

# Правила командной задачи ИЭС НТО8

## Структура игры

Вы проектируете энергосистему в конкуренции с другими командами. Кто каких потребителей себе подключит и какие электростанции установит, решается через аукцион. За электростанции торг идёт на повышение, а предмет торга — ежегодный платёж, который вы платите независимо от того, сколько вырабатывает электростанция. За потребителей предмет торга — тариф за 1 МВт поставленной мощности, и торг идёт на понижение — потребитель выберет ту энергосистему, которая предложит цену ниже.

После аукциона вы проектируете сеть и решаете задачу оптимизации потерь в энергосистеме и увеличения её надёжности тем, как вы подключаете объекты. Ваши инструменты здесь — подстанции и их модули.

Затем проводится моделирование вашей энергосистемы, в результате которого определяется то, сколько денег она принесёт — это и есть ваш счёт. В этом этапе также участвует скрипт, который реагирует на происходящее в энергосистеме и предпринимает корректировки. Обратите внимание, что один только скрипт игру точно не выиграет, но без хорошего скрипта за победу бороться трудно.

Ваша энергосистема и энергосистемы конкурентов объединены через внешнюю энергосистему — гарантирующего поставщика. Ему и через него можно продавать (или покупать) энергию, в случае дисбаланса в вашей энергосистеме.

## Рекомендации по решению

Рекомендации не являются инструкцией. Задачу возможно решать и по-другому, они приведены для того, чтобы вам было, с чего начать. Скорее всего, все команды будут решать задачу иначе, но отличия от наших рекомендаций у всех будут разные.

Важное свойство стоящей перед вами задачи — что она не решается без большой подготовки. Даже если вы хорошо знаете, что делать, без заготовок вы сделать этого просто не успеете.

Более того, вы не сможете за имеющееся у вас время решить задачу полностью (вам достаточно решить её лучше ваших оппонентов), и крайне важным будет распределение ваших усилий. Допустим, что задача состоит из трёх подзадач; команда, решившая каждую на 50%, 50% и 50% выиграет у команды, решившей на 100%, 100% и 0%, со значительным отрывом.

Далее дадим рекомендации по этапам игры, но ещё раз повторим, что это рекомендации, а не предписания.

1. Анализ прогнозов и определение стратегий. Вам нужно определить, на каком фронте состязания вы будете превращать преимущество над оппонентами в лидирование в результатах. Как именно вы будете это делать — ваше дело, но без программирования и электронных таблиц вы вряд ли обойдётесь.
2. Аукцион. Он требует, исходя из выбранной стратегии, знания вашей ценности для каждого из торгуемых объектов. Также он требует дисциплины в команде. Если вы будете отвлекаться на споры и решение технических вопросов, то в ставках вы будете, скорее всего, ошибаться.
3. Проектирование сети. Проект скорее всего будет составлен ещё при составлении стратегии, но результаты аукционов могут заставить внести в него правки. В результате у вас появляется файл с описанием энергосистемы, который вы отдаёте организаторам.
4. Загрузка скрипта. Ваш скрипт должен быть написан и проверен заранее (но понятно, что тестовые игры нужны именно для тестирования), внести в него исправления на ходу у вас вряд ли получится безошибочно. Мы настоятельно рекомендуем перед зачётными играми не вносить в скрипт никаких изменений, насколько бы тривиальными и простыми они ни казались.
5. Анализ и обсуждение результатов внутри команды, поиск гипотез и составление планов их проверки. Это самый важный этап задачи, я победа будет коваться именно здесь.

## Прогнозы

Прогнозы выдаются для солнца, ветра, и каждой категории потребителей.

