

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Математико-механический факультет

Кафедра системного программирования

# Реализация алгоритма минимизации стоимости потребления электроэнергии

Курсовая работа студентки 361 группы

Цыпан Ксении Владимировны

Научный руководитель

к. ф.-м. н., доц. Н.Г.Графеева

Санкт-Петербург

2010

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Постановка задачи .....	5
3. Обзор существующих решений.....	7
4. Алгоритм минимизации стоимости потребления электроэнергии .....	8
5. Реализация.....	9
6. Результаты.....	10
7. Список использованных источников .....	12

# 1. Введение

Компании, генерирующую электроэнергию, как правило, объединяют несколько электростанций (так, например, самая крупная из них – ТГК-1 объединяет 47 электростанций). В свою очередь каждая электростанция может состоять из нескольких ГТП (Группа Точек Поставки), некоторые из которых являются потребляющими, а некоторые генерирующими.

Каждая электростанция вырабатывает электроэнергию, но вполне очевидно, что помимо генерации электроэнергии, электростанция нуждается в её потреблении. Как для непосредственной работы аппаратуры, датчиков, счётчиков и т.д., так и для создания условий работы (свет, столовые и т.д.).

Но несмотря на то, что электростанция сама вырабатывает электроэнергию, тратить свою электроэнергию она так просто не может. Т.к. повсюду стоят счетчики, фиксируется какое количество электроэнергии станция потратила за каждый час (так называемое фактическое потребление электроэнергии). Но при этом ей разрешается использовать какое-то конкретное количество бесплатной электроэнергии в месяц (так называемый плановый норматив потребления). Кроме того, специалисты генерирующей компании ежемесячно формируют уведомление о максимально допустимой величине почасового расхода электроэнергии на собственные нужды генерации (так называемый план потребления). В любом случае, электростанция использует электроэнергии больше, чем плановый норматив потребления, поэтому существует алгоритм расчета стоимости покупки электроэнергии.

1 сентября 2006 года постановлением Правительства РФ от 31 августа 2006 г. N 529 «О совершенствовании порядка функционирования оптового рынка электрической энергии (мощности)» введена в действие новая модель оптового рынка электроэнергии и мощности переходного периода, получившая название НОРЭМ — новый оптовый рынок электроэнергии и мощности (в настоящее время употребительной является аббревиатура ОРЭМ). Эта модель предполагает существования трёх секторов торговли электроэнергией:

- долгосрочных двусторонних договоров;
- рынок на сутки вперёд (РСВ);
- балансирующий рынок (БР).

На рынке долгосрочных двусторонних договоров торговля электрической энергией осуществляется по регулируемым договорам (РД) и свободным двусторонним договорам. В секторе регулируемых договоров Федеральная служба по тарифам устанавливает предельные тарифы на электроэнергию, поставляемую на оптовый рынок и покупаемую с рынка. Объемы электроэнергии, не покрытые регулируемыми договорами, продаются по свободным ценам в рамках свободных двусторонних договоров и рынка «на сутки вперед». В рамках свободных двусторонних договоров участники рынка сами определяют контрагентов, цены и объемы поставки. Основой рынка «на сутки вперед» является проводимый ОАО «Администратор торговой системы» конкурентный отбор ценовых заявок поставщиков и покупателей за сутки до реальной поставки электроэнергии с определением цен и объемов поставки на каждый час суток. При возникновении отклонений от запланированных на сутки вперед объемов поставки, участники покупают или продают их на балансирующем рынке.

Итого, на РСВ покупаются недостающие объёмы электроэнергии относительно объёмов двусторонних договоров. На РСВ торговля электроэнергией происходит по цене, устанавливаемой под влиянием спроса и предложения. Балансирующий рынок представляет собой рынок отклонений фактического почасового производства и потребления электроэнергии от планового торгового графика и предназначен для обеспечения баланса производства и потребления в реальном времени. Генераторы, изменившие производство электроэнергии по инициативе «Системного оператора», получают премию. Генераторы, снизившие производство по собственной инициативе, и потребители, увеличившие нагрузку, нагружаются дополнительной платой. На балансирующем рынке поставщики подают заявки «Системному оператору» на догрузку (отклонение «вверх») и разгрузку (отклонение «вниз») своих мощностей по сравнению с плановыми объёмами, сформировавшимися на РСВ. В заявках указываются цены и возможные объёмы увеличения производства электроэнергии, а также цены за отклонение «вниз» по инициативе «Системного оператора». Заявки потребителей на возможное снижение нагрузки рассматриваются наравне с заявками генерирующих компаний на увеличение производства. При возникновении небаланса в энергосистеме «Системный оператор» увеличивает производство электроэнергии или ограничивает нагрузку потребителей-регуляторов, начиная с указавших минимальные цены в заявках.

