

§4 Заключительный этап: командная часть

Командное задание финального этапа профиля «Интеллектуальные энергетические системы» (ИЭС) Олимпиады Национальной технологической инициативы (далее – Олимпиады) преследует цель выявления школьников старших классов, наиболее одаренных в области системного проектирования инфраструктуры электроэнергетики и управления электроэнергетическими системами. Победители профиля должны обладать наиболее развитыми и выраженными способностями в соответствующей области, а также владеть предметными знаниями, умениями и навыками по математике и физике на высоком уровне, в том числе минимально необходимым уровнем навыков в области электротехнического монтажа.

Целевой компетентностный портрет победителя профиля и перечень выявляемых в ходе решения командного задания финального этапа компетенций включает в себя следующие основные компоненты:

1. Системный анализ задачи энергоснабжения территории;
2. Проектирование электроэнергетических систем;
3. Разработка стратегии управления энергосистемой в условиях неопределенности;
4. Принятие оперативных решений в условиях неопределенностей;

Командное задание финального этапа профиля ИЭС позволяет выявить наличие и уровень формирования у участников следующих метапредметных результатов основного общего образования (согласно ФГОС ООО¹ и ФГОС С(П)ОО²):

- Умение самостоятельно планировать пути достижения целей, в том числе альтернативные, осознанно выбирать наиболее эффективные способы решения учебных и познавательных задач,
- Умение соотносить свои действия с планируемыми результатами, осуществлять контроль своей деятельности в процессе достижения результата, определять способы действий в рамках предложенных условий и требований, корректировать свои действия в соответствии с изменяющейся ситуацией,
- Умение создавать, применять и преобразовывать знаки и символы, модели и схемы,
- Умение организовывать учебное сотрудничество и совместную деятельность с учителем и сверстниками; работать индивидуально и в группе: находить общее решение и разрешать конфликты на основе согласования позиций и учета интересов;

1 Приказ Министерства образования и науки РФ от 17 декабря 2010 года №1897

2 Приказ Министерства образования и науки РФ от 17 мая 2012 года №413

формулировать, аргументировать и отстаивать свое мнение,

- Формирование и развитие экологического мышления, умение применять его в познавательной, коммуникативной, социальной практике и профессиональной ориентации.

4.1. Аппаратная часть задачи

Каждой команде выдавался комплект, содержащий набор проводов и инструментов для разводки будущей электрической сети. На фотографии представлен комплект на рабочем столе команды:

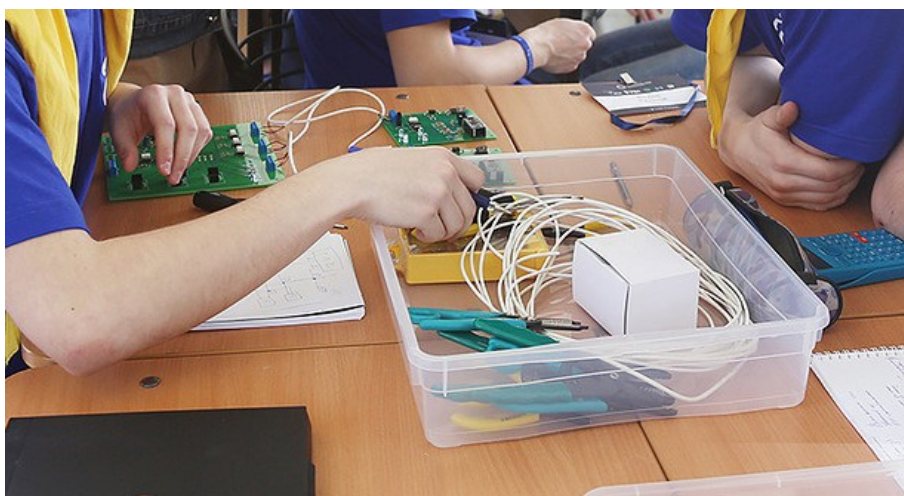


Рисунок 1. Конструктор команды

С помощью этого комплекта участники должны были решить следующие задачи:

- подготовка проводов;
- разводка сети;
- определение корректности подключения и тестирование линии;
- обработка способа подключения элементов сети.