Прогноз выдаётся на каждый такт (48 тактов — одни сутки). Для каждого такта он состоит из единственного числа — центра коридора, в который попадёт реальное значение прогнозируемой величины. Размеры коридоров:

Прогноз	Коридор
Солнце	0,5 <sup>1</sup>
Ветер	Прогноз точный
Больницы	0,25 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Константа конфига corridorSun. Далее для всех числовых значений будут приводиться названия их констант, значения которых скрипт может извлечь из конфига игры. Рекомендуем в скрипте опираться на них, чтобы уменьшить число «магических чисел».

<sup>2</sup> Константа corridorClass1

Заводы	0,5 <sup>3</sup>
Дома А	0,5 <sup>4</sup>
Дома Б	0,5 <sup>5</sup>

Значение в 5,2 с коридором в 0,5 означает, что реальное значение будет лежать в интервале от 4,7 до 5,7.

У каждого типа объектов прогнозы свои, и все объекты одного типа полностью идентичны, что в прогнозах, что в реальных значениях.

Прогнозы для ветра ведут себя немного иначе, чем остальные. Они отдельные для каждого вентилятора, при этом они похожи, хоть и не одинаковы.

## Аукцион

Аукцион проходит по закрытой системе, как тендеры.

На аукционе есть механика догоняющих ставок: если есть хоть одна ставка, которая отличается от лидирующей хотя бы на 0,5, то объявляется повторный тур аукциона. Во втором туре участвуют только те, чья ставка была догоняющей. В повторных турах догоняющие ставки должны быть увеличены хотя бы на 0,1.

Если одна из команд установила предельную цену (минимальную для потребителей или максимальную для электростанций), то механика догоняющих ставок не срабатывает, и эта команда сразу выигрывает лот. Конечно, если две или более команд установили предельную цену, то случается повторный тур, но в этом случае уже по другим правилам, которые называются All-Pay (платят все). В них ставки делаются не в виде тарифов, а в виде фиксированных сумм, которые участники готовы заплатить, чтобы лот по предельной цене достался именно им, но выплачивают свои ставки даже если они не выиграли лот.

Если на лот никто не выставил ставку, он исключается из игры.

В конце аукциона возможно сбросить до двух лотов. Они выставляются на второй круг аукциона, где участвовать в борьбе за них будут те же команды, что и в первом круге, минус команды, их сбросившие.

На аукционе разыгрывается параллельно по три лота. Вам нужно очень аккуратно налаживать протоколы коммуникации и выставления ставок на аукционе, иначе темп работы вашей команды может оказаться ниже темпа аукциона.

---

<sup>3</sup> Константа corridorClass2

<sup>4</sup> Константа corridorClass3A

<sup>5</sup> Константа corridorClass3B

## Потребители

Потребители делятся на четыре типа в трёх категориях: 1-я (больницы), 2-я (заводы) и 3-я (дома А и дома Б). Они отличаются, во-первых, потреблением и паттернами потребления, а во-вторых — размерами штрафов за отключения. За отключенный дом придётся заплатить его удвоенный<sup>6</sup> тариф за каждый недопоставленный МВт мощности, заводу — учетверённый<sup>7</sup>, а больницы — в 8<sup>8</sup> раз больше тарифа.

Если больница или завод подключены обоими входами, то их потребление распределяется равномерно по обоим входам. Если произошло отключение по одной из линий подключения, то объект запитывается от второй и его нагрузка полностью ложится на неё.

## Майнинг

У потребителей третьей категории потребление подозрительно зависит от цен на электроэнергию.

У потребителей 3-й категории типа А дополнительное потребление начинается при цене менее 5 р/МВт и вычисляется по формуле  $0,82 \times (5 - \text{цена})^{2,6}$

У потребителей 3-й категории типа Б дополнительное потребление начинается при цене менее 8 р/МВт и вычисляется по формуле  $0,24 \times (9 - \text{цена})^{2,2}$ .

Все штрафы, выплачиваемые при отключении домов, учитывают это потребление.

## Электростанции

Электростанции есть двух типов — солнечные, ветровые. Солнечные и ветровые — реальные физические измерительные системы, и их расположение на стенде очень важно.

