

Условия получения энергии для производства газетной бумаги в СССР.

Производство газетной бумаги—обязательно массовое производство: к газетной бумаге, именно, и относятся все мировые рекорды выработки на 1 бумагоделательную машину в 100 и более тонн, т.-е. свыше 6000 пудов в сутки.

Затем характерным моментом в производстве газетной бумаги является исключительно большое потребление механической древесной массы. Нормальная композиция, как известно, колеблется в пределах 75—80% древесной массы и только 25—20% целлюлозы. Древесная масса должна быть своя, т.-е. получена в сыром виде на месте потребления, ибо масса высушенная, не только требует расходов по сушке, но будучи вновь размочена, уже не имеет точно тех-же свойств, что до сушки.

Производство древесной массы требует исключительно большого количества механической энергии для растирания дерева. В обычных условиях, для производства 1 пуда древесной массы потребляется 20—22 киловатт часа энергии или 1,1—1,25 лош. сил сут.

При условии выработки древесной массы для газетных бумаг, т. е. массы более крупной и волокнистой, расход энергии может понизиться до 17—18 киловаттчасов. или около 1,0 лош. сил сут. на пуд.

Новейшие дефибры Voith'a непрерывного действия, так называемые „stetige Schleifer“, позволяют понизить расход энергии на 10—15%, но и в этом случае удельный расход энергии остается очень высоким. Таким образом, вопрос о производстве газетной бумаги сводится к возможности иметь дешевую древесную массу; производство же древесной массы экономически возможно только при условии получения больших количеств очень дешевой энергии.

Уже и до войны количество энергии, которым располагали все отрасли промышленности в России, было весьма скромно, и энергия была очень дорога.

Источником наиболее дешевой энергии, уже исстари, считалась энергия гидравлическая.

Однако она была использована в России чрезвычайно слабо: если не считать мелких установок кустарного характера (мельницы), то имевшиеся гидравлические установки, сравнительно крупные, едва ли исчислялись более чем несколькими десятками.

Много гидравлической энергии использовалось в Германии, очень много в Скандинавии и колоссальное количество в Канаде и Соединенных Штатах.

Производство древесной массы и газетной бумаги, базируясь в большинстве случаев на использовании гидравлической энергии, по странам возрастало в том же приблизительно масштабе и параллельно с используемой водяной энергией.

Однако и в этом случае, калькуляции производства газетной бумаги, например, по Канаде и Соединенным Штатам, показывают, что стоимость древесной массы играет очень значительную роль в стоимости бумаги: ¹⁾

Стоимость производства газетной бумаги:	Соединен. Штаты.	Канада.
	1914 год.	1914 год.
Число фабрик	35	9
Производительность в тоннах	1.043.530	347.308
Средн. производ. на 1 фабрику	29.800	38.600
Стоимость в долларах на американскую тонну:		
Материалы:		
Сульфит-целлюлоза	7.64	7.68
Древесная масса	12.03	9.06
Проклейка и клеон	0.61	0.70
Разные материалы	0.65	0.45
Всего	20.93	17.89
Заработная плата	3.51	2.60
Сукна, сетки, ремни, смазка	1.29	1.49
Ремонт	1.34	1.04
Топливо	2.03	2.13
Сила и рента за воду	0.27	0.36
Разное	0.98	0.63
Всего	9.42	9.25
Налоги и страхование	0.50	0.26
Административные	0.57	0.76
Всего	31.42	28.16
Скидки	1.69	1.72
Итого	33.11	29.88

¹⁾ Witham. „Modern Pulp and Paper Making“.

В процентном отношении картина становится еще более рельефной.

Производство газетной бумаги.	Канада и Соедин. Штаты.
	1914 год.
Материалы:	в % от себестоимости.
Сульфит-целлюлоза	23.69
Древесная масса	34.97
Проклейка и каолин	1.98
Разные материалы	1.85
Всего	62.49
Заработная плата	10.17
Сукна, сетки, ремни, смазка	4.15
Ремонты	3.91
Топливо	6.36
Сила и рента за воду	0.90
Разное	3.55
Всего	29.04
Налоги и страхование	1.36
Общие и административные расходы	1.92
Скидки	5.19
Итого	100%

Как видим, стоимость древесной массы составляет 35% от себестоимости бумаги.