4.2. Структура командного задания финального этапа

Целью выполнения командного задания финального этапа Олимпиады является разработка такой локальной энергетической системы, которая позволила бы обеспечить максимально надежное электроснабжение заданного числа потребителей с учетом их категоричности и географического положения при минимальных затратах на ее создание и обеспечение топливно-энергетическими ресурсами, а также оперативное диспетчерское управление этой энергосистемой с целью обеспечения максимальной надежности электроснабжения заданных потребителей в условиях неопределенности климатических

условий и реализации риска системной аварии и перехода на полностью локальное энергоснабжение (сценарий «айлендинга»).

Командное задание финального этапа состоит из трех этапов:

№	Название этапа, действия команды	Результат этапа	Время
1	Проектирование энергосистемы	Схема топологии электрической сети и параметров энергосистемы сдана жюри	4 часа
2	Монтаж энергосистемы на стенде	Электрическая сеть смонтирована на стенде и проверена жюри на соответствие правилам и технике безопасности	10 минут
3	Диспетчерское управление энергосистемой (2 игры по 10 тактов)	Определены игровые баллы за каждую из игр	20 минут

Этапы выполняются последовательно каждой командой. Условия в задании и работы команд идентичны. Выполнение задания каждой командой производится в закрытом для входа других команд помещении.

Прохождение всех этапов выполнения задания производится в рамках игры «Энергосистема» в соответствии с правилами этой игры. Правила игры «Энергосистема» описывают все возможные действия команды в ходе выполнения задания на каждом этапе, а также порядок начисления команде игровых баллов, а также перевод их в итоговые баллы. Первый и второй этапы выполнения задания производятся на цифро-натурном стенде игры «Энергосистема» (рис. 2). Стенд размещается в затемненном или темном помещении во избежание влияния естественного солнечного света на фотовольтаические источники энергии, приводящего к неравным условиям для команд.



Рисунок 2. Цифро-натурный стенд игры «Энергосистема»

Третий этап производится в установленном рядом со стендом диспетчерском центре, представляющим собой подключенный к стенду компьютер с установленной игровой программой, имеющей пользовательский интерфейс (рис. 3, 4). Управляющие воздействия на

третьем этапе выполнения задания вводятся в игровую программу при помощи пользовательского интерфейса, при этом команда не имеет доступа к стенду и права производить манипуляции на стенде.

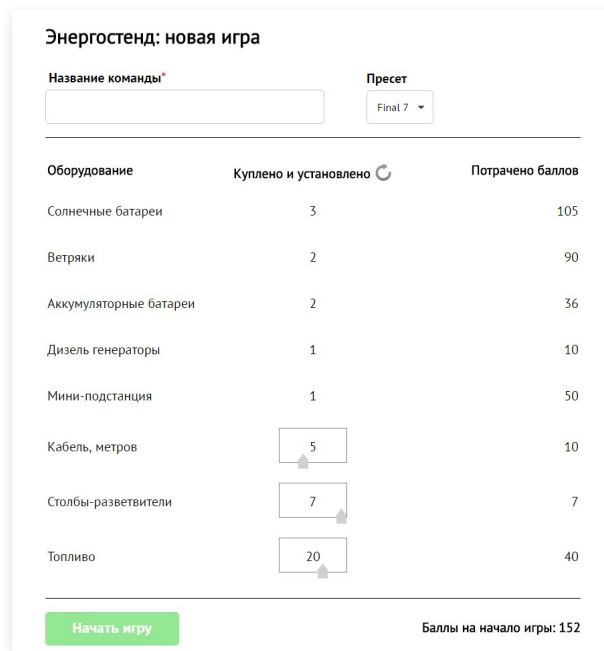


Рисунок 3. Интерфейс игровой программы игры «Энергосистема». Страница проектирования энергосистемы

