

К вопросу о том, что такое „экономически наивыгоднейшее сооружение“

1. Введение

Задача инженера, проектирующего новое сооружение, не ограничивается таким подбором его элементов, чтобы сооружение технически выполнило возложенную на него задачу. Почти во всех случаях можно построить несколько существенно различных сооружений, одинаково выполняющих поставленную физическую задачу (дающих, напр., заданное количество продукции), но сильно различающихся друг от друга как в техническом, так и в экономическом отношениях (т.е. по своей первоначальной стоимости и по стоимости своей продукции). Данная задача имеет таким образом обычно несколько технических решений. Эти решения могут отличаться друг от друга выбором места, выбором исходного продукта, выбором технологического процесса и т. д. Даже в том случае, когда выбор этих моментов сделан или предreshен, остается еще широкий простор в выборе ряда технических параметров (степеней механизации, числовые величины, характеризующие технологический процесс и т. д.). Чисто технические расчеты определяют только пределы для этих параметров; выбор конкретных их значений внутри этих пределов диктуется требованием, чтобы совокупность выбранных параметров дала экономически наивыгоднейшее решение поставленной задачи.

Вместо этого требования выдвигается иногда формула „максимальной эффективности капиталовложения“; говорят иногда о „народнохозяйственной эффективности“, об „оптимальных решениях“ и т. д., при чем конкретное содержание этих требований не всегда ясно. Так, напр., очевидно, что критерий экономической выгоды в частно-хозяйственных условиях может существенно отличаться от такового для условий планового государственного хозяйства. Очевидно, далее, что при правильном учете общих условий хозяйства на данной стадии его развития мы должны иметь единый подход к решению поставленной задачи, и перечисленные выше формулы должны иметь единое содержание. Задачей настоящей работы и является попытка установить это содержание для условий переживаемого нами этапа развития планового государственного хозяйства.

В виду крайнего разнообразия возможных конкретных случаев и трудности анализа вопроса в общих абстрактных терминах, мы будем вынуждены ограничиться одним конкретным типом хозяйственного предприятия — именно передачей электрической энергии. Анализ вопроса мы начнем с условий частно-хозяйственных, так как для таковых этот вопрос не является новым и уже обсуждался в литературе.

2. Передача электрической энергии

Задачей предприятия по передаче электрической энергии является транспорт энергии в электрической ее форме от места производства — центральной электрической станции, использующей или водную силу или залежи малотеплотного „местного“ топлива в центр потребления, расположенный, обычно, на значительном расстоянии от генераторной станции. Идея электрической передачи энергии возникает тогда, когда условия производства электричества на месте потребления неблагоприятны и стоимость электрической энергии, произведенной там, настолько превышает стоимость энергии удаленной центральной станции, что за счет этой разницы передаточное предприятие не только окупает свои расходы, но и приносит некоторую чистую прибыль. Устанавливая это положение, мы делаем некоторую предпосылку, существенную для дальнейшего анализа. Эта предпосылка есть прямое следствие выбора передачи, как экономически более выгодного варианта электроснабжения данного центра. Вопрос о критерии экономически наивыгоднейшего возникает и в этой задаче. Предполагаем, что критерий был выбран правильно, и что вопрос был решен в пользу передачи. Отметим, что при сравнении должен был быть произведен расчет стоимости электрической энергии в случае ее производства на месте. Эта стоимость может нам понадобиться при выборе технического типа передачи. Отметим также, что определение этой стоимости с передачей не связано и является самостоятельной задачей. К вопросу о том, как должна быть определена эта стоимость, мы вернемся. Она во всяком случае зависит от выбора типа электрической станции. Таким образом, здесь мы встречаемся с той же задачей, которую мы себе ставим в отношении передачи. Допускаем, что эта задача была решена правильно. Полученную величину стоимости энергии в центре потребления назовем „конкурентной стоимостью“.

Хозяйственная задача, которая ставится новому предприятию, может быть двоякой.

1. Может быть задана потребность в электрической энергии в центре потребления. Эта потребность является обычно функцией времени. Допустим, для упрощения задачи, что потребление меняется только в пределах года; среднее же годовое потребление постоянно и равно Q квтч в год.

Существенной особенностью электропередачи является потеря части энергии при передаче; величина этой потери зависит от выбора технических параметров передачи; поэтому количество энергии, которое будет взято от генераторной станции при заданном Q также переменна и равно:

$$Q' = Q + \Delta Q$$

где ΔQ — энергия, потерянная в проводах. Предполагаем, что производственная способность генераторной станции практически не ограничена, т.е. что выбор наивыгоднейшей величины ΔQ свободен.

Задачей передачи в этом первом предположении является, таким образом, ежегодная поставка в центр потребления определенного количества энергии (Q квтч) при определенном графике потребления в течение каждого года.

Эта задача является примером для тех случаев, когда хозяйственное задание определяется установленной ограниченной потребностью при практически неограниченной возможности его удовлетворения.

2. Второе предположение будет состоять в том, что количество энергии, которое может в течение года отпустить генераторная станция,

ограничено ее возможностями, а потребление практически неограничено. Иначе говоря, теперь заданной является величина Q' , тогда как величины

$$\Delta Q \text{ и } Q = Q' - \Delta Q$$

являются переменными, зависящими от технических параметров проектируемого устройства. Этот случай является примером для таких, когда хозяйственное задание определяется ограниченной возможностью при неограниченной потребности. Использование естественных ресурсов ограниченной мощности, напр., торфяных болот, залежей минеральных ископаемых, водной энергии и т. д., поскольку эти ресурсы физически ограничены, относится к задачам этого второго типа.

Предположим далее, что нам в обеих задачах даны: покупная цена энергии на генераторной станции — „ a “ коп. за квтч и продажная цена энергии в центре потребления — „ b “ коп. за квтч.

В частно-хозяйственных условиях эти величины являются ценами, устанавливаемыми в предварительных договорах, заключаемых инициатором предприятия с владельцем генераторной станции, с одной стороны, и потребителями — с другой. В общем случае возможны более сложные формулы тарифа — числа „ a “ и „ b “ могут зависеть от общего количества энергии, от отношения максимальной забираемой мощности к средней годовой, от коэффициента мощности и т. д. В первую очередь рассмотрим простейший случай, когда числа „ a “ и „ b “ постоянные заданные числа.

Цены энергии должны быть отнесены к определенному месту и роду энергии. Предполагаем, что цена „ a “ есть цена энергии на шинах генераторной станции при среднем напряжении порядка 6—12 тысяч вольт, а что цена „ b “ относится к шинам подстанции, находящейся в центре потребления, и что напряжение тока задается условиями распределения энергии между потребителями. Эти данные определяют технические границы сооружения и его состав. В общем случае для осуществления задания нужно соорудить:

1. Трансформаторную подстанцию около генераторной станции.
2. Линию проводов для передачи энергии между этой подстанцией и пунктом потребления.

3. Трансформаторную подстанцию в центре потребления с приспособлениями для регулирования напряжения (синхронные компенсаторы).

Сооружение в целом должно удовлетворять ряду технических условий, дополняющих задание. Важнейшими из них являются:

1. Гарантии непрерывности снабжения, т.е. наличие резервов к важнейшим элементам сооружения.

2. Требование возможности регулировать устройство так, чтобы напряжение электрического тока у потребителей было постоянным при изменении забираемой ими мощности.

3. Требование устойчивости параллельной работы синхронных машин генераторной станции с синхронными машинами (двигателями) потребителей как при установившейся нагрузке, так и при ее колебаниях.

Важнейшими элементами, определяющими технический тип передаточного устройства, являются: число параллельных электрических цепей; напряжение, при котором энергия будет передаваться; материал проводов, их сечение, конструкция проводов и опор и т. д. Сопоставляя ряд чисел, при помощи которых можно описать технический тип передачи, мы получаем систему технических параметров:

$$P_1, P_2, \dots, P_k$$

Задание и технические условия определяют для каждого из них только предельное значение или предельные значения, напр.:

$$p_1 \cong p_{10} \text{ или } p'_{k0} \cong p_k \cong p_{k0} \dots \dots \dots (1)$$

Значения этих параметров, которые должны быть приняты при осуществлении сооружения, должны удовлетворять этим условиям и тому требованию, чтобы передача была „экономически наивыгоднейшей“.

Параметры, определяющие технический тип устройства, можно подразделить на две группы. К первой относятся параметры, допускающие непрерывное изменение, напр., напряжение передачи, мощность трансформаторов и т. д. Ко второй относятся такие, которые могут изменяться только через крупные интервалы: например, —провода передачи могут быть сделаны или из меди, обладающей удельным сопротивлением в 18Ω на 1 км. и 1 мм^2 сечения, или из алюминия, соответственное удельное сопротивление которого равно 30Ω .

Число параллельных цепей есть параметр, значения которого могут быть только целыми числами

1, 2, 3 и т. д.