Соответствующие цифры для Норвегии дают почти те же соотношения.

Стоимость различных статей по производству газетной бумаги в процентах от себестоимости для Норвегии ¹⁾ в 1920 году была следующая:

¹⁾ „Wochenblatt für Papierfabrikation“, 1921 № 19.

Название статей.	% %
Сульфит-целлюлоза	19,0
Древесная масса	32,2
Разные материалы	10,0
Топливо	17,9
Сила	2,8
Содержание и ремонт	1,5
Заработная плата	7,5
Страхование, налоги, правление	2,7
Амортизация строений (3%)	0,5
Амортизация машин (10%)	2,4
% % на капитал	3,5
Всего	100%

Для русских условий стоимость древесной массы оказывалась еще более значительной и доходила до 40—45% стоимости бумаги.

Если обратиться к рассмотрению статей, составляющих себестоимость производства древесной массы, по тем же странам, то получаем следующие цифры:

Производство древесной массы.	Соедин. Шта- ты.	Канада.	Средний % по Канаде и Соедин. Шта- там.
	1914 год.	1914 год.	
Число заводов	50	10	
Производительн. в тоннах	770.017	328.460	
В среднем на 1 завод	15.400	32.850	
Стоимость в долларах на тонну:			
Балансы	9.32	7.30	64.87
Заработная плата	2.36	1.71	16.11
Камни, сукна, сетки, ремни, смазка	0.35	0.24	2.35
Ремонты	0.87	0.48	5.62
Сила и рента за воду	0.58	0.53	4.21
Разные материалы	0.31	0.29	2.25
Всего	4.47	3.25	30.54
Налоги и страхование	0.28	0.13	1.78
Административные расходы	0.39	0.37	2.81
Стоимость 1 тонны	14.46	11.55	100%

Соответствующие цифры по производству сырой древесной массы в Норвегии дают подобную же картину:

Название статей.	% ‰
Балансы	47.5
Разные материалы	4.7
Содержание и ремонт	2.5
Заработная плата	16.2
Сила	12.9
Прочие расходы	6.1
Амортизация	3.3
% ‰ на капитал	6.8
Всего	100%

Особенно обращает на себя внимание статья „сила“: по Канаде и Соединенным Штатам она совершенно ничтожна (4,21‰); для Норвегии она также весьма незначительна (12,9‰).

Если взять для сравнения калькуляции производства древесной массы для русских условий, даже для наиболее современной по оборудованию Окуловской фабрики, работающей на паровой энергии, и по Камокскому заводу, работающему на водяной энергии, то картина резко меняется:

Название статей	Окуловка		Камока	
	Паровая энергия. 1914 год.		Гидравлич. энергия. 1914 год.	
	Коп.	% ‰	Коп.	% ‰
Балансы	22.14	28.00	19.60	21.47
Заработная плата	6.36	8.05	18.15	19.87
Одежда машин	2.89	3.65	3.31	3.62
Разные материалы	1.01	1.26	1.54	1.68
Энергия	33.17	42.00	18.61	20.39
Общие расходы	12.73	16.24	17.45	19.12
Ремонт машин	0.63	0.80	2.19	2.37
„ зданий	0.72	—	5.96	6.53
Подвозка древ. массы на фабрику	—	—	4.52	4.95
Всего	79.5	100%	91.33	100%

Сопоставляя расходы по основным статьям, получаем следующие соотношения, очень рельефно характеризующие условия работы в России и за границей:

% ‰ себестоимости:	Канада	Соед. Шт.	Норвегия	Окуловка	Камока
Балансы	66.40	64.50	47.50	28.00	21.50
Заработная плата	15.