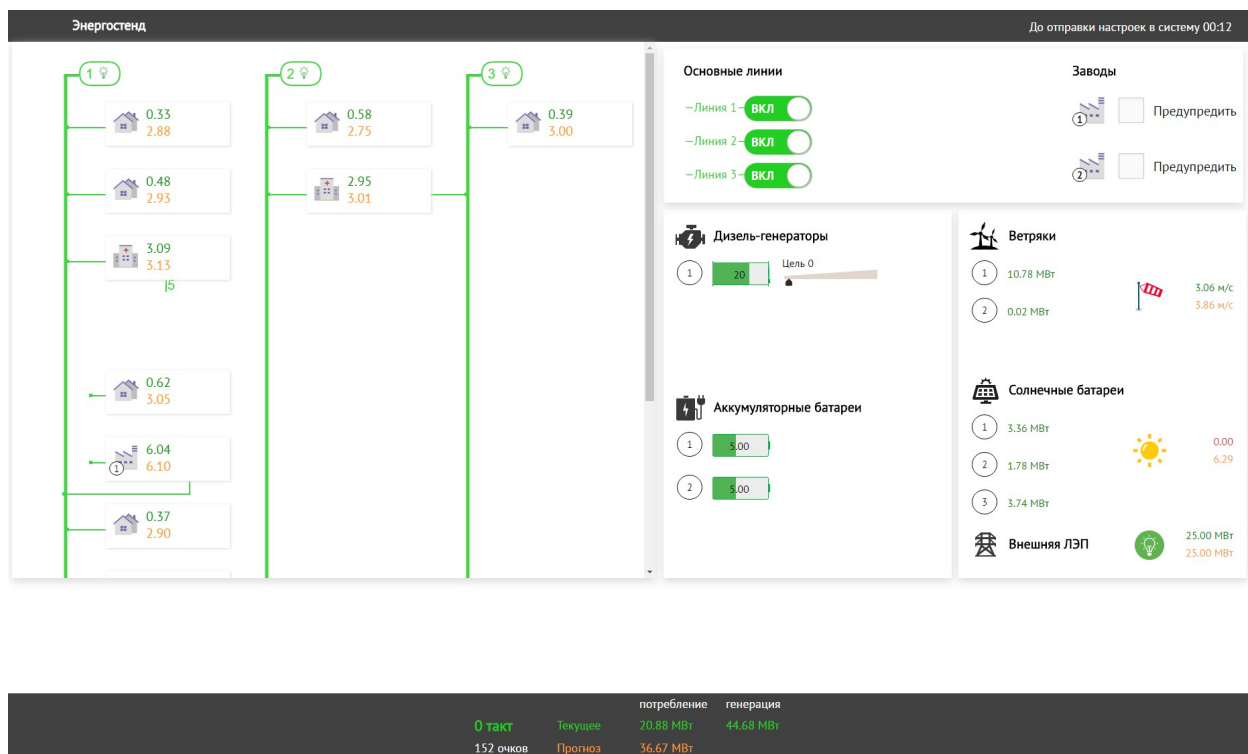


Рисунок 4. Интерфейс игровой программы игры «Энергосистема». Страница диспетчерского управления энергосистемой

Задание содержит открытую часть, известную командам, и закрытую часть, известную только членам жюри и техническим сотрудникам – инженерам стенда.

Задание включает в себя следующие сведения, сообщаемые командам:

1. Число потребителей с указанием категории надежности их электроснабжения;
2. Число и тип заданных объектов электрических сетей на территории;
3. Географическое положение («геометрию») всех заданных объектов на территории;
4. Климатические условия на территории с точностью до климатической зоны, средних значений скорости ветра и солнечной интенсивности на территории;
5. Правила игры «Энергосистема».

Задание включает в себя следующие сведения, известные только членам жюри и техническим сотрудникам:

1. Графики потребления каждого из потребителей по игровым тактам,
2. Сила ветра и солнечная интенсивность по игровым тактам,
3. График снабжения энергосистемы по магистральной ЛЭП и такт ее аварийного отключения.

Примеры этих сведений приведены в разделе 4.3.

Каждая команда проектирует одну энергосистему, монтирует ее, затем играет в две игры с разными условиями («пресетами»). В каждой игре 10 тактов длительностью 1 минута каждый. «Пресеты» в виде фрагмента программного кода вносятся техническим специалистом перед началом работы команд. Расчет игровых баллов за каждую из игр выполняется программой автоматически. Все действия команд и результаты игр фиксируются автоматически в виде игровых логов.

4.3 Правила игры «Энергосистема»

4.3.1. Игровое задание

В вашей энергосистеме вам будут заданы потребители электроэнергии, их тип, число, максимальная потребляемая мощность:

Категория потребителя	Правила подключения и отключения	Максимальное количество	Максимальная мощность, МВт
1-я (Больница)	Есть 2 точки подключения. Должно быть не менее 2-х подходящих линий	2	2,7 – 3,3
2-я (Завод)	Есть 2 точки подключения	2	5,0 – 7,0
3-я (Микрорайон)	Есть 1 точка подключения	6	0,5 – 3,5

Все потребители закреплены на стенде, их место менять нельзя.