Многие из параметров, хотя и допускают физически непрерывное изменение, имеют ряд стандартизованных значений, идущих через более или менее крупные интервалы, —напр., сечение скрученных кабелей, которое по нашему сортаменту меняется так (в кв. мм):

10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 310.

Вопрос о нормировании напряжений разрабатывается в международном масштабе. IX Электротехническим Съездом приняты в соответствии с предложениями Международной Электротехнической Комиссии следующие напряжения (считая у потребителя) в кв. ¹

3, 6, 10, 20, 30, 60, 100, 150, 200

Подчеркнуты напряжения, которые следует предпочитать.

Выбор параметров второй группы, т. е. параметров, значения коих изменяются через конечные промежутки, можно осуществить двояко. Первый способ будет состоять в том, чтобы предполагать параметр непрерывно изменяющимся и, получив, в результате расчета, наивыгоднейшее его значение, выбрать ближайшее к нему физически возможное или стандартизованное число. Этот способ удобно применять к тем параметрам, которые изменяются через сравнительно небольшие интервалы — в частности к стандартизованным параметрам.

Второй способ состоит в производстве параллельных расчетов с последующим сравнением конечных результатов. Выбор числа параллельных линий, напр., можно произвести только этим способом. Только этим методом можно решить вопрос о том, какой материал выгоднее взять для проводов данной передачи — медь или алюминий. Часто выбор напряжения делается также путем сравнения параллельных вариантов. В инженерной практике этот второй метод вообще применяется при проектировке весьма широко. При этом, однако, обычно решается не общая задача, а частная задача выбора одного из двух значений какого-либо одного параметра при заданных значениях прочих. Такое решение дает правильно относительный максимум экономической выгоды, но может значительно отличаться от значений, отвечающих абсолютному максимуму общей выгоды, как функции многих переменных. Напр., если для

¹ Кв — киловольт — единица напряжения, равная тысяче вольт.

какой-нибудь передачи взято напряжение в 100 кв, медные провода могут быть выгоднее алюминиевых, тогда как при напряжении в 200 кв — алюминиевые провода будут выгоднее медных. Поэтому нам кажется необходимым в предварительном проекте нового устройства, пока выбор наивыгоднейших значений всех параметров остается свободным, пользоваться излагаемым здесь общим методом, дающим ориентировочно всю систему наивыгоднейших значений технических параметров; способом сравнения результатов изменения отдельных параметров можно пользоваться с необходимой осторожностью, при уточнении их значений для технических проектов.

3. Общий метод решения задачи

Для решения этой задачи необходимо дать термину „экономически наивыгоднейший“ математическое выражение. Допустим, напр., что это значит, что вложенный в предприятие капитал должен приносить наибольший процент чистой прибыли. Если K есть вложенный капитал, а Π чистая прибыль предприятия, то процент чистой прибыли или рентабельность капиталовложения будет:

$$r = \frac{\Pi}{K}$$

Величины Π , K , а следовательно и r суть функции технических параметров передачи:

$$r = f(p_1, p_2 \dots p_k) \dots \dots \dots (2)$$

Математическое выражение того условия, что тип передачи должен быть экономически наивыгоднейшим, будет: найти те значения параметров p , согласные с условиями (1), при которых величина r имеет максимум.

Задача эта решается так.

1. Если все p независимы друг от друга, составляем систему n уравнений с n неизвестными

$$\frac{df}{dp_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \dots \dots \dots (3)$$

Решая эту систему, находим искомые значения

$$P_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Если какое-либо из этих значений, напр., p_k , не удовлетворяет неравенствам (1), заданным техническими условиями задачи, подставляем в формулу (2) вместо p_k ближайшее к найденному его числовому значению, значение предела, т. е. p_{k0} или p'_{k0} . Поступив таким образом со всеми m параметрами, числовые значения коих вышли из границ (1), получаем выражение для r , как функции от $n - m$ переменных; после чего вновь находим значения этих $n - m$ параметров из $n - m$ уравнений

$$\frac{df}{dp_i} = 0$$

где p_i обозначает параметры, удовлетворившие неравенствам (1) при первом решении задачи.

2. Если не все n параметров независимы друг от друга, а связаны m уравнениями

вида

$$f_j(p_1 p_2 \dots p_n) = 0, j = 1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (4)$$

то из этих уравнений находим m параметров в функции от $n - m$ остальных и вносим эти значения в выражение для r , которое тогда будет функцией от $n - m$ параметров

$$r = f(p_1 p_2 \dots p_{n-m}) \dots \dots \dots (5)$$

Задача приведена, таким образом, к предыдущему случаю.

3. Если в числе условий, связывающих параметры, имеется условие вида

$$p_1 \geq \psi(p_2) \dots \dots \dots (6)$$

максимум функции

$$r = f(p_1, p_2)$$

может иметь место или при значениях, удовлетворяющих этому условию, или нет. В первом случае уравнения

$$\frac{df}{dp_1} = 0 \quad \frac{df}{dp_2} = 0 \dots \dots \dots (7)$$

дают правильное решение задачи. Во втором случае нужно исключить параметр p_1 из выражения для r помощью предельного условия

$$p_1 = \varphi(p_2)$$

и решить задачу о максимуме r , как функции одной переменной p_2 .

Примечание. Сделанные указания относительно разыскания максимума r в тех случаях, когда параметры связаны условиями вида (1) и (6), справедливы только в том предположении, что в области, ограниченной предельными значениями этих параметров, функция r имеет один максимум. В практических приложениях условие это обычно соблюдено.

4. Возможные критерии экономического оптимума в капиталистических условиях

В предыдущем параграфе мы взяли одно из возможных толкований экономически наивыгоднейшего. Этот критерий мы назовем критерием наибольшей рентабельности капиталовложения. Кроме этого критерия, при исследовании экономики предприятия мы можем встретиться с другими возможными требованиями. Так, может быть интересным извлечение из предприятия максимума чистой прибыли (а не ее процента). В этом случае задача сводится к разысканию тех значений параметров

$$p_1 p_2 \dots p_n$$

которые обращают в максимум

$$\Pi = F(p_1 p_2 \dots p_n).$$

Далее, часто встречается требование получения наибольшей эффективности капиталовложения.

Это требование можно понимать, как требование минимальных капиталовложений на единицу физического объема продукции. Как увидим,

на разобранный ниже примере, это требование может иметь смысл в том случае, если при заданном объеме продукции функция

$$K = \Phi(p_1 p_2 \dots p_n)$$

имеет минимум в области значений параметров, удовлетворяющих условиям (1), продиктованным техническими условиями.¹

Нетрудно показать, что капиталовложения, отвечающие трем перечисленным критериям:

- 1) наибольшей эффективности,
- 2) „ рентабельности,
- 3) „ чистой прибыли

обычно возрастают в порядке, в котором здесь перечислены эти критерии.

Действительно, эти критерии обозначают:

- 1) минимум $-K$ или минимум $\frac{1}{K}$
- 2) максимум $\frac{\Pi}{K}$
- 3) „ $-\Pi$

Предполагая, что капитал K , пройдя через минимальное свое значение K_1 , непрерывно возрастает, и что $\Pi = f(K)$ имеет один максимум, оставаясь положительной, заключаем, что $\max \Pi$ лежит при значении $K = K_3$ при чем $K_3 > K_1$, и что в пределах

$$K_1 < K < K_3$$

функция Π непрерывно возрастает. При $K = K_1$ величина K имеет минимум; следовательно величина $\frac{\Pi}{K}$ проходит через максимум; так как при $K = K_1$ Π возрастает, то $\max \frac{\Pi}{K}$ лежит при значении $K_2 > K_1$. При $K = K_3$, Π имеет максимум; так как величина K в этой точке возрастает, $\frac{1}{K}$ убывает; следовательно $\max \frac{\Pi}{K}$ лежит при значении $K_2 < K_3$. Итак:

$$K_1 < K_2 < K_3$$

Перечисленные три критерия определяют собой пределы тех типов сооружения, внутри которых лежит наивыгоднейший тип; сами по себе, в частично-капиталистических условиях, они не дают наивыгоднейшего типа.

Действительно, в этих условиях основной директивой инициатора предприятия, капиталиста, является извлечение наибольшей чистой прибыли из принадлежащего ему капитала. При этом неотъемлемой особенностью частично-капиталистических отношений является наличие развитого кредита. Следовательно, капиталист, с одной стороны, может отдать свои

¹ Иногда под эффективностью капиталовложения понимают отношение стоимости продукции к капиталовложению. Если продукция расценивается при этом по твердой цене, такое понимание равнозначно с приведенным в тексте. Если же расценка продукции делается по полной стоимости (т.е. по себестоимости плюс заданный % на капитал), критерий наибольшей эффективности капиталовложения приводит к абсурду, так как при уменьшающихся капиталовложениях полная стоимость растет обычно весьма быстро и максимум такой эффективности попадает, благодаря этому, в ту область, где предприятие становится убыточным. Ниже это положение будет иллюстрировано примером.