## СЭС

Солнечные панели кроме перемещения по стенду могут быть повернуты на небольшой угол и зафиксированы перед началом моделирования.

Инерция у солнечных батарей она небольшая, и их показания на текущем ходу от предыдущего почти не зависят.

---

<sup>6</sup> Константа class3FineRate

<sup>7</sup> Константа class2FineRate

<sup>8</sup> Константа class1FineRate

Максимальная мощность солнечных электростанций — 25 МВт<sup>9</sup>. Максимальная мощность ветровых — тоже 15 МВт<sup>10</sup>. Генерируемая мощность практически пропорциональна яркости солнца (на самом деле не совсем так, но это несложно определить).

## ВЭС

Генерируемая ветряками мощность пропорциональна кубу скорости ветра (точнее частоте их вращения, что не одно и то же). Есть предельная скорость их вращения<sup>11</sup> (около 8 оборотов в секунду), при достижении которой ветряк отключается и уходит в «штормовую защиту», из которой он выходит только при снижении его скорости до 87,5% от этой скорости<sup>12</sup>. Кроме того, максимум генерации достигается при 86%<sup>13</sup> от предельной скорости, и далее не растёт до самого отключения. Также обратите внимание, что скорость вращения ветряка при одном и том же ветре очень сильно зависит от его расположения.

Физическая инерция ветряков весьма велика, и может составлять до 30 секунд (это не программируемое значение, а физическое). Более точные данные вам нужно будет получить самим.

Команды с подстанциями M1, M2, M3, M8, M9, и MA могут установить один из своих ветряков на центральный стол через длинный кабель.

## Накопители

Накопители разыгрываются на аукционе наравне с потребителями и электростанциями. Торгуются и тарифицируются они так же, как электростанции: ставки идут на повышение, и ставкой является фиксированная плата за каждый такт.

Ёмкость накопителя составляет 100 МВт\*такт<sup>14</sup>, предельная скорость заряда или разряда — 15 МВт\*такт<sup>15</sup>. Потерь энергии в них нет (это не означает, что их нет в реальных накопителях, это означает, что их модель на стенде заметно проще оригиналов). Зарядом и разрядом накопителей управляет ваш скрипт.

---

<sup>9</sup> Константа maxSolarPower

<sup>10</sup> Константа maxWindPower

<sup>11</sup> Константа windBreakValue — это доля от максимального значения, которое могут выдавать измерительные цепи ветряков.

<sup>12</sup> Константы windRecoveryValue/windBreakValue

<sup>13</sup> Константы windSummit/windBreakValue

<sup>14</sup> Константа cellObjectCapacity

<sup>15</sup> Константы cellObjectChargeRate и cellObjectDischargeRate

# Монтаж сети

## Подстанции и аукцион

Ваша сеть строится вокруг главной подстанции — её вам обязательно нужно приобрести на аукционе. Какую именно — нужно решать на основании прогнозов, вашей собственной стратегии и стратегии ваших оппонентов. Не приобрести её нельзя — вы тогда не сможете играть.

## Проектирование сети

Сеть энергосистемы строится при помощи подстанций — главных, миниподстанций А (с тремя выходами) и миниподстанций Б (с двумя выходами). На каждую команду имеется одна миниподстанция Б. Её стоимость 2 р./ход, и при желании её можно не устанавливать. Тогда плата за неё взиматься не будет. Миниподстанции А разыгрываются на аукционе, и если приобрели одну из них, то установить её вы обязаны.

Миниподстанции должны быть подключены входом в сторону главной подстанции.

От любого объекта должно быть можно пройти по проводу до главной подстанции, иначе до него по-настоящему не дойдёт электричество.

Кольца и острова в энергосистеме создавать недопустимо, поэтому топология вашей энергосистемы — дерево. Энергосистема ветками (выходами и входами) подстанций разбивается на энергорайоны, внутри которых находятся потребители или электростанции. Энергорайон — это область «от подстанции до подстанции».