Основным элементов энергосистемы является главная подстанция (ГПС), ее положение задано на стенде, его менять нельзя. ГПС имеет три реклоузера – точки подключения линий электропередач (ЛЭП), каждую из которых можно включать и отключать независимо от других.

К ГПС с материка подключена магистральная линия, питающая город.

Максимальная мощность, приходящая по ЛЭП – 25 МВт.

4.3.2. Объекты энергосистемы, которые можно ставить на стенд

Объект	Количество, шт.	Максимальная мощность, МВт	Стоимость, игровых баллов	Примечание
Солнечная электростанция	2	12	35	Мощность линейно зависит от освещенности
Ветровая электростанция	2	15	45	Мощность зависит от силы ветра по кубическому закону
Дизель-генератор	3	6	10	Мощность можно регулировать от 0 до 6 МВт с шагом 0,1 МВт Расход топлива – 2 тонны на 6 МВт каждый такт
Накопитель электроэнергии	3	Емкость 12 МВт-такт	18	Скорость разряда/заряда – 8 МВт за такт
Подстанция (ПС)	1	–	50	Содержит два реклоузера – точки подключения линий с возможностью отключения
Распределительное устройство (ОРУ)	7	–	1	Позволяет разветвить линию на три линии без возможности их независимого отключения

Кроме того, для работы дизельных генераторов может быть закуплено дизельное топливо: только один раз перед началом управления энергосистемой, не более 30 тонн с шагом в 1 тонну, цена – 2 балла за тонну.

Изначально каждая команда получает 15 км ЛЭП (15 метров кабеля) бесплатно, плата за каждый километр сверх выданных 15 км – 2 балла.

Каждая команда получает в начале игры 500 баллов.

Дизельные генераторы и накопители можно устанавливать только на ГПС. Можно установить в сумме не более 3-х дизельных генераторов и накопителей.

4.3.3. Диспетчерское управление энергосистемой

Диспетчерское управление энергосистемой проводится в течение 10 тактов по 1 минуте на такт. Каждый такт моделирует 6 часов работы энергосистемы.

На каждом такте вводятся настройки на следующий такт, затем за 5 секунд до конца такта они сохраняются, на следующем такте на все время такта выдается текущая ситуация (включение и отключение линий и т.д.), вводятся настройки на следующий такт.

Отключение линий не происходит только если генерация (включая выдачу мощности накопителями) равна или превышает потребление.

Если общее потребление подключенных линий превышает подключенную генерацию, то выключается от одной до всех линий в непредсказуемом порядке.

4.3.4. Действия при управлении

- Включение и выключение линий электропередач на ГПС или ПС
- Изменение мощности дизельных генераторов
- Выдача предписания потребителю 2-й категории о снижении мощности потребления через такт (потребитель снизит мощность до 0,5 МВт на такте N+2)

4.3.5. Что видит команда при управлении

- Схему сети (топология – каждый объект, на какой он линии)
- Текущее потребление по каждому потребителю и по системе в целом
- Прогноз потребления на такт N+1 по каждому потребителю и по системе в целом
- Точность прогноза – 95%
- Какие линии включены/отключены
- Текущее значение и прогноз мощности по энергомоству
- Текущее значение и прогноз по скорости ветра и солнечной освещенности
- Текущее значение генерации по каждой солнечной батарее и по каждому ветрогенератору
- Текущий заряд каждого накопителя
- Текущая мощность каждого дизеля
- Суммарный остаток топлива
- Предписание заводам
- Таймер – сколько осталось до конца такт

4.3.6. Расчет баллов

За каждый такт, на котором все потребители были снабжены электроэнергией (подключены) без снижения мощности начисляется по 5 баллов.

4.3.7. Штрафы

Штрафы начисляются (вычитаются из суммы оставшихся и полученных фишек) за отключение потребителей по следующим правилам:

1-я категория	2-я категория	3-я категория
За каждое отключение – 20 баллов	За каждое отключение – 3 баллов	С 2-го отключения подряд – N-1 балла, где N – номер отключения подряд

		С 3-го отключения за игру – М–2 балла, где М – номер отключения за игру
--	--	---

4.4. Порядок начисления баллов и критерий оценки

Результат игры складывается из сумма результатов каждого такта игры + баллы на начало игры.