деньги в рост, вложив их в чужое предприятие при известных гарантиях их возврата, напр., путем приобретения облигаций чужого предприятия. Средний процент, который приносят облигации предприятий, пользующихся доверием капиталиста, является для него пределом выгодности вложений в свое предприятие. Пусть, например, этот средний процент есть r_0 . Собственное предприятие, построенное по принципу максимальной рентабельности, обещает капиталисту прибыль Π при капиталовложении K , такую, что

$$r = \frac{\Pi}{K} > r_0$$

Добавочные вложения дают меньший процент

$$r' = \frac{\Delta\Pi}{\Delta K} < r.$$

Очевидно, что для капиталиста будет выгодно увеличить вложение до тех пор, пока значение r' не упадет до r_0 , что математически значит

$$\frac{d\Pi}{dK} = r_0$$

это равнозначно с

$$d(\Pi - r_0 K) = 0 \dots \dots \dots (8),$$

т.е. критерием экономически наивыгоднейшего в капиталистических условиях является максимум величины $\Pi - r_0 K$. Эта величина представляет собою прибыль, получаемую сверх среднего процента на капитал, и будет поэтому в дальнейшем называться просто „сверхприбылью“. В частном случае, когда валовая выручка проектируемого предприятия не зависит от размера вложенного капитала, так, напр., когда сбыт определенного количества продукции и ее продажная цена гарантированы договорами:

$$\Pi = D - P$$

где D — валовая выручка, т.е. заданная постоянная величина, не зависящая от технических параметров, а P — ежегодные расходы.

Подставляя это значение в формулу (8), находим:

$$d[D - (P + r_0 K)] = 0 \dots \dots \dots (9)$$

Но $P + r_0 K$ есть полная стоимость всей продукции, включая прибыль на капитал в размере среднего действующего процента; формула (9) показывает, что в этом случае критерий максимума сверхприбыли равнозначен с критерием минимума ежегодных расходов, включая оплату капитала, или с критерием минимума полной стоимости единицы продукции (так как было предположено, что количество продукции задано и от размера вложений не зависит).

Экономически наивыгоднейшее капиталовложение K_0 , т.е. капиталовложение, отвечающее максимуму сверхприбыли, лежит между K_2 и K_3 , если $r_0 < r_m$, где r_m — максимальная возможная рентабельность капитала, вложенного в данное предприятие. Действительно, при вложении K больших K_2 производная $\frac{d\Pi}{dK}$ убывает, так как при K_2 она равна r_m , а при

K_3 — она равна нулю. Если $\frac{d\Pi}{dK}$ непрерывная функция от K , она должна

в интервале $K_2 - K_3$ пройти через все значения между r_m и 0, а в том числе и через значение r_0 , так как

$$0 < r_0 < r_m.$$

Следовательно, уравнение $\frac{d\Pi}{dK} = r_0$ должно иметь по крайней мере один корень, лежащий в интервале $K_2 - K_3$, т.е.

$$K_2 < K_0 < K_3.$$

Если $\frac{d\Pi}{dK}$ в интервале $K_2 - K_3$ все время убывает, что обычно и имеет место, то наивыгоднейшее капиталовложение растет при понижении среднего облигационного процента.

Рассмотрим теперь влияние возможности привлечь в свое предприятие чужой капитал. Если стоимость чужого капитала равна r_3 , при чем

$$r_3 = r_0$$

состав вкладываемого в предприятие капитала не оказывает влияния на его технический тип.

Действительно, в этом случае дополнительное вложение средств, своих или чужих, сверх K_0 , невыгодно, так как эти дополнительные вложения дают меньший процент прибыли, нежели при вложении их в чужое предприятие. Если $r_m > r_3 > r_0$, что, обычно, имеет место, так как при займе необходимо оплатить расходы по финансированию, расширение вложений выгодно только до тех пор пока

$$\frac{d\Pi}{dK} = r_3,$$

так как дальнейшие вложения дают меньше, чем приходится платить за занятую часть капитала. В этом случае под „сверхприбылью“ необходимо понимать прибыль, извлекаемую из предприятия сверх оплаты всего капитала по тому проценту, который приходится платить за занятые деньги.¹

Таким образом, в свободных капиталистических условиях, при наличии неограниченного кредита, экономически наивыгоднейшим является такое предприятие, которое дает максимальную сверхприбыль на вложенный капитал. Сверхприбылью при этом следует считать:

а) в случае постройки на свои деньги — прибыль, получаемую сверх нормального облигационного процента, т.е. того процента, который приносят деньги при отдаче их в рост;

б) в случае постройки за счет частью своего и частью заемного капитала — прибыль, получаемую сверх того процента, который приходится платить за занятые деньги.

Случаи, когда капиталистическое государство регулирует рентабельность капитала, представляют некоторые особенности; однако, анализ этих случаев нам удобнее будет произвести на конкретном примере, допускающем графическое изображение интересующих нас величин.

§ 5. Различие между двумя задачами § 2: случаем ограниченной потребности и случаем ограниченной мощности источника энергии.

¹ Этот процент r_3 может быть и обыкновенно бывает несколько выше того процента, который гарантируют облигации, в расчете на их номинальную стоимость. Разница составляется из скидки с номинальной цены при продаже облигаций, из уплаты банку за размещение облигаций и т. д.

Назовем:

Q — количество энергии, продаваемое в месте потребления, в *квтч.*;
 a — продажную цену в коп. за *квтч.*;
 Q' — количество энергии, покупаемое на станции в *квтч.*;
 a' — покупную цену за 1 *квтч.*;
 K — капитал, вкладываемый в передачу;
 $\Delta Q = Q' - Q$ — потерю энергии при передаче;
 P' — расходы по эксплуатации предприятия;
 Π — чистую прибыль предприятия.

В первой задаче нам заданы: Q , a , a' ; величины Q' , K , P' и Π являются функциями от технических параметров задачи.

Во второй задаче заданы: Q' , a , a' и Q , K , P' и Π являются функциями параметров P_1 , P_2 , ... P_n .

Если r_0 есть норма прибыли (облигационный или заемный процент), то сверхприбыль выразится следующей очевидной формулой

$$C = \Pi - r_0 K = Qa - Q'a' - P' - r_0 K \dots \dots \dots (10)$$

В первой задаче Q есть заданное постоянное число; подставив вместо $Q' = Q + \Delta Q$, получим

$$C = Q(a - a') - [a'\Delta Q + P' + r_0 K] \dots \dots \dots (10_1)$$

Первый член этого выражения есть постоянное число; поэтому максимум сверхприбыли будет иметь место при тех значениях параметров, при которых величина

$$a'\Delta Q + P' + r_0 K \dots \dots \dots (11_1)$$

имеет минимум.

Во второй задаче Q' есть заданная постоянная; подставив в выражение для C вместо $Q = Q' - \Delta Q$, получим

$$C = Q'(a - a') - [a\Delta Q + P' + r_0 K].$$

Во второй задаче максимум сверхприбыли будет иметь место при тех значениях параметров, при которых величина

$$a\Delta Q + P' + r_0 K \dots \dots \dots (11_2)$$

имеет минимум.

Выражения (11₁) и (11₂) представляют сумму:

ежегодных эксплуатационных расходов P' ,
 оплаты капитала по средней норме $r_0 K$,

и стоимости потерь

$$a'\Delta Q \text{ и } a\Delta Q$$

В первой задаче потерянная энергия оценивается по покупной цене на шинах генераторной станции a' ; во второй — по продажной цене в центре потребления a .

Экономически наиболее выгодный тип предприятия будет, таким образом, для этих двух задач различным, при чем это различие будет тем больше, чем больше разность

$$a - a' \quad 1$$

¹ L. L. о е в в своей книге „Elektrikal Power Transmission“, New-York 1928 г., и в статье „Economy of the Choice of Line Voltage“, Journal of the (AJEE), August 1928 г., дает критерий второй задачи — оценка потерь по покупной стоимости (selling price), как общий критерий.

Из формулы (10) можно вывести несколько более компактную формулу критерия для этих двух задач. В первом случае член Qa есть постоянная величина, остальные члены представляют собой полную ежегодную стоимость Q *квтч.* в центре потребления. Эта стоимость, а, следовательно, и полная стоимость 1 *квтч.* в центре потребления должна быть наименьшей.

Во второй задаче второй член формулы (10), т.-е. уплата за всю купленную энергию, есть постоянная величина; остальные члены

$$Qa - P' - r_0 K$$

представляют собой предельную сумму, которую предприниматель может уплатить за Q' *квтч.* на станции. Если разделить эту сумму на постоянное число Q' , получим предельную выгодную для предпринимателя покупную цену 1 *квтч.* на генераторной станции. Передачу следует проектировать так, чтобы эта предельная цена была максимум.