## 2. Постановка задачи

. Стоимость приобретенной электроэнергии за месяц получается путем сложения стоимости электроэнергии за каждый час  $h$ , входящий в месяц:

$$S = \sum \text{СТОИМОСТЬ}_h$$

Моя задача состояла в том, чтобы сделать расчётную стоимость купленной электроэнергии за месяц минимальной, т.е. :

$$S_{\text{РАСЧ}} = \text{MIN}(\sum \text{СТОИМОСТЬ}_h)$$

Основным объектом, с которым предстоит работать, является База Данных, которая представляет собой всего лишь одну таблицу (например, Табл.1). В этой таблице указаны день, час, тип даты (летнее время, или зимнее), цена на балансирующем рынке «вниз», цена на РСВ, цена на балансирующем рынке «вверх», фактическое потребление электроэнергии в заданный час, плановое потребление в заданный час и норматив потребления.

День	Час	Тип даты	ЦБ-	ЦРСВ	ЦБ+	Факт	План	Норма
1	1	1	489,800	533,970	533,970	33,194	38,000	31,097
	2	1	409,920	498,360	498,360	32,981	38,000	31,097
	3	1	392,520	422,320	422,320	32,948	38,000	31,098
	4	1	377,850	416,360	416,360	32,965	38,000	31,097
	5	1	432,030	511,530	511,530	32,945	38,000	31,097
	6	1	537,170	546,590	546,590	32,869	38,000	31,097
	7	1	575,870	583,980	583,980	32,923	38,000	31,098
	8	1	616,160	653,320	653,320	33,323	38,000	31,097
	9	1	662,950	690,710	690,710	33,638	38,000	31,097

Табл. 1

В данной таблице фактическое и плановое значения зафиксированы, мы можем изменять лишь заданный норматив по часам месяца (суммарное значение норматива должно остаться неизменным) и это и является ключевым моментом. Стоимость каждого часа напрямую зависит от соотношения трёх параметров: фактическое потребление, плановое потребление и норматив потребления. Соответственно, мы можем задать норматив так, чтобы итоговая стоимость была минимальной.

Стоимость каждого часа задаётся следующим алгоритмом:

1. Если  $\text{Норм}_h > \text{План}_h > \text{Факт}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -(\text{План}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦРСВ}_h$
2. Если  $\text{План}_h > \text{Норм}_h > \text{Факт}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -((\text{Норм}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦРСВ}_h + (\text{План}_h - \text{Норм}_h) * \text{ЦБ-}_h)$
3. Если  $\text{План}_h > \text{Факт}_h > \text{Норм}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -(\text{План}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦБ-}_h$
4. Если  $\text{Норм}_h > \text{Факт}_h > \text{План}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = (\text{Факт}_h - \text{План}_h) * \text{ЦРСВ}_h$

5. Если  $\text{Факт}_h > \text{Норм}_h > \text{План}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = ((\text{Норм}_h - \text{План}_h) * \text{ЦРСВ}_h + (\text{Факт}_h - \text{Норм}_h) * \text{ЦБ}^+_h)$
6. Если  $\text{Факт}_h > \text{План}_h > \text{Норм}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = (\text{Факт}_h - \text{План}_h) * \text{ЦБ}^+_h$

где:

$\text{ЦРСВ}_h$  – Цена на РСВ в заданный час .

$\text{ЦБ}^-_h$  – Цена на балансирование «вниз» в заданный час .

$\text{ЦБ}^+_h$  – Цена на балансирование «вверх» в заданный час .

$\text{Факт}_h$  – фактическое потребление электроэнергии в заданный час.

$\text{План}_h$  – плановое потребление электроэнергии в заданный час.

$\text{Норм}_h$  – норматив потребления на собственные нужды в заданный час.

При этом следует учитывать, что в соответствии с Приложением 4 Регламента подачи уведомлений участниками оптового рынка (<http://www.np-ats.ru/index.jsp?pid=65>), в каждый час расчетный норматив потребления может превышать плановый норматив потребления (задается ровным графиком для каждой ГТП на каждый месяц) не более, чем на 20% .