Электростанции и потребителей подключать в один энергорайон нельзя, они должны быть разделены подстанциями.

Ветряки и солнечные электростанции устанавливаются в порядке их адресов независимо от порядка покупки. СЭС по-умолчанию устанавливаются после купленных.

Если объект выигран, но не подключён, или подключён другой командой, то это такая же ошибка монтажа сети, как и смешение генераторов и потребителей в одном энергорайоне. В этом случае игра не начинается. Исключения из этого правила возможны только в случае тренировок, если все затронутые команды согласны продолжить без исправления ошибки с целью сэкономить время. На зачётных играх такое невозможно.

## Биржа

В случае, если энергосистема не сбалансирована полностью (а так будет практически всегда), недостаток или избыток мощности ликвидируется через внешнюю по отношению к игроку энергосистему. Есть два способа это сделать:

1. Заранее отдать заявку на продажу или покупку нужной мощности. Через один ход (не на следующий!) заявка попадёт в «биржевой стакан» (про него чуть ниже) и превратится в мощность и деньги.
2. Ничего не делать. Тогда дисбаланс будет ликвидирован на рынке мгновенной мощности, цены на котором фиксированы: 1 р/МВт<sup>16</sup> для продажи и 10 р/МВт<sup>17</sup> для покупки.

Биржевой стакан устроен просто. Сначала все заявки делятся на два списка, на покупку и на продажу, и сортируются по невыгодности для своих отправителей. Затем заявки из этих двух списков сочетаются друг с другом, превращаясь в транзакции, начиная с самых невыгодных; цена сделки — средняя от цен заявок. Если мощности в заявках не совпадают, то неудовлетворённая часть большей заявки переходит дальше. Если заявки одного из типов закончились, то оставшиеся будут удовлетворены по фиксированным ценам — 2 р/МВт<sup>18</sup> при продаже и 5 р/МВт<sup>19</sup> при покупке.

Также на бирже в случае заключения сделки между игроками действует комиссия: цена для покупателя поднимается на 10 копеек<sup>20</sup> от вычисленной, а цена для продавца — опускается.

*Пример:*

Заявки на покупку	Заявки на продажу
<b>Заявка 1:</b> 5 по 3.5	<b>Заявка 3:</b> 3 по 2.5
<b>Заявка 2:</b> 2 по 2.5	<b>Заявка 4:</b> 3 по 3

«Встречаются» заявки 1 и 3, заявка 3 удовлетворена полностью, а заявка 1 — частично:

Заявки на покупку	Заявки на продажу
<b>Сделка 1.1-3:</b> 3 по 3 (для покупателя 3 по 3.1, для продавца 3 по 2.9)	
<b>Заявка 1.1:</b> 3 по 3.5	<b>Заявка 3:</b> 3 по 2.5

<sup>16</sup> Константа exchangeExternalLastMomentSell

<sup>17</sup> Константа exchangeExternalLastMomentBuy

<sup>18</sup> Константа exchangeExternalAdvanceSell

<sup>19</sup> Константа exchangeExternalAdvanceBuy

<sup>20</sup> Константа exchangeCommission

<b>Заявка 1.2:</b> 2 по 3.5	<b>Заявка 4:</b> 3 по 3
<b>Заявка 2:</b> 2 по 2.5	

*Встречаются оставшаяся часть заявки 1 и заявка 4, которая удовлетворяется частично:*

Заявки на покупку	Заявки на продажу
<b>Сделка 1.1-3:</b> 3 по 3 (для покупателя 3 по 3.1, для продавца 3 по 2.9)	
<b>Заявка 1.1:</b> 3 по 3.5	<b>Заявка 3:</b> 3 по 2.5
<b>Сделка 1.2-4.1:</b> 2 по 3.25 (для покупателя 3 по 3.35, для продавца 3 по 3.15)	
<b>Заявка 1.2:</b> 2 по 3.5	<b>Заявка 4.1:</b> 2 по 3
<b>Заявка 2:</b> 2 по 2.5	<b>Заявка 4.2:</b> 1 по 3