5. Числовой пример первой задачи

До сих пор мы вели изложение в несколько абстрактных терминах, в расчете на то, что выводы, к которым мы пришли, могут иметь значение, выходящее за пределы конкретного случая передачи, разумеется при учете тех специфических особенностей, которые представляет собой каждая индивидуальная задача.

Однако, благодаря этому, мы принуждены были некоторые из наших положений, весьма простые по существу, облечь в форму достаточно абстрактных математических терминов. Поэтому мы приведем пример, в котором, путем ряда допущений и упрощений, постараемся остановить внимание читателя на основных величинах и зависимостях между ними. На этом же примере выяснится, какие из общих указаний имеют практически наибольшее влияние на выбор технических параметров.

Пример. Необходимо устроить передачу электроэнергии от генераторной станции, располагающей практически неограниченной мощностью в центр потребления, отстоящий от генераторной станции на расстоянии в 250 км. Максимум мощности на подстанции — 80.000 *квт* при коэффициенте мощности в 0,8. Ежегодный отпуск энергии с шин подстанции $Q = 400$ млн. *квтч.* Задан график потребления, из коего следует, что отношение средней квадратичной мощности ¹ к средней за год равно 1,05. Энергия отпускается с шин генераторной станции по цене $a' = 2$ коп. *квтч.* при напряжении в 6.000 вольт. Передаточное устройство обязано отпускать ежегодно 400 млн. *квтч.* по цене $a = 3$ коп. за *квтч.* при напряжении в 22.000 вольт, постоянном при всех возможных изменениях нагрузки от 0 до 80.000 *кв* и коэффициента мощности от 0,8 до 1.

¹ Средней квадратичной мощностью за период T называется величина

$$\sqrt{\frac{\int_0^T W_A^2 dT}{T}}$$

где W_A — мгновенное значение активной мощности и T — время.

Эта величина, как увидим далее, входит в выражение для потерянной в проводах энергии.

В целях непрерывности снабжения, для передачи должны быть устроены две параллельных цепи проводов на независимых рядах опор.

Задача состоит в выборе наивыгоднейших величин технических параметров. Критерием „наивыгоднейшего“ в частно-капиталистических условиях является, как было показано выше, максимум сверхприбыли. Для его математической формулировки необходимо задание процента на капитал, отвечающего нормальной прибыли. Примем 6% , что дает $r_0 = 0,06$.

Выбор технических параметров задачи.

Целью настоящей работы является, прежде всего, установление правильного критерия экономически наивыгоднейшего и выяснение влияния общих экономических условий на выбор технического типа сооружения. Для того, чтобы достичь эту цель, мы вынуждены упростить нашу задачу, исключив из рассмотрения ряд второстепенных технических параметров и сосредоточив свое внимание только на важнейших, определяющих тип сооружения, а не детали его конструкции.

В передаточном устройстве такими параметрами являются:

- 1) число параллельных цепей,
- 2) напряжение,
- 3) сечение или диаметр провода, его тип и материал.

Из этих параметров первый принадлежит к категории прерывных параметров (см. стр. 202). Выбор его облегчается самим заданием, которое требует в интересах непрерывности снабжения по крайней мере двух цепей. Варианты трех или большего числа цепей могут быть отброшены с самого начала, как менее выгодные. Этот вывод подсказывается интуицией специалиста, которая часто избавляет от излишних расчетов. Таким образом, мы приходим к выводу, что передача должна быть осуществлена помощью двух параллельных линий.

Вопрос о материале и конструкции провода решается не так просто. Можно высказать предположение, что в данном случае алюминиевый многожильный кабель нормальной скрутки окажется наиболее выгодным; это предположение нуждается, однако, в последующей проверке. Такая проверка должна быть произведена по тому же типу, по какому нам придется решать задачу для алюминиевого провода.

После этих допущений в задаче остаются все же два независимых параметра, именно сечение или диаметр провода d_s и напряжение передачи E . Эти два параметра связаны условием отсутствия так называемых „потерь на корону“. Это условие требует, чтобы

$$d_s \geq \frac{E}{C}, \dots \dots \dots (12)$$

где C — постоянная. Если d_s — диаметр провода — мы будем выражать в сантиметрах, а за единицу линейного напряжения примем 100.000 вольт, эта постоянная для условий данной задачи может быть принята равной

$$C = 0,81 \dots \dots \dots (12')$$

Для решения задачи необходимо выразить сверхприбыль C в функции от d_s и E и найти те их значения, которые обращают C в максимум. Если эти значения удовлетворяют условию (12), задача будет решена правильно; в противном случае необходимо исключить один из параметров, напр. d_s , помощью предельного равенства

$$d_s = \frac{E}{0,81} \dots \dots \dots (12'')$$

и искать вновь значение E , обращающее C в максимум.

Для современных нам условий, пользуясь методами, приведенными в вышеуказанной книге Е. Лоew'a, можно, ориентировочно, наметить такое выражение капитала, необходимого для сооружения передаточного устройства, в функции от d_s и E в миллионах рублей.

1. Понижающая подстанция на 100.000 квт — $2 + 0,25 E^2$.
2. Повышающая подстанция — $2 + 0,25 E^2 + \frac{1,26}{d_s^2} E^2 + \frac{0,1576}{d_s^2}$.
3. Линия передачи — $8 + 0,70 E^2 + 0,852 d_s^2$.
4. Синхронные компенсаторы — $1,2 - 0,40 E^2 + \frac{2,02}{d_s^2}$.

Весь капитал будет, следовательно, равен

$$K = 13,2 + 0,8 E^2 + 0,852 d_s^2 + 2,178 \frac{1}{d_s^2} + 1,26 \frac{1}{d_s^2 E^2} \text{ млн. р. } (13)$$

Сверхприбыль будет иметь такое выражение (форм. 9)

$$C = D - P - r_0 K$$

где D — общая выручка от продажи энергии

$$D = 3 k \times 400 \times 10^6 = 12 \text{ млн. руб.}$$

P — ежегодные расходы предприятия.

Они составятся из оплаты той части энергии, которая продается потом потребителю

$$2 k \times 400 \times 10^6 = 8 \text{ млн. руб.}$$

оплаты той части энергии, которая теряется в проводах

$$\frac{3,94}{\alpha_s^2 E^2} \text{ млн. руб.}$$

и прочих расходов (амортизация, ремонт, содержание персонала и т. д.), которые мы примем равными 4% от вложенного капитала

$$P = 8 + 0,04K + \frac{3,94}{\alpha_s^2 E^2}$$

Принимая $r_0 = 0,06$, получим, следовательно, такое выражение для сверхприбыли:

$$C = 4 - 0,1K - \frac{3,94}{\alpha_s^2 E^2} \text{ млн. руб. } \dots \dots \dots (14)$$

$$= 2,68 - 0,08 E^2 - 0,852 \alpha_s^2 - 0,2178 \frac{1}{\alpha_s^2} - 4,066 \frac{1}{\alpha_s^2 E^2}$$

Для нахождения наивыгоднейших значений E и d_s нужно взять частные производные от C по этим переменным, приравнять их 0 и определить из полученных двух уравнений E и d_s .

$$\frac{\partial C}{\partial E^2} = -0,08 + 4,066 \frac{1}{d_s^2 E^4} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial d_s^2} = -0,852 + 0,2178 \frac{1}{\alpha_s^4} + 4,066 \frac{1}{\alpha_s^2 E^2} = 0$$

¹ Стоимость повышающей подстанции увеличена вследствие необходимости трансформировать мощность, теряемую в линии передачи.

Полагая $E^2 = x$ и исключая d_s^2 , найдем уравнение

$$x^4 + 18,7x^3 - 1010 = 0$$

Это уравнение можно переписать так:

$$x^3 = \frac{54}{1 + \frac{x}{18,7}}$$

Путем последовательных приближений находим

$$x = 3,56$$

Откуда $E = \sqrt{x} = 1,885$ и $d_s = 2,001$

Следовательно

$$d_s = \frac{E}{0,942} < \frac{E}{0,81}$$

Неравенство (12), таким образом, неудовлетворено и задачу необходимо решать сначала, исключив из выражения для C параметр d_s по помощью равенства

$$d_s = \frac{E}{0,81}$$

Подставляя в выражение для C (14)

$$d_s^2 = \frac{E^2}{0,656}$$

получим

$$C = 2,68 - 0,21 E^2 - 0,143 \frac{1}{E^2} - 2,67 \frac{1}{E^4} \quad (14')$$

Берем производную по E^2 и приравниваем ее нулю:

$$\frac{\partial C}{\partial E^2} = -0,21 + 0,143 \frac{1}{E^4} + 5,34 \frac{1}{E^6} = 0$$

Полагая $E^2 = x$ находим

$$F(x) = x^3 - 0,681x - 25,4 = 0$$

При

$$\begin{aligned} x = 3,01 & F(x) = -0,20 \\ x = 3,02 & F(x) = +0,06 \end{aligned}$$

Отсюда $x \approx 3,018$

$$E = \sqrt{x} = 1,737 \text{ (174.000 вольт)}$$

$$d_s = \frac{1,737}{0,81} = 2,15 \text{ (21,5 мм)}$$

Чтобы закончить решение задачи нужно взять ближайшее нормированное напряжение; таких два — 150 кв и 200 кв. При 200 кв необходимо взять d_s по предельной формуле, гарантирующей отсутствие короны, т.-е.

