

Детальные правила задачи (командной игры) в распределенном формате ИЭС 2022

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 — ежеходовый 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 их 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 лидерование 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 ¹
Ветер	0,5 ²
Больницы	0,25 ³

¹ 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».

² Константа corridorWind

³ Константа corridorClass1

Заводы	0,5 ⁴
Дома А	0,5 ⁵
Дома Б	0,5 ⁶

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

Для каждого объекта имеется 8⁷ разных прогнозов. Верен только один. Прогнозы отличаются, но не являются абсолютно разными. Понять, какой из них верен можно до окончания моделирования, но не сразу.

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. У прогнозов ветра есть бифуркации каждые 25 тактов. Каждые 25 тактов прогнозы разделяются на два. Это означает, что первые 25 тактов игры все восемь прогнозов совпадают. Затем они делятся на две равные группы, затем на 4 и, наконец, после 75-го такта все 8 прогнозов становятся различными.

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.

⁴ Константа corridorClass2

⁵ Константа corridorClass3A

⁶ Константа corridorClass3B

⁷ Константа forecastsCount

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

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 удвоенный⁸ тариф за каждый недопоставленный МВт мощности, заводу — учетверённый⁹, а больнице — в 8^{10} раз больше тарифа.

У больниц есть особенность — их обязательно подключать обоими входами так, чтобы путь от них к главной подстанции оказывался на разных её ветках. У заводов входов тоже два, но столь жёсткого правила нет, и один из их входов можно вообще не подключать.

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.

Электростанции

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

СЭС

Солнечные панели кроме перемещения по стенду могут ещё и наклоняться.

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

⁸ Константа class3FineRate

⁹ Константа class2FineRate

¹⁰ Константа class1FineRate

Максимальная мощность солнечных электростанций — 15 МВт¹¹. Максимальная мощность ветровых — тоже 15 МВт¹². 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 вращения¹³ (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 скорости¹⁴. Кроме того, максимум генерации достигается при 86%¹⁵ 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.

ТЭС

Тепловая электростанция проще, чем СЭС и ВЭС в том, что она не имеет физической модели, однако это не обязательно означает, что с ней проще управляться.

На каждом такте ей нужно указывать, какую объём топлива ей следует сжигать. За топливо вы платите отдельно, сверх аукционного тарифа. 1 единица топлива превратится в 1 МВт мощности с учётом КПД и с добавлением инерции: к выработке сжиганием топлива добавится часть мощности, выработанной на предыдущем такте. Точнее, 60%¹⁶ от предыдущей мощности, уменьшенной на 0,5¹⁷ МВт.

Единица топлива стоит 3,5 р¹⁸. При КПД в 100% ТЭС перерабатывала бы 1 единицу топлива в 1 МВт*такт энергии, однако её КПД не только не идеален, но и не линеен. Он представляет собой параболу, максимум которой в 90%¹⁹ достигается при сжигании 8

¹¹ Константа maxSolarPower

¹² Константа maxWindPower

¹³ Константа windBreakValue — это доля от максимального значения, которое могут выдавать измерительные цепи ветряков.

¹⁴ Константы windRecoveryValue/windBreakValue

¹⁵ Константы windSummit/windBreakValue

¹⁶ Константа tpsInertia

¹⁷ Константа tpsInertiaFriction

¹⁸ Константа tpsFuelCost

¹⁹ Константа tpsEcePeakValue

единиц топлива²⁰, а при сжигании 0 единиц топлива КПД составляет всего 40%²¹.

Предельный объём сжигаемого ТЭС топлива — 10 единиц²².

Например, на прошлом такте ТЭС вырабатывала 10 МВт, на текущем ей указано сжечь 8 единиц топлива. Мощность на текущем такте составит $8 \times 0,9 + 0,6 \times (10 - 0,5) = 7,2 + 5,7 = 12,9$ МВт.

ТЭС имеют две точки подключения. Как и у заводов, если обе они активны, то мощность между ними распределяется поровну.

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*такт²³, предельная скорость заряда или разряда — 15 МВт*такт²⁴. 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.

Монтаж сети

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.

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».

Каждый вход больницы должен приходить в разные ветки главной подстанции.

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

²⁰ Константа `tpsEcePeakPower`

²¹ Константа `tpsEceZeroValue`

²² Константа `tpsMaxPower`

²³ Константа `cellObjectCapacity`

²⁴ Константы `cellObjectChargeRate` и `cellObjectDischargeRate`

Проект сети

Проект сети вы передаёте организаторам в виде формального описание в формате JSON, например:

```
[ { "address" : "h1"
  , "station" : "M1"
  , "line"    : 3
  }
, { "address" : "m1"
  , "station" : "M1"
  , "line"    : 2
  , "comment" : "Наша миниподстанция"
  }
, { "address" : "a8"
  , "station" : "m1"
  , "line"    : 1
  }
, { "address" : "f5"
  , "station" : "m1"
  , "line"    : 2
  }
, { "address" : "f6"
  , "station" : "M1"
  , "line"    : 1
  }
]
```

Это список одинаковых объектов с тремя обязательными полями:

1. “address” — адрес объекта, который вы выиграли на аукционе. Он присваивается объекту по окончании аукциона.
2. “station” — адрес подстанции, к которому подключён объект. У каждой команды также главная подстанция, которая не входит в описание и сама никуда не подключается, в примере выше — “M1”. Адрес главной подстанции каждой команды мы сообщим позднее.
3. “line” — номер линии, к которой подключается объект, нумерация с единицы. У главной подстанции три линии, у миниподстанции А — тоже три, у миниподстанции Б — две.