### **3. Обзор существующих решений**

Для данной задачи не существует общепринятого решения, а решения, которые все же используются в некоторых генерирующих компаниях, нигде не публикуются (по причине коммерческой тайны). Чаще всего допустимый норматив потребления (заданный на месяц) равномерно “размазывается” по всем часам так, что для каждого часа нормативы потребления равны. Естественно, что это не решает задачу минимизации стоимости потребления электроэнергии оптимально.

## 4. Алгоритм минимизации стоимости потребления электроэнергии

И так, для минимизации расчётной стоимости купленной электроэнергии за месяц, мне кажется логичным сделать минимальной стоимость каждого часа. Для этого будем варьировать норматив потребления в зависимости от соотношения фактического потребления и планового.

Существует 2 варианта соотношения:

1. Если план > факт, то у нас три варианта развития событий, в зависимости от значения норм:

- A. Если  $\text{Норм}_h > \text{План}_h > \text{Факт}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -(\text{План}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦРСВ}_h$
- B. Если  $\text{План}_h > \text{Норм}_h > \text{Факт}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -((\text{Норм}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦРСВ}_h + (\text{План}_h - \text{Норм}_h) * \text{ЦБ-}_h)$
- C. Если  $\text{План}_h > \text{Факт}_h > \text{Норм}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = -(\text{План}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦБ-}_h$

Т.к. везде перед формулами стоит знак "-", значит нам надо максимизировать значения, чтобы сумма стала минимальной. Соотношение цен такого, что  $\text{ЦРСВ}_h > \text{ЦБ-}_h$ , и естественно, что  $\text{Стоимость}_h = -(\text{План}_h - \text{Факт}_h) * \text{ЦРСВ}_h$  будет минимальной.

Чтобы получить данную стоимость, нам необходимо соотношение  $\text{Норм}_h > \text{План}_h > \text{Факт}_h$ . Для этого делаем значение норм чуть больше чем план, на минимальное значение, т.е. на 0,001 ( $\text{Норм}_h = \text{План}_h + 0,001$ ) (Минимальное, потому что количество норматива ограничено). Но тут важно не забыть про условие, что новое значение норм, не должно превышать плановый норматив потребления на 20%. Поэтому, если для новой нормы не выполняется данное условие, то мы плановый норматив потребления умножаем на 1,2 и получаем новое значение норм. Какое при этом будет соотношение:  $\text{План}_h > \text{Норм}_h > \text{Факт}_h$  или  $\text{План}_h > \text{Факт}_h > \text{Норм}_h$  уже от нас не зависит.

2. Если факт > план, то также возможны три варианта стоимости:

- 1. Если  $\text{Норм}_h > \text{Факт}_h > \text{План}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = (\text{Факт}_h - \text{План}_h) * \text{ЦРСВ}_h$
- 2. Если  $\text{Факт}_h > \text{Норм}_h > \text{План}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = ((\text{Норм}_h - \text{План}_h) * \text{ЦРСВ}_h + (\text{Факт}_h - \text{Норм}_h) * \text{ЦБ+}_h)$
- 3. Если  $\text{Факт}_h > \text{План}_h > \text{Норм}_h$ :  $\text{Стоимость}_h = (\text{Факт}_h - \text{План}_h) * \text{ЦБ+}_h$

Если  $\text{ЦРСВ}_h = \text{ЦБ+}_h$  (а в таблице, по которой я реализовывала данный алгоритм, так и есть), то совсем нет разницы какую из стоимостей мы возьмём, т.к. при любом значении  $\text{Норм}_h$  они будут одинаковы, поэтому, чтобы не растрчивать наши дорогие запасы норматива потребления, мы сделаем  $\text{Норм}_h = 0$ .



## 5. Реализация

Была установлена СУБД Oracle. С её помощью была создана БД, на которой тестировался вышеописанный алгоритм. В качестве теста была взята реальная таблица цен и измерений, но всего лишь на сутки. Для проверки работоспособности алгоритма, этого было достаточно.

Т.о. этот алгоритм был реализован, была написана процедура, рассчитывающая стоимость электроэнергии за каждый час. Также была написана функция, рассчитывающая общую стоимость электроэнергии за день.

## 6. Результаты

В ходе этой курсовой работы были достигнуты следующие результаты:

- Спроектирована и реализована база данных со всеми данными по каждому часу.
- Придуман алгоритм, решающий задачу минимизации стоимости потребления электроэнергии.
- Реализован алгоритм, решающий задачу минимизации стоимости потребления электроэнергии.
- Проведён сравнительный анализ существующего решения и описанного в данной работе алгоритма.