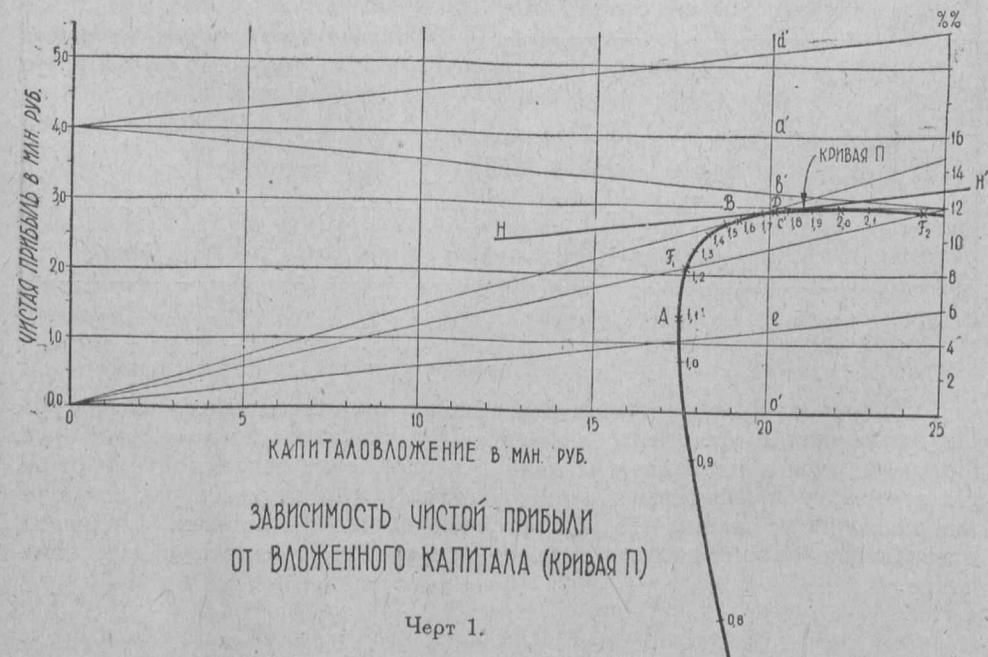
$$d_s = \frac{2}{0,81} = 2,47 \text{ см}$$

Так как сечение такого провода оказывается существенно больше наилучшего, целесообразно заменить алюминиевый провод в этом варианте проводом из алюминия со стальной сердцевиной. С этим вариантом нужно сравнить вариант напряжения в 150 кв, подставив это напряжение в общую формулу (14) для C и определив наилучшее значение d_s при $E = 1,5$. Это дает $d_s = 22,1$ мм. Чтобы закончить задачу нужно сравнить C для двух вариантов:

1. $E = 200$ кв. $d_s = 24,2$ мм (алюминий со стальной сердцевиной) и 2. $E = 150$ кв. $d_s = 22,95$ мм (это значение является ближайшим к цифре 22,1, нормированным диаметрам провода) и выбрать тот вариант, который дает большее значение для C .

6. Исследование примера, приведенного в § 5

В связи с темой этой работы, нас интересует выяснение того, как выбор критерия „экономически наилучшего“ влияет на выбор оборудования, т.-е. в данном случае на выбор величины E , определяющей технический тип сооружения. Для исследования этого вопроса мы воспользуемся графическим изображением чистой прибыли предприятия в функции от вложенного капитала.¹



¹ Идея такого изображения принадлежит доктору Мертенсу из Гейдельберга. Инж. К. Б. Шмидт применил это графическое изображение для выбора оптимального типа парового двигателя на электрической станции См. Dr. Karl Bernard Schmidt. „Oekonomik der Harmeenergien“. Berlin, 1911 г., стр. 161.

¹ E. Loew, в названной выше книге, считает, что это равенство справедливо вообще, т.-е., что изложенный нами сейчас метод разыскания наилучших величин d_s и E всегда приводит к таким их значениям, которые несовместимы с неравенством (12) и, на этом основании, с самого начала сводит задачу к определению одного параметра, именно d_s . Легко однако, показать, что возможны такие случаи, где предложенный нами метод разыскания наилучших величин двух параметров дает результаты совместимые с неравенством (12). В частности это имеет место при сравнительно коротких линиях, передающих значительную мощность.

Подставляя в формулах (13 и 14) $d_s^2 = \frac{E}{0,656}$ получим

Капитал, вложенный в предприятие:

$$K = 13,2 + 2,1 E^3 + 1,43 \frac{1}{E^2} + 0,826 \frac{1}{E^4} \text{ млн. руб.} \quad (15)$$

Валовая выручка:

$$D = 12 \text{ млн. руб.}$$

Ежегодный расход:

$$P = 8 + 0,04 K + 2,50 \frac{1}{E^4} \text{ млн. руб.}$$

Чистая прибыль предприятия:

$$\Pi = D - P = 4 - 0,04 K - 2,58 \frac{1}{E^4} \text{ млн. руб.} \quad (16)$$

В таблице 1 приведены значения K и Π для значений параметра E , изменяющегося в пределах от 0,8 до 2,1, через 0,1. Помощью этой таблицы, на диаграмме (фиг. 1) нанесены значения Π в функции от K .

Таблица 1

E	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
K	18,790	17,925	17,556	17,486	17,612	17,886	18,265	18,728
Π	-3,042	-0,647	+0,718	+1,534	+2,048	+2,380	+2,599	+2,742
E	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1		
K	19,264	19,874	20,530	21,239	22,009	22,826	млн. руб.	
Π	+2,836	+2,898	+2,933	+2,953	+2,958	+2,953	млн. руб.	

Значения K отложены на оси абсцисс в масштабе 1 см = 1 млн. руб. По оси ординат отложены значения Π в масштабе 2 см = 2 млн. руб. Получающаяся кривая дает наглядное изображение зависимости Π от K . На этой кривой нанесены значения параметра E , результатом исключения коего из уравнений (15) и (16) и является эта кривая. Ордината, отвечающая какому-нибудь значению вложенного капитала дает значение.

$$\Pi = 4 - 0,04 K - 2,58 \frac{1}{E^4}$$

Это равенство можно переписать так

$$4 = \Pi + 2,58 \frac{1}{E^4} + 0,04 K \dots \dots \dots (17)$$

Левая сторона этого равенства изображает постоянную величину разности между валовой выручкой и покупной стоимостью полезно отпускаемой энергии. Эта величина изображается отрезками ординат между осью абсцисс и линией aa' (для $K = 20$ млн. руб. ордината $o'a'$). Правая сторона равенства изображает сумму трех переменных величин:

- $o'c$ — чистой прибыли,
- $c'b'$ — стоимости потерь,
- $b'a'$ — эксплуатационных расходов.

С ростом вложенного капитала, $b'a'$ — растет, $c'b'$ — убывает $o'c = \Pi$ сначала растет, достигает максимума, а затем убывает. На кривой можно отметить три особенных точки:

1. Точка минимума K ; положение ее определяется условием

$$\frac{\partial K}{\partial E^2} = 0^1$$

Эта точка дает минимальный размер капиталовложения, необходимого для осуществления данного задания. На единицу капитала приходится максимум количества продукции, в натуральном выражении или в денежном выражении, но при оценке по твердой цене; точка эта может быть, потому, названа точкой максимальной эффективности капиталовложения. В данном случае работа на устройство этого типа не является убыточной, чистая прибыль составляет около 8% на вложенный капитал.

Выше мы указали на то, что принятое сейчас толкование термина эффективность капиталовложения является единственно возможным. Если мы будем, определяя эффективность, расценивать продукцию иначе напр., по себестоимости или по полной стоимости (т.е. по себестоимости плюс проценты на капитал) максимум такого рода эффективности мы получим там, где отношение отрезка ординаты между прямой ad' и кривой Π к абсциссе будет наибольшим. Действительно, этот отрезок ординаты равен

$$d'a' + a'b' + b'c = 0,06K + 0,04K + 2,58 \frac{1}{E^4}$$

т.е. полной стоимости чистой продукции. Отношение это при движении по кривой Π вниз будет все время расти, переходя через ось абсцисс, т.е. уходя в область типов оборудования, приводящих к убыточному балансу предприятия.