Другие поля нашей системой игнорируются. В примере выше — поле “comment” объекта “m1”. Но обратите внимание, что при пересылке файлов иногда могут случаться странности с их кодировками, поэтому предпочтительно, чтобы файл проекта сети содержал только латиницу.

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/МВт²⁵ для продажи и 10 р/МВт²⁶ 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/МВт²⁷ при продаже и 5 р/МВт²⁸ при покупке.

Также на бирже в случае заключения сделки между игроками действует комиссия: цена для покупателя поднимается на 10 копеек²⁹ от вычисленной, а цена для продавца — опускается.

Пример:

Заявки на покупку	Заявки на продажу
Заявка 1: 5 по 3.5	Заявка 3: 3 по 2.5
Заявка 2: 2 по 2.5	Заявка 4: 3 по 3

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

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

²⁵ Константа exchangeExternalLastMomentSell

²⁶ Константа exchangeExternalLastMomentBuy

²⁷ Константа exchangeExternalAdvanceSell

²⁸ Константа exchangeExternalAdvanceBuy

²⁹ Константа exchangeCommission

Заявка 1.2: 2 по 3.5	Заявка 4: 3 по 3
Заявка 2: 2 по 2.5	

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

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

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

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

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

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

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

Потери энергии

В энергосистеме есть потери. Они для простоты вычисляются на выходах подстанций, и пропорциональны квадрату проходящей через них мощности. Потери есть всегда и растут с нуля при нагрузке на энергорайон в 0 МВт до уровня в 25%³⁰ при 30 МВт³¹ (после чего не растут). Это значит, что если у вас на линии есть генерация в 33 МВт, то потери составят $33 \times 0,25 = 8,25$ МВт, и реальная нагрузка на линию (и количество энергии, которое из неё выйдет) составит 24,75 МВт. Если же у вас на линии есть потребление в 21 МВт, то потери составят $21 \times 0,175 = 3,675$ МВт, и реальная нагрузка (сколько в неё нужно закачать, чтобы удовлетворить потребителей) составит 24,675 МВт.

Соединение с внешней энергосистемой тоже имеет ограничение мощности, 50 МВт³², и если будет превышено оно, то отключена будет вся энергосистема целиком, что может быть баснословно убыточно. Впрочем, баснословно убыточно подойти даже наполовину к этому ограничению.

Износ подстанций

Оборудование подстанций, управляющее линиями, изнашивается. Износ накапливается, и скорость его накопления зависит от нагрузки на линию. При износе выше определённого уровня появляется вероятность аварии — события, при котором линия отключится на 5 тактов. Вероятность аварии зависит от износа по формуле:

³⁰ Константа lossesLimit

³¹ Константа lossesThreshold

³² Константа externalLimit

$$p(W) = \frac{1}{1+e^{4-8z}}$$

$$z = \frac{W-0,8}{1-0,8}$$

где переменная W (заглавная) — накопленный износ линии, от t до 1.

Если эту формулу упростить, можно получить что-то такое:

$$p(W) = \frac{1}{1+e^{36-40W}}$$

Если степень износа превысила 100%, то авария произойдёт гарантированно.

Например, при значении износа 85% вероятность аварии составит 11,9%, при 90% — 50%, при 93% — 76,8%.

Накопление износа за такт (обозначено строчной w) зависит от нагрузки на линию по формуле

$$w(x) = \frac{x^{1,9}}{6}$$

где x — отношение действительной нагрузки на линию к номинальной. Номинальная нагрузка составляет 30 МВт³³. Например, если нагрузка на линии с учётом потерь составляет 10 МВт, то её износ увеличится на 2,06% (процентных пунктов), если 23 МВт — 10,6%, 35 МВт — 22,34%.

После аварии износ линии сбрасывается на 0. Линия при этом останется отключенной, её нужно будет включить скриптом.

Если неаварийную линию принудительно отключить, то во время отключения на ней будет проводиться текущий ремонт. Износ линии будет уменьшаться на 40 процентных пунктов за такт³⁴.

Скрипты

Скрипты пишутся на языке Python 3. Они загружаются в систему через вкладку «Скрипты» пользовательского интерфейса. Загруженный скрипт может находиться в

³³ Константа `lossesThreshold`

³⁴ Константа `wearRecoveryRate`

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-ю³⁵ мегаваттами, а цена — вилкой цен гарантирующего поставщика: её можно выставить от 2³⁶ до 5³⁷ р/Мвт.
3. Установить количество топлива, которое следует сжечь ТЭС. Предельное количество — 10 единиц³⁸. Если на такте указаний для ТЭС не пришло, считается, что пришёл приказ «ноль».
4. Зарядить/разрядить накопитель.
5. Вывести данные в зону пользовательских графиков. О них подробнее в справке скрипта.

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 4

1. Исправлена вторая формула в разделе «Износ подстанций».

Версия 3

1. Коридор прогнозов первой категории потребителей уменьшен с 0,5 до 0,25.
2. Исправлен пример генерации ТЭС

Версия 2

1. Исправлен пример в потерях энергии.
2. Переписан раздел «Износ подстанций». Содержание не изменилось, но изменилась форма.

³⁵ Константа `exchangeMaxAmount`

³⁶ Константа `exchangeExternalAdvanceSell`

³⁷ Константа `exchangeExternalAdvanceBuy`

³⁸ Константа `tpsMaxPower`