*Встречаются заявки 2 и остаток заявки 4. Заявка 2 удовлетворена частично:*

Заявки на покупку	Заявки на продажу
<b>Сделка 1.1-3:</b> 3 по 3 (для покупателя 3 по 3.1, для продавца 3 по 2.9)	
<b>Заявка 1.1:</b> 3 по 3.5	<b>Заявка 3:</b> 3 по 2.5
<b>Сделка 1.2-4.1:</b> 2 по 3.25 (для покупателя 3 по 3.35, для продавца 3 по 3.15)	
<b>Заявка 1.2:</b> 2 по 3.5	<b>Заявка 4.1:</b> 2 по 3
<b>Сделка 2.1-4.2:</b> 1 по 2.75 (для покупателя 1 по 2.85, для продавца 1 по 2.65)	
<b>Заявка 2.1:</b> 1 по 2.5	<b>Заявка 4.2:</b> 1 по 3
<b>Заявка 2.2:</b> 1 по 2.5	

*Для остатка заявки 2 не осталось встречных заявок. Она удовлетворяется из сети:*

Заявки на покупку	Заявки на продажу
<b>Сделка 1.1-3:</b> 3 по 3 (для покупателя 3 по 3.1, для продавца 3 по 2.9)	
<b>Заявка 1.1:</b> 3 по 3.5	<b>Заявка 3:</b> 3 по 2.5
<b>Сделка 1.2-4.1:</b> 2 по 3.25 (для покупателя 3 по 3.35, для продавца 3 по 3.15)	
<b>Заявка 1.2:</b> 2 по 3.5	<b>Заявка 4.1:</b> 2 по 3



<b>Сделка 2.1-4.2:</b> 1 по 2.75 (для покупателя 1 по 2.85, для продавца 1 по 2.65)	
<b>Заявка 2.1:</b> 1 по 2.5	<b>Заявка 4.2:</b> 1 по 3
<b>Сделка 2.2-Сеть:</b> 1 по 5	
<b>Заявка 2.2:</b> 1 по 2.5	

## Потери энергии

В энергосистеме есть потери, и они могут быть значительными. Для простоты вычисляются на выходах подстанций. Они могут возникать из двух источников.

Во-первых, из нагрузки на линии. Она вычисляется по формуле:

$$r_p(p) = \left( \frac{p}{A} \right)^B \times C$$

где  $A = 50^{21}$ ;  $B = 2,4^{22}$ ;  $C = 0,6^{23}$ . Эти потери растут с нуля при нагрузке на энергорайон в 0 МВт до уровня в 60%<sup>24</sup> при 50 МВт<sup>25</sup> (после чего не растут). Это значит, что если у вас на линии есть генерация в 33 МВт, то потери от нагрузки составят  $33 \times 0,22 = 7,30$  МВт (значения округлены до сотых), и реальная нагрузка на линию (и количество энергии, которое из неё выйдет) составит 25,70 МВт. Если же у вас на линии есть потребление в 21 МВт, то потери составят  $21 \times 0,075 = 1,57$  МВт, и реальная нагрузка (сколько в неё нужно закачать, чтобы удовлетворить потребителей) составит 22,57 МВт.

Во-вторых, потери появляются из износа линий (о механике его появления — ниже). Они вычисляются по формуле:

$$r_w(w) = w^D \times E$$

где  $D = 2,0^{26}$ ;  $E = 0,5^{27}$ . Таким образом при износе линии на 0,4 потери на ней составят 8%, при степени износа 0,4 — 32%.