Второй особенной точкой нашей характеристики является точка наибольшей рентабельности капитала (точка B). В этой точке выражение $\frac{\Pi}{K}$ должно иметь максимум. Для этого необходимо, чтобы

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{\Pi}{K} \right) = \frac{d\Pi}{K} - \frac{\Pi dK}{K^2} = 0 \quad \text{Откуда} \quad \frac{d\Pi}{dK} = \frac{\Pi}{K}$$

¹ Это условие приводит к уравнению.
 $E^6 - 0,681 E^2 - 0,787 = 0$

Полагая $E^2 = x$
 $F(x) = x^3 - 0,681x - 0,787 = 0$
при $x = 1,16$ $F(x) = -0,016$
 $x = 1,17$ $F(x) = +0,017$

отсюда $x \approx 1,165$, $E = \sqrt{x} = 1,079$, $K = 17,482$, $\Pi = 13,987$, $r = \frac{\Pi}{K} = 0,79$

Последнее равенство указывает на то, что точка B есть точка касания прямой, проведенной из начала координат, к кривой Π .

Решая уравнение $\frac{d\Pi}{dK} = \frac{\Pi}{K}$, найдем

$$E = 1,58, K = 19,150, \Pi = 2,82, \frac{\Pi}{K} = 0,1473.$$

При выборе оборудования этого типа предприятие дает наибольшую возможную рентабельность капитала. Дальнейшие вложения дают убыточную рентабельность, однако, как было показано выше, они все же выгодны, пока рентабельность добавочных вложений больше, чем тот доход, который капитал приносит при вложении его в чужое предприятие.

Третьей характерной точкой кривой Π является точка максимума чистой прибыли (точка C). Ее положение определяется из уравнения

$$\frac{d\Pi}{dE} = 0, \text{ решение которого дает} \\ E = 2,005, K = 22,050, \Pi = 2,86$$

В точке C рентабельность добавочных вложений $= 0$.

Выше мы нашли, что в капиталистических условиях наивыгоднейшим вложением будет то, при котором сверхприбыль

$$C = \Pi - r_0 K$$

достигает максимума. Принимая $r_0 = 0,06$ и проведя линию OC на диаграмме так, что ее ордината $= 0,06$ от абсциссы, найдем, что сверхприбыль C изобразится отрезком ординаты $C'C$ между кривой Π и этой прямой. Наибольшей величины этот отрезок достигнет в той точке кривой, где прямая, параллельная OC будет касаться кривой Π . Эта точка (точка D) была определена выше.

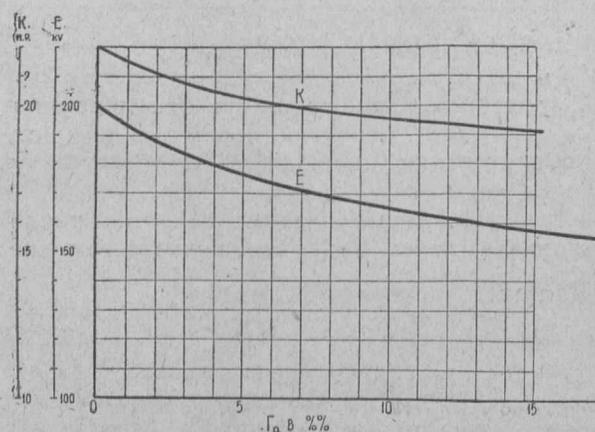
Для нее $E = 1,737,$
 $K = 20,080, \Pi = 2,914,$

$$\frac{\Pi}{K} = 0,1452$$

Отношение сверхприбыли к капиталу составляет

$$\frac{C}{K} = \frac{\Pi}{K} - r_0 = 0,0852, \text{ или} \\ \text{около } 8,5\%.$$

ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ E и КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯ K ОТ СРЕДНЕГО ПРОЦЕНТА ПРИБЫЛИ НА КАПИТАЛ r_0 .



Черт. 2.

Положение точки D зависит от величины процента, который приносит капитал, помещенный в чужое предприятие (r_0). При $r_0 = 0$ наивыгоднейшим типом оборудования будет тип, определяемый точкой C , т.-е. точкой максимума Π (в этом случае $C = \Pi$). При увеличении r_0 точка D будет перемещаться влево по кривой, при чем, при $r_0 = 14,75,$

совпадает с точкой D , точкой максимальной рентабельности. Если $r_0 > 14,75\%$, данное предприятие вообще не выгодно строить, так как капитал, вложенный в чужое предприятие, принесет больший доход. Зависимость наивыгоднейших значений параметра E и капиталовложения K от действующей в стране рентабельности капитала r_0 дана на чертеже 2.

7. Капиталистическое государство, в котором прибыль предпринимателя ограничивается законом

Здесь следует различать два случая:

1) когда, при законодательном ограничении процента на капитал, продажная цена продукции не регулируется;

2) когда законом или договором (концессия) устанавливается, что цена продукции не может превышать себестоимость плюс легальный процент на капитал.

В первом из этих случаев, если отпускная цена продукции и сбыт продукции гарантированы соглашениями предпринимателя с потребителями и у первого нет каких-либо особых причин к снижению отпускной цены, и, если, наконец, помещение капитала по легальной норме прибыли является выгодным, он может быть заинтересован в том, чтобы увеличить вложение до предела, определяемого точкой F_2 — точкой пересечения кривой Π с прямой $F_1 F_2$, проведенной из начала координат так, что ее ординаты составляют 0,12 от соответственных абсцисс.¹ Действительно, на всем участке кривой от F_1 до F_2 добавочные вложения капитала дают предпринимателю легальную норму прибыли (избыток отчуждается государством) и выбор типа предприятия определяется, в этих пределах, наличностью капитала, а не экономической характеристикой предприятия.

Контроль экономического начала над развитием техники практически исчезает. Экономически оправданным является повышение строения капитала до таких пределов, когда добавочные вложения увеличивают себестоимость продукции и уменьшают общую чистую прибыль, т.-е. дают отрицательный экономический эффект.

Участие заемного капитала, в том единственном вероятном случае, когда заемный процент ниже легальной нормы прибыли, не меняет существа дела, хотя пределы выгодного для капиталиста типа предприятия расширяются еще дальше.²

Нужно отметить, что подобное положение создается только тогда, когда сбыт гарантирован и продажная цена твердо установлена. Если этих условий нет налицо или можно ожидать в будущем неблагоприятной конъюнктуры, приходится рассчитывать на снижение выручки. В случае такого снижения кривая Π будет поступательно перемещаться вниз;

¹ Предполагается, что закон устанавливает 120/0, как предельную норму чистой прибыли.

² На то, что такой подход к выбору оборудования действительно встречается в современных С.-А.С.Ш. было мне указано проф. И. Г. Александровым, посетившим недавно эту страну и осмотревшим там ряд крупных новых установок.

Косвенным указанием на это обстоятельство является статистический обзор новых электростанций в С.-А.С.Ш. сделанный в № 17 (Vol. 92) журнала *Electricol World* от 27 окт., 1928 г. Автор этой статьи, сопоставив характерные показатели для ряда новых станций (стоимость 1 установленного квт, стоимость 1 квтч. и ее элементы и т. д.) приходит к тому, неожиданному для него самому, выводу, что отклонения этих данных от средней величины для отдельных установок превышают $\pm 50\%$, несмотря на то, что для сравнения были взяты более или менее однотипные установки.

Займствование технических образцов из практики такой страны, как С.-А.С.Ш. где действует закон об ограничении прибыли, должно производиться поэтому с большой осторожностью.

линия же F_1F_2 останется неизменной; вследствие этого точки F_1 и F_2 будут сближаться и сольются в конце-концов в одной точке F , в которой прямая F_1F_2 будет касаться кривой Π .

В том случае, если, вследствие снижения выручки, максимальная рентабельность предприятия может спуститься до или ниже легального процента, наивыгоднейший тип предприятия определяется так же, как в том случае, когда ограничения нет вовсе, т.е. по максимуму прибыли, получаемой сверх нормального процента на капитал. Если этот процент равен b , осторожной политикой, в случае возможного снижения выручки, будет капиталовложение, отвечающее не точке F_2 , а точке D , в которой прямая HH' , параллельная прямой oe ($\Pi = 0,06 K$), касается кривой Π .

Во втором случае, ограничение нормы прибыли сопровождается принудительным ограничением продажной цены, суммой себестоимости и предельного процента на капитал (концессии на предприятия общественного пользования). Этот случай и является как раз тем случаем, который мы рассмотрели последним, предполагая, что капиталист сам заинтересован в таком снижении продажной цены. Характерной особенностью этого случая является то, что выбор оборудования должен в этом случае контролироваться органом, дающим концессию, так как предельная продажная цена должна быть наименьшей возможной, в чем заинтересован не концессионер, а орган предоставляющий концессию.

8. Случай планового государственного хозяйства

В условиях планового государственного хозяйства, под „покупной ценой“, мы должны понимать полную стоимость энергии на станции, т.е. сумму ее себестоимости и обязательного накопления на капитал.