4.4.1. Баллы на начало игры

Баллы на начало игры вычисляются в соответствии с установками пользователей и зависят от количества установленных ветрогенераторов, солнечных батарей, дизель-генераторов, аккумуляторов и разветвителей. Баллы на начало зависят от начальных условий (см. раздел 4.5) и сообщаются участникам.

4.4.2. Результаты тактов игры

Результат тактов игры вычисляется автоматически на стенде по следующему алгоритму.

Сначала происходит балансировка мощности в системе.

1. В конце каждого такта игры пользовательский интерфейс отправляет на сервер следующие данные:
 - a. Состояние каждой линии (вкл/выкл)
 - b. Установленную мощность каждого дизель-генератора (число)
 - c. Предупреждал ли пользователь каждый из заводов (да/нет)
2. На основании этих данных вычисляется предварительное состояние системы:
 - a. Текущие состояния линий устанавливаются в соответствии с установленными пользователем.
 - b. Текущее потребление и прогнозы потребителей 1 и 3 классов устанавливаются из пресета игры.
 - c. Для каждого из потребителей первого класса, если он предупреждён на текущий ход, потребление устанавливается минимальным (например, 0,5 МВт, в соответствии с правилами), иначе — берётся из пресета.
 - d. Для каждого из потребителей первого класса, если он предупреждён на следующий ход, прогноз потребления устанавливается минимальным (например, 0,5 МВт, в соответствии с правилами), иначе — берётся из пресета.

3. Реальная мощность дизелей устанавливается в соответствии с установленной пользователем, при условии, что достаточно топлива. Для каждого дизеля по очереди вычисляется, достаточно ли ему топлива; если да, то его реальная мощность устанавливается равной заданной, а количество топлива уменьшается на количество потреблённого этим дизелем, в соответствии с правилами игры. Если топлива для дизеля недостаточно, дизель потребляет всё оставшееся топливо, а его мощность устанавливается в соответствии с потреблённым им топливом.
4. Из текущих состояний линий вычисляются установленные состояния объектов потребления, в соответствии с топологией, заданной пользователем в начале игры.
5. После этого вычисляются суммарная генерация (ЛЭП, солнечные батареи, ветряки, дизели) и суммарное потребление в системе.
6. Если генерация больше потребления, излишек мощности направляется в аккумуляторы:
 - a. Вычисляется суммарный заряд, который будет направлен в аккумуляторы. Это минимальное число из:
 - i. Разницы между суммарной ёмкостью и суммарным зарядом
 - ii. суммарным максимальным зарядом, который аккумуляторы могут принять за 1 такт (по правилам игры — не более 0,6 ёмкости)
 - iii. излишком энергии
 - b. Изменяется заряд аккумуляторов в соответствии с результатами п.5а.
 - c. Производится «потеря» части заряда аккумуляторов (по правилам — 10% от заряда)
 - d. Конец балансировки мощности
7. Если генерация меньше потребления:
 - a. Вычисляется мощность, которую можно взять из аккумуляторов. Это минимальное число из:
 - i. модуля недостатка энергии
 - ii. суммарного заряда аккумуляторов
 - iii. максимальным зарядом, который аккумуляторы могут отдать за 1 такт (по правилам — 0,6 от ёмкости)
 - b. Устанавливается изменение зарядов аккумуляторов.
8. Вычисляется суммарное потребление и полная суммарная генерация (ветряки + солнечные батареи + ЛЭП + дизели – изменение зарядов аккумуляторов). Если суммарное потребление меньше полной суммарной генерации:

- a. Заряды аккумуляторов изменяются в соответствии с изменением зарядов аккумуляторов.
 - b. Производится «потеря» части заряда аккумуляторов (по правилам — 10% от заряда)
 - c. Конец балансировки мощности
9. Если суммарное потребление больше полной суммарной генерации, происходит «блэкаут»:
- a. Находится включённая ветка с наибольшим текущим потреблением.
 - b. Её состояние переводится в «выкл»
 - c. Переход к п.4

После балансировки мощности производится начисление баллов

C_1 — множество потребителей 1 класса

C_2 — множество потребителей 2 класса

C_3 — множество потребителей 3 класса

$H(x)$ — список отключений потребителя x

$online(x)$ — состояние потребителя на текущий момент игры, true если он снабжён, иначе false

$alarmed(x)$ — предупреждён ли потребитель на текущий ход (актуально только для $x \in C_3$)

1. В соответствии с текущим состоянием каждого потребителя (вкл/выкл) дописывается значение в его историю отключений. $H(x) = online(x) : H(x)$