Потери мультипликативны. Это значит, что потери на линии с нагрузкой 40 МВт и износом 0,5 составят  $40 \times (1 - (1 - 0,125) \times (1 - 0,35)) = 17,29$  МВт, а максимально возможные

<sup>21</sup> Константа lossesThreshold

<sup>22</sup> Константа lossesRate

<sup>23</sup> Константа lossesLimit

<sup>24</sup> Константа lossesLimit

<sup>25</sup> Константа lossesThreshold

<sup>26</sup> Константа wearLossesRate

<sup>27</sup> Константа wearLossesLimit

потери (при степени износа 1 и нагрузке выше 60 МВт) могут составить 80%. Чтобы не допустить таких цифр, нужно следить за нагрузками на линии и их износом.

## Износ подстанций

Оборудование подстанций, управляющее линиями, изнашивается. Износ накапливается, и скорость его накопления зависит от нагрузки на линию. Накопление износа за такт (обозначено строчной  $w$ ) зависит от нагрузки на линию по формуле

$$w(p) = \left( \frac{p}{p_{\max}} \right)^A \times \frac{1}{B}$$

где  $A = 1,9^{28}$ ;  $B = 2$ ;  $p_{\max}$  — номинальная нагрузка на линию, 50 МВт<sup>29</sup>. Например, если нагрузка на линии с учётом потерь составляет 10 МВт, то её износ увеличится на 2,35% (процентных пунктов), если 23 МВт — 11,4%, 35 МВт — 25,39%.

Если линию отключить, то во время отключения на ней будет проводиться текущий ремонт. Износ линии будет уменьшаться нуля за 1 такт<sup>30</sup>.

## Скрипты

Скрипты пишутся на языке Python 3. Они загружаются в систему через вкладку «Скрипты» пользовательского интерфейса. Загруженный скрипт может находиться в системе продолжительное время, и его можно в любой момент заменить. Внутри он выполняется один раз каждый такт игры. Он видит те же данные, что и вы в интерфейсе анализа, но в отличие от вас, может на них реагировать, отправляя управляющие воздействия — приказы. Их немного:

1. Включение/отключение энергорайона. Обратите внимание, что отключение энергорайона отключает и все зависимые от него, но включение — нет, и включать нужно будет все по-отдельности.
2. Отправить заявку на покупку или продажу энергии на бирже. Мощность ограничена 50-ю<sup>31</sup> мегаваттами, а цена — вилкой цен гарантирующего поставщика: её можно выставить от 2<sup>32</sup> до 5<sup>33</sup> р/МВт.
3. Зарядить/разрядить накопитель.
4. Вывести данные в зону пользовательских графиков. О них подробнее в справке скрипта.

<sup>28</sup> Константа wearAccumulationA

<sup>29</sup> Константа lossesThreshold

<sup>30</sup> Константа wearRecoveryRate

<sup>31</sup> Константа exchangeMaxAmount

<sup>32</sup> Константа exchangeExternalAdvanceSell

<sup>33</sup> Константа exchangeExternalAdvanceBuy

Подробнее о том, как с помощью скрипта получать данные об энергосистеме, смотрите в справке скрипта (она есть в интерфейсе и будет доступна отдельно).

## Список изменений

### Версия 5

1. Число разыгрываемых СЭС и ВЭС сокращено до 12, но их номинальная мощность увеличена с 15 до 25 МВт. (Константа `maxSolarPower=25`, константа `maxWindPower=25`).
2. Скорость ремонта линий увеличена с 0.4 за такт до 1 за такт (полностью ремонтируются за 1 такт). (Константа `wearRecoveryRate=1.0`).

### Версия 4

1. В разделе «Износ подстанций» исправлен пример для 10 МВт. Остальные без изменений.

### Версия 3

1. Исправлен пример в разделе «Износ подстанций».

### Версия 2

1. Из раздела «Прогнозы» убрано упоминание о том, что у каждого объекта прогнозов восемь. На самом деле один.

### Версия 1

Начальная версия