Под себестоимостью мы понимаем сумму ежегодных расходов по производству, включая и расход по возобновлению изношенного имущества, иначе стоимость простого воспроизводства. В себестоимость продукции, кроме того, должны войти государственные налоги, взимание коих производится с целью покрытия общегосударственных расходов, необходимых для организации государственного хозяйства в целом. В разобранном выше примере налоги были предположены пропорциональными вложенному капиталу и входили в 4% ежегодных расходов.

Однако, полная „общественная“ стоимость продукции не может быть равна этой себестоимости. Если бы мы реализовали продукцию по себестоимости, государственное хозяйство в целом могло бы замкнуть свой годовой баланс; однако, годовой хозяйственный процесс привел бы в итоге на конец года лишь к исходному положению; иначе говоря, мы имели бы случай простого воспроизводства капитала государственного хозяйства. Этого, однако, недостаточно, для существования замкнутого социалистического общества, которое не может жить, не развиваясь. Для того, чтобы обеспечить возможность такого развития, необходимо заранее предусмотреть потребность в средствах для расширения капитала народного хозяйства и накопить эти средства. Размер накопления должен быть установлен планом народного хозяйства в общей сумме по всему хозяйству в целом. Деля эту сумму на действующий капитал, мы получаем „действующую норму накопления“ на капитал. Если стоимость продукции данного предприятия будет равна его себестоимости плюс обязательное накопление на капитал и, если продукция всех предприятий государственного хозяйства будет реализована по таким образом рассчитанной полной стоимости, государственное хозяйство в целом покроет все свои издержки и накопит необходимые средства для дальнейшего расширения, согласно принятому плану.

В рассмотренном выше примере, таким образом, может быть установлена только покупная стоимости энергии — a' . С этой стоимостью необходимо считаться при выборе оборудования. Отпускная цена может при этом от нее отличаться в результате разных обстоятельств. Однако, эти обстоятельства не должны влиять на выбор экономически наивыгоднейшего типа оборудования; при решении этой задачи необходимо считаться только с полной стоимостью, как она была сейчас определена. Стоимость энергии в центре потребления — a — не может быть установлена таким способом до тех пор, пока не выбран технический тип передачи, ибо себестоимость транспорта энергии зависит от этого выбора.

Для установления критерия „экономически наивыгоднейшего“, необходимо прежде всего установить хозяйственное плановое задание, для выполнения коего сооружается новое предприятие.

В условиях планового государственного хозяйства наивыгоднейшим будет такое предприятие, которое позволяет осуществить поставленное планом народного хозяйства задание при минимуме необходимых для этого трудовых затрат. Мерилом таких затрат является полная стоимость, как мы ее сейчас определили.

Положим, что заданием плана является снабжение некоторого центра электрической энергией в количестве Q *квтч* в год.

Для осуществления этого задания можно:

В а р и а н т А: использовать имеющийся в расстоянии, скажем, 250 км от города источник дешевой энергии, путем сооружения там новой или расширения существующей электрической станции и передачи энергии в виде электричества в город. При этом могут встретиться два случая, разобранные в § 5 применительно к частно-хозяйственным условиям. Разберем сначала первый случай, т.е. предположим, что естественные энергетические ресурсы на месте сооружения станции таковы, что допускают сооружение станции, мощностью покрыть потребность города в энергии полностью. Пусть R' — количество энергии, которое может дать станция, и ΔR — потери при передаче; тогда в город будет передано R *квтч*; мощность станции должна быть выбрана так, чтобы $R = Q$.

Допустим, что полная стоимость единицы энергии на станции есть a' ; полная стоимость всей энергии, необходимой по плану в городе, будет

$$S_A = P + r_0 K \dots \dots \dots (18)$$

где P — ежегодные расходы по передаче, включая покупку энергии на станции, по полной ее стоимости;

K — капиталовложение в передачу;

r_0 — норма накопления.

В а р и а н т В: для снабжения города в нем самом сооружается станция на привозном топливе или расширяется существующая там станция таким образом, чтобы ее мощность была достаточна для отпуска ежегодно Q *квтч*., необходимых по плану для удовлетворения потребителей. Пусть при этом полная стоимость *квтч*. на шинах станции составляет b *коп.*, тогда полная стоимость всей энергии, необходимой городу, будет.

$$S_B = b \cdot Q \dots \dots \dots (19)$$

Первой задачей при решении вопроса о рациональном электроснабжении будет выбор варианта.

Ясно, что экономически более выгодным будет тот вариант, при котором полная ежегодная стоимость снабжения в заданном плане раз- мере будет меньше.

Одна из сравниваемых величин S_B нам известна. Вторая S_A включает в себя расходы по передаче и, следовательно, зависит от выбора ее технических параметров.

Допустим, что, приняв обычные для данного типа передач технические данные, мы получим

$$S_A < S_B.$$

Тогда вопрос выбора вариантов решается сразу в пользу передачи. Может быть, однако, и другой случай; предварительный расчет дает, что $S_A > S_B$; однако, после выбора экономически наивыгоднейших значений параметров передачи, результат может быть обратный. В обоих этих случаях вторым этапом решения задачи будет выбор экономически наивыгоднейших параметров передачи. Прежде чем перейти к решению этой задачи допустим опять, что предварительный расчет дал

$$S_A < S_B.$$

В этом случае, выбирая вариант A , мы получаем в результате уменьшение ежегодной стоимости электроснабжения на величину

$$\Delta = C_B - C_A \dots \dots \dots (20)$$

Эта величина составит экономию народного хозяйства, обусловленную выбором варианта передачи, или ее народнохозяйственный эффект по отношению к варианту B .

Переходим теперь к выбору наивыгоднейших значений технических параметров передачи. Можно принять, что наивыгоднейшими будут такие значения этих параметров, которые дают наименьшую величину полной стоимости всей энергии, необходимой, по плану, данному городу. Для нахождения этих значений нужно выразить величину S_A в функции от этих параметров и найти те их значения, которые обращают ее в минимум. Из равенства (20) следует, что эти значения обратят одновременно в максимум величину Δ , т.е. относительный народнохозяйственный эффект передачи. Действительно, сумма $S_A + \Delta = S_B$ от технических параметров передаточного устройства не зависит и остается, поэтому, постоянной при их изменениях.

Раскроем выражения для S_A и Δ .

$$S_A = P + r_0 K; \Delta = S_B - (P + r_0 K) \dots \dots \dots (20 \text{ и } 21)$$

Сравнивая второе из этих выражений с выражением для сверхприбыли (9), находим, что они формально тождественны.

Для частно-капиталистических условий критерием экономически наивыгоднейшим был максимум сверхприбыли; в условиях планового хозяйства таким критерием является максимум народнохозяйственного эффекта. При этом, однако, экономический смысл входящих в эти выражения величин существенно различен. Первый член выражения сверхприбыли был равен ежегодной выручке от продажи энергии в городе по договорной цене и представлял, следовательно, реальное поступление денежных средств в кассу предприятия; в выражении относительного народнохозяйственного эффекта аналогичный член изображает полную стоимость энергии по конкурирующему варианту.

$$S_B = Qb.$$

Если продажная цена энергии в варианте A будет назначена равной в коп. за квтч., вся сумма S_B поступит в кассу передаточного предприятия. Накопление на капитал, вложенный в передачу, при этом, однако, превысит установленную планом народного хозяйства норму. Если, на-

оборот, отпускная цена энергии будет назначена по ее полной стоимости, касса передаточного предприятия не получит никакой сверхприбыли, зато потребители энергии сократят свои издержки на часть выручки, потерянную передачей. Если цены продукции потребителей были установлены в предположении стоимости энергии в коп. за квтч., потерянная передачей сверхприбыль будет реализована в кассах потребителей, т.е. вернется в общую кассу народного хозяйства по другому каналу, поскольку предполагается, что потребители энергии являются элементами единого государственного хозяйства. Безразлично, в какой стадии, т.е. в кассе ли передачи, в кассах ли потребителей энергии, или в кассах потребителей продукции этих потребителей и т.д., произойдет процесс этой реализации; в конечном счете эта сверхприбыль будет реализована полностью в кассе государственного хозяйства, если только все звенья этой хозяйственной цепи являются его элементами. Если это снижение стоимости распространится до предметов широкого потребления, тогда эта сверхприбыль может быть реализована в государственной кассе, путем соответственного снижения расходов государства на зарплату. В том случае, когда на ряду с обобщественным сектором имеется и частно-хозяйственный сектор, сверхприбыль Δ реализуется частью в обобщественном секторе, частью в частнохозяйственном. Путем соответствующей политики цен можно добиться полной ее реализации в секторе обобщественном. С точки зрения народного хозяйства в целом величина Δ есть реальная экономия в затратах, необходимых для получения данного материального эффекта, почему и может быть названа народнохозяйственным эффектом.

Второй член формулы для Δ изображает ежегодные расходы предприятия. Этот член равен

$$P = a' R' + r_1 K,$$

т.е. полной стоимости энергии забираемой от станции — $a' R'$ плюс прочие расходы, которые мы принимаем, как и выше, пропорциональными капиталовложению — $r_1 K$. В частнохозяйственных условиях величина a' обозначала договоренную цену энергии на станции; в условиях планового хозяйства под a' мы должны понимать полную стоимость единицы энергии, как она была выше определена.