2. Начисляются штрафы за потребителей 1 класса: за каждого отключённого снимается 20 баллов.

$$\text{Штраф } F_1 = 20 \cdot \left| \left\{ x \vee x \in C_1, online(x) = false \right\} \right|$$

3. Начисляются штрафы за потребителей 2 класса: за каждого отключённого снимается 5 баллов.

$$\text{Штраф } F_2 = 5 \cdot \left| \left\{ x \vee x \in C_2, online(x) = \text{выкл} \right\} \right|$$

4. Начисляются штрафы за потребителей 3 класса:

- a. Вычисляется $n_1(y) = \left| \left\{ x \vee x \in H(y), x = true \right\} \right|$ (сколько раз потребитель y был отключён за всю игру).

- b. Вычисляется $n_2(y) = \left| \left\{ x \vee x \in f(\square, H(y)) \right\} \right|$ (сколько раз потребитель y отключён подряд, считая текущий ход), где

$$f(a, b) = \begin{cases} \text{если } b = \square, \text{ то } a \\ \text{если } head(b) = true, \text{ то } f(a \cup \{true\}, tail(b)) \\ \text{иначе } a \end{cases}$$

с. Штраф $F_3 = \sum_{y \in C_3} (1 \cdot \max(0, n_1(y) - 4) + 1 \cdot \max(0, n_2(y) - 2))$

5. Начисляются баллы за потребителей 2 класса: за каждого включённого и непредупреждённого на текущий ход начисляется 3 балла.

$$\text{Бонус} = B_2 = 3 \cdot \left| \{x \vee x \in C_2, online(x) = true, alarmed(x) = false\} \right|$$

6. Начисляется бонус за эффективное снабжение посёлка, он равен 10, если нет отключённых потребителей, иначе 0. Бонус:

$$B_A = \begin{cases} \text{если } \{x | x \in (C_1 \cup C_2 \cup C_3), online(x) = false\}, \text{ то } 0 \\ \text{иначе } 10 \end{cases}$$

7. Изменение баллов = $B_A + B_2 - F_1 - F_2 - F_3$

8. Конец такта игры.

4.5. Игровые условия («пресеты»)

4.5.1 Первая игра

Такты:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скорость ветра, м/с		3,86	6,53	10,56	6,26	2,30	0,45	4,83	8,78	7,61	14,40
Скорость ветра (прогноз), м/с	3,86	6,53	10,56	6,26	2,30	0,45	4,83	8,78	7,61	14,40	
Солнечная интенсивность, усл. ед.		6,29	10,75	9,23	0,00	8,65	14,86	7,64	0,00	7,05	13,19
Солнечная интенсивность (прогноз), усл. ед.	6,29	10,75	9,23	0,00	8,65	14,86	7,64	0,00	7,05	13,19	
Мощность, подводимая по ЛЭП, МВт		25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Мощность, подводимая по ЛЭП (прогноз), МВт	25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Потребление, МВт:											
Больница №1											
Факт		3,10	2,99	2,95	2,94	2,91	2,98	3,05	2,92	3,04	2,91
Прогноз	3,13	2,89	2,96	3,10	3,14	2,98	3,09	3,12	2,94	2,92	
Больница №2											
Факт		3,07	3,01	3,08	3,02	3,06	3,10	3,09	2,94	2,92	2,95
Прогноз	3,01	3,00	3,13	2,94	3,12	2,89	2,94	3,04	2,98	3,09	
Завод №1											

