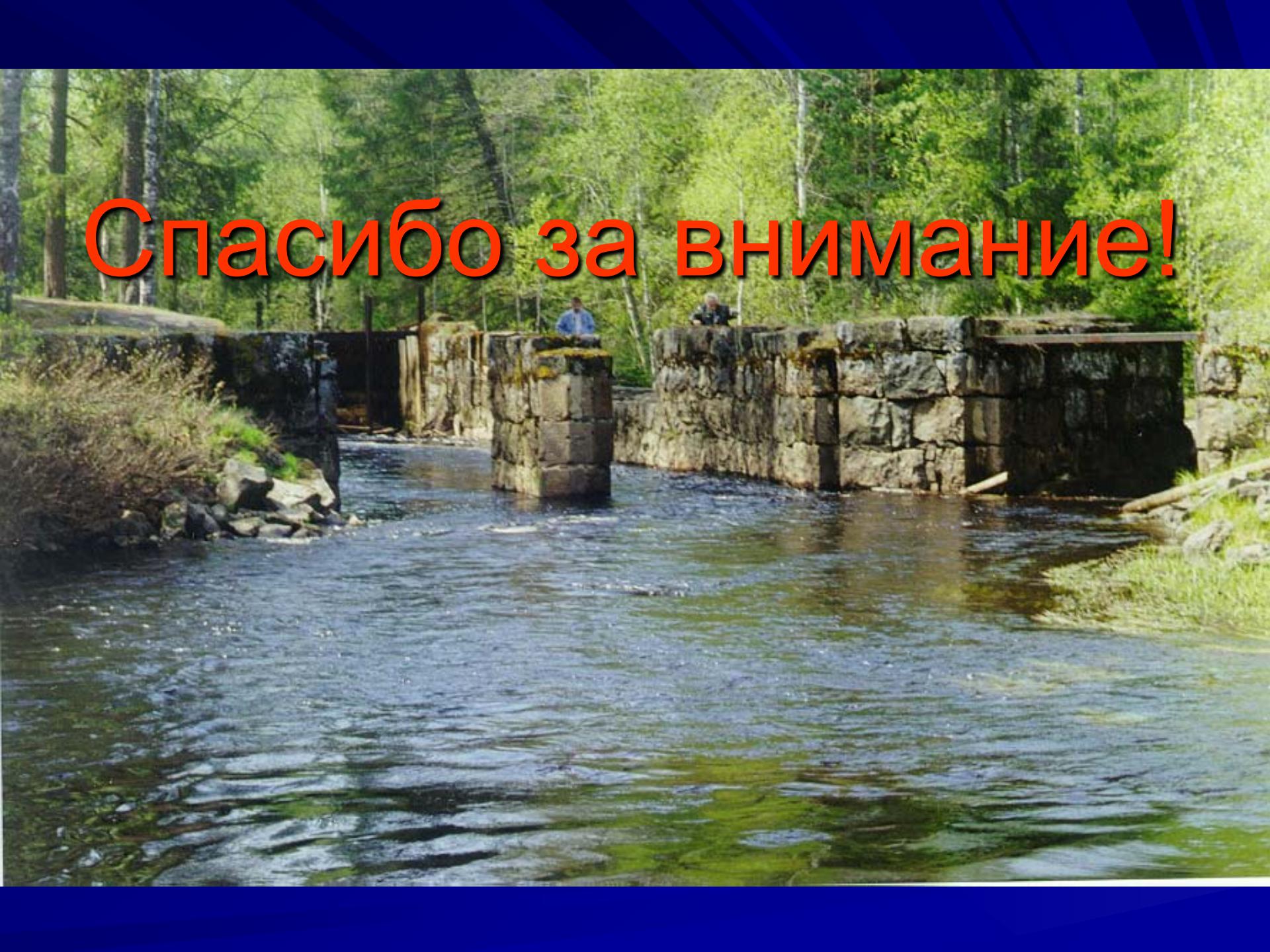
Б)



$K'_{ВЭС} \leq K_{ВЭС}$
 $\mathcal{E}'_{ВЭС} > \mathcal{E}_{ВЭС}$
 $D'_{ВЭС} > D_{ВЭС}$

$K'_{ГЭС} > K_{ГЭС}$
 $\mathcal{E}'_{ГЭС} > \mathcal{E}_{ГЭС}$
 $D'_{ГЭС} > D_{ГЭС}$

$D_{ЭК} > D_{ГЭС} + D_{ВЭС}$



Спасибо за внимание!