Третий член формулы (21) для Δ равен $r_0 K$.

В частнохозяйственных условиях величина r_0 изображает среднюю норму прибыли на капитал; в условиях планового хозяйства — норму накопления, необходимую для своевременного выполнения многолетнего плана народного хозяйства. Формальное тождество выражения для сверхприбыли и народнохозяйственного эффекта дает основание при решении задачи о выборе экономически наивыгоднейших параметров передаточного устройства руководствоваться всеми теми математическими указаниями, которые были даны выше (§ 3).

Отметим, что при решении первой из двух задач § 5, т.е. при выборе параметров передаточного устройства тогда, когда заданная потребность города может быть полностью покрыта от той станции, которая дает энергию для передачи, экономически наивыгоднейшие значения параметров не зависят от величины b , которая в капиталистических условиях изображала договоренную цену единицы энергии в городе, а в условиях планового государственного хозяйства изображает полную стоимость единицы энергии в конкурирующем варианте. Действительно, при нахождении максимума сверхприбыли или народнохозяйственного эффекта.

$$S_B - (P + r_0 K)$$

нужно брать производные по техническим параметрам передачи, от которых величина $S_B = Qb$ не зависит. В случае применения критерия минимума полной стоимости всей необходимой городу энергии, это положение очевидно, так как эта полная стоимость

$$S_A = P + r_0 K$$

от стоимости энергии в конкурирующем варианте B явно не зависит.

Отсюда следует, что выбор наивыгоднейших значений параметров передачи может быть произведен независимо от установления стоимости S_B .

Подставив эти значения параметров в выражение для S_A , получим наименьшее значение этой величины; это значение и следует сравнивать с величиной S_B для выбора наивыгоднейшего из двух вариантов.

Понятно, что при этом сравнении и величина S_B должна быть расчитана таким же порядком.

Рассмотрим теперь вторую задачу § 5 в условиях планового государственного хозяйства. Теперь продукция отдаленной станции, которую предполагается использовать для электроснабжения данного города, ограничена естественными условиями и равна R' .

Если ΔR — потеря при передаче, то в город может быть передано только

$$R = R' - \Delta R$$

квтч. Во второй задаче § 5 предполагалось, что

$$R < Q$$

В условиях планового хозяйства задача состоит в том, чтобы в город подать Q *квтч.* в год; если передача может дать только R , при чем $R < Q$, то остаток $Q - R$ должен быть покрыт иным способом, в частности способом постройки новой станции в городе (или расширением существующих там) на мощность достаточную для отдачи $Q - R$ *квтч.* в год при предположенном графике потребления.

Вариант B теперь получает не гипотетический, а реальный характер; станция в городе должна быть выстроена и должна давать часть энергии, необходимой городу. Предположим, что полная стоимость единицы энергии удаленной станции в городе — a — существенно ниже стоимости единицы энергии местной станции — b — и посмотрим, как надлежит выбирать в этом случае технические параметры передачи?

Полная стоимость всей энергии, необходимой городу будет теперь

$$S_A = aR + b(Q - R), \dots \dots \dots (22)$$

а экономия в народном хозяйстве, достигаемая устройством передачи, по сравнению с вариантом B , т.е. вариантом полного снабжения города от местной станции, будет

$$\Delta = S_B - S_A = bQ - aR - bQ + bR = R(b - a).$$

Очевидно, что параметры передаточного устройства надлежит выбирать так, чтобы величина S_A была наименьшей или так, чтобы величина Δ была наибольшей; это одно и то же, так как

$$S_A + \Delta = S_B = Qb,$$

т.е. сумма этих двух величин от технических параметров передаточного устройства не зависит.

Замечая, что

$$aR = a'R' + r_1''K + r_0K \\ R' = R + \Delta R,$$

приводим выражения S_A и Δ к виду:

$$S_A = a'R' + (r_1 + r_0)K + bQ - b(R - \Delta R) = bQ - (b - a')R' + b\Delta R + (r_1 + r_0)K \dots \dots \dots (22')$$

$$\Delta = (b - a')R' - b\Delta R - (r_1 + r_0)K \dots \dots \dots (23')$$

Здесь величины

$$a', b', R' \text{ и } Q$$

от параметров передачи не зависят; условие максимума Δ и минимума S_A будут поэтому тождественны; именно, для этого необходимо, чтобы

$$bd\Delta R + (r_1 + r_0)dK = 0.$$

при малом изменении любого из независимых параметров передачи.

Так как b и $(r_1 + r_0)$ от параметров передачи не зависят, это выражение можно написать так

$$db\Delta R + d(r_1 + r_0)K = 0 \dots \dots \dots (24)$$

Найдем аналогичную формулировку условия, определяющего наивыгоднейшие значения параметров в первой задаче. Формулы 20 и 21 дают следующее выражение для полной стоимости электрической энергии и народнохозяйственного эффекта в этом случае:

$$S_A = P + r_0K \\ \Delta = S_B - (P + r_0K)$$

Подставляя сюда

$$P = R'a' + r_1K \\ R' = Q + \Delta R \\ S_B = bQ,$$

найдем:

$$S_A = a'Q + a'\Delta R + (r_1 + r_0)K \\ \Delta = (b - a')Q - a'\Delta R - (r_1 + r_0)K$$

Здесь опять b , a' и Q суть заданные постоянные; поэтому общее условие максимума Δ и минимума S_A будет:

$$da'\Delta R + d(r_1 + r_0)K = 0 \dots \dots \dots (25)$$

при малых изменениях любого из независимых параметров передачи.

Найденные выражения для определения наивыгоднейших значений параметров можно формулировать так. Параметры передаточного устройства следует выбирать таким образом, чтобы при малом изменении каждого из них, совместимом с условиями (1), сумма прироста стоимости потерь и прироста ежегодной стоимости капитала исчезала.

Под ежегодной стоимостью капитала нужно понимать все эксплуатационные расходы, зависящие от капитала и нормальное на него накопление.

Энергию, потерянную в проводах, следует расценивать: 1) в том случае, когда все заданное планом количество энергии может быть

получено от передачи — по полной стоимости ее на генераторной станции (первая задача); 2) в том случае, когда передача дает лишь часть необходимой городу энергии — по полной стоимости единицы энергии, которая поставляется местными станциями в дополнение к энергии, даваемой передачей (вторая задача).

Приведенную формулировку можно назвать обобщенным „правилом Кельвина“ для условий планового государственного хозяйства.¹

Необходимо далее отметить, что при решении второй задачи следует искать минимума полной стоимости всей энергии, необходимой данному городу согласно плану, но не минимум стоимости единицы энергии, переданной от удаленной станции, и не минимум стоимости всей энергии, переданной в город от этой станции. Действительно, полная стоимость переданной энергии есть

$$R'a' + (r_1 + r_0)K,$$

так как R' , a' , r_1 , r_0 от параметров передачи не зависят, минимум этой величины совпадает с минимумом капиталовложения. Так как во второй задаче задано только количество энергии, отпускаемой со станции, но не задано количество переданной энергии, — минимум капиталовложения будет 0.

Критерий минимума стоимости единицы переданной энергии также не приводит к правильному результату. Действительно, для этого необходимо, чтобы полная стоимость единицы переданной энергии

$$S = \frac{R'a' + (r_1 + r_0)K}{R' - \Delta R}$$

была минимум.

Так как R' и a' — не зависят от технических параметров, производная от этой величины параметру P исчезает при

$$S \frac{d\Delta R}{dp} + (r_1 + r_0) \frac{dK}{dp} = 0.$$

Оба условия, т.е.

$$\begin{aligned} \frac{dK}{dp} &= 0, \\ \frac{dK}{dp} &= -\frac{S}{r_1 + r_0} \frac{d\Delta R}{dp} \end{aligned}$$

отличаются от

$$\frac{dK}{dp} = -\frac{b}{r_1 + r_0} \frac{d\Delta R}{dp},$$

каковое является действительным условием минимума полной стоимости всей энергии, необходимой городу, согласно плану.

¹ В вышецитированных работах Е. Loew'a, во многих отношениях весьма ценных, правило Кельвина применено в ошибочной формулировке. Именно, уравнение для определения наивыгоднейшего диаметра провода получено приравнением полной стоимости потерь и ежегодной стоимости той части капитала, которая зависит от диаметра провода.

В результате в формулу (2) (Journal of the A. J. E. E. August 1928 г. р. 562), дающую наивыгоднейший диаметр провода, а, следовательно, и наивыгоднейшее напряжение, не входит множитель 2 под корнем 6 степени, вследствие чего исчисленная величина наивыгоднейшего напряжения будет в $\sqrt[6]{2} = 1,12$ раза больше, чем вычислено у Loew'a.