Факт		6,04	6,96	4,93	6,09	6,09	7,00	4,95	5,92	6,09	6,94
Прогноз	6,10	7,08	4,98	6,03	5,93	6,97	4,99	5,99	5,92	6,95	
Завод №2											
Факт		6,04	7,01	4,99	6,05	6,09	7,06	5,06	5,91	6,00	7,08
Прогноз	6,92	5,93	5,04	6,01	6,99	5,97	4,91	5,98	7,10	6,06	
Мкр. №1											
Факт		2,91	1,06	3,16	0,43	2,80	0,93	3,13	0,32	3,04	1,04
Прогноз	2,88	0,97	3,42	0,44	2,73	1,00	3,15	0,51	2,91	0,95	
Мкр. №2											
Факт		3,02	1,16	3,36	0,53	2,81	0,99	3,28	0,64	2,86	1,21
Прогноз	2,93	1,06	3,11	0,48	2,84	1,19	3,38	0,54	2,99	1,27	
Мкр. №3											
Факт		2,88	1,14	3,50	0,57	2,85	1,28	3,36	0,40	2,77	1,00
Прогноз	2,75	0,91	3,29	0,38	2,79	1,16	3,20	0,65	3,04	1,16	
Мкр. №4											
Факт		2,72	1,00	3,20	0,44	2,76	1,10	3,41	0,44	2,90	1,01
Прогноз	3,00	0,97	3,13	0,66	3,02	1,00	3,25	0,49	2,89	1,22	
Мкр. №5											
Факт		2,91	1,14	3,30	0,53	2,88	1,17	3,16	0,61	3,01	1,10
Прогноз	3,05	0,91	3,11	0,57	3,05	1,17	3,28	0,39	2,72	0,93	
Мкр. №6											
Факт		2,93	1,03	3,39	0,60	2,99	1,08	3,28	0,45	3,10	1,21
Прогноз	2,90	1,12	3,34	0,41	2,78	1,23	3,11	0,47	2,95	1,12	

4.5.2 Вторая игра

Такты:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скорость ветра, м/с		1,50	3,82	7,92	3,40	0,13	0,42	1,80	5,68	5,21	10,70
Скорость ветра (прогноз), м/с	1,50	3,82	7,92	3,40	0,13	0,42	1,80	5,68	5,21	10,70	
Солнечная интенсивность, усл. ед.		1,34	11,59	2,75	0,00	4,66	11,81	5,45	0,00	1,48	12,60
Солнечная интенсивность (прогноз), усл. ед.	1,34	11,59	2,75	0,00	4,66	11,81	5,45	0,00	1,48	12,60	
Мощность, подводимая по ЛЭП, МВт		25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Мощность, подводимая по ЛЭП (прогноз), МВт	25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	
Потребление, МВт:											
Больница №1											
Факт		3,05	3,09	2,90	3,01	3,09	3,02	3,00	2,91	2,94	2,94
Прогноз	3,14	2,89	3,15	2,89	2,88	3,01	2,95	2,98	3,10	2,87	
Больница №2											
Факт		3,06	3,10	2,91	3,10	3,02	2,93	2,96	3,05	3,07	2,97

Прогноз	3,09	3,10	2,96	2,94	2,85	3,05	2,90	3,07	2,95	3,04	
Завод №1											
Факт		5,99	7,06	4,96	6,02	6,02	6,96	5,00	6,02	6,04	6,90
Прогноз	6,05	6,96	5,04	6,07	5,94	7,10	4,96	5,96	6,01	7,02	
Завод №2											
Факт		6,09	6,98	5,05	6,05	6,07	7,10	4,99	5,94	6,09	7,10
Прогноз	6,99	6,06	4,98	5,96	7,02	6,06	5,09	5,96	7,01	6,06	
Мкр. №1											
Факт		2,99	1,13	3,29	0,69	2,74	1,08	3,13	0,54	2,88	1,15
Прогноз	2,77	1,10	3,41	0,57	2,99	1,21	3,49	0,66	3,10	1,09	
Мкр. №2											
Факт		2,94	0,96	3,44	0,55	3,00	1,06	3,18	0,45	2,76	1,24
Прогноз	2,91	1,00	3,15	0,41	2,84	1,01	3,36	0,63	2,80	1,14	
Мкр. №3											
Факт		2,74	1,22	3,29	0,32	2,92	0,91	3,25	0,36	2,79	1,05
Прогноз	2,99	0,99	3,45	0,30	2,98	1,01	3,39	0,37	2,98	1,10	
Мкр. №4											
Факт		2,75	1,15	3,25	0,43	2,74	1,03	3,32	0,43	3,01	0,93
Прогноз	2,99	1,27	3,14	0,51	3,03	1,28	3,29	0,56	2,75	1,14	
Мкр. №5											
Факт		2,98	1,06	3,21	0,41	2,95	1,29	3,21	0,47	2,93	1,12
Прогноз	3,03	1,25	3,46	0,61	3,07	0,97	3,48	0,37	2,71	1,14	
Мкр. №6											
Факт		3,07	1,04	3,22	0,53	3,02	1,17	3,16	0,53	3,05	1,00
Прогноз	2,90	1,10	3,43	0,54	2,78	1,07	3,17	0,35	2,83	1,02	