День	Час	Тип даты	ЦБ-	ЦРСВ	ЦБ+	Факт	План	Норма
1	1	1	489,800	533,970	533,970	33,194	38,000	31,097
	2	1	409,920	498,360	498,360	32,981	38,000	31,097
	3	1	392,520	422,320	422,320	32,948	38,000	31,098
	4	1	377,850	416,360	416,360	32,965	38,000	31,097
	5	1	432,030	511,530	511,530	32,945	38,000	31,097
	6	1	537,170	546,590	546,590	32,869	38,000	31,097
	7	1	575,870	583,980	583,980	32,923	38,000	31,098
	8	1	616,160	653,320	653,320	33,323	38,000	31,097
	9	1	662,950	690,710	690,710	33,638	38,000	31,097
	10	1	685,660	728,970	728,970	33,557	38,000	31,097
	11	1	688,750	745,890	745,890	33,337	38,000	31,097
	12	1	688,180	726,460	726,460	33,405	38,000	31,098
	13	1	690,340	728,750	728,750	33,238	38,000	31,097
	14	1	697,860	745,810	745,810	33,781	38,000	31,097
	15	1	700,880	746,940	746,940	34,333	38,000	31,097
	16	1	636,330	737,800	737,800	34,152	38,000	31,098
	17	1	614,320	707,230	707,230	33,970	38,000	31,097
	18	1	602,100	687,590	687,590	35,453	38,000	31,097
	19	1	598,720	680,840	680,840	36,312	38,000	31,097
	20	1	641,360	709,310	709,310	39,406	38,000	31,097
	21	1	691,130	746,400	746,400	41,961	38,000	31,098
	22	1	661,490	744,190	744,190	40,248	38,000	31,097
	23	1	620,600	694,210	694,210	36,491	38,000	31,097
	24	1	572,470	624,640	624,640	33,046	38,000	31,097

Табл.2

- При равномерном распределении норматива, у каждого часа норматив был равен 31, 097 МВтч (как показано в Табл.2) и итоговая стоимость электроэнергии за сутки была равна - 45770.53521 рублей.

День	Час	Тип даты	ЦБ-	ЦРСВ	ЦБ+	Факт	План	Норма
1	1	1	489,800	533,970	533,970	33,194	38,000	37,316
	2	1	409,920	498,360	498,360	32,981	38,000	37,316
	3	1	392,520	422,320	422,320	32,948	38,000	37,317
	4	1	377,850	416,360	416,360	32,965	38,000	37,316
	5	1	432,030	511,530	511,530	32,945	38,000	37,316
	6	1	537,170	546,590	546,590	32,869	38,000	37,316
	7	1	575,870	583,980	583,980	32,923	38,000	37,317
	8	1	616,160	653,320	653,320	33,323	38,000	37,316
	9	1	662,950	690,710	690,710	33,638	38,000	37,316
	10	1	685,660	728,970	728,970	33,557	38,000	37,316
	11	1	688,750	745,890	745,890	33,337	38,000	37,316
	12	1	688,180	726,460	726,460	33,405	38,000	37,317
	13	1	690,340	728,750	728,750	33,238	38,000	37,316
	14	1	697,860	745,810	745,810	33,781	38,000	37,316
	15	1	700,880	746,940	746,940	34,333	38,000	37,316
	16	1	636,330	737,800	737,800	34,152	38,000	37,317
	17	1	614,320	707,230	707,230	33,970	38,000	37,316
	18	1	602,100	687,590	687,590	35,453	38,000	37,316
	19	1	598,720	680,840	680,840	36,312	38,000	37,316
	20	1	641,360	709,310	709,310	39,406	38,000	0
	21	1	691,130	746,400	746,400	41,961	38,000	0
	22	1	661,490	744,190	744,190	40,248	38,000	0
	23	1	620,600	694,210	694,210	36,491	38,000	37,316
	24	1	572,470	624,640	624,640	33,046	38,000	0,009

Табл.3

Используя алгоритм, описанный в данной работе, нормативы у часов стали разные (как показано в Табл.3) и итоговая стоимость электроэнергии за сутки стала равной - 49247.17023 рублей, что на 3476,635 рублей превышает первый результат. Из чего можно сделать вывод, что данный алгоритм работает оптимальнее.

## **7. Список использованных источников**

1. <http://www.oracle.com>
2. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Оптовый рынок электроэнергии и мощности](http://ru.wikipedia.org/wiki/Оптовый_рынок_электроэнергии_и_мощности)
3. <http://www.np-ats.ru/index.jsp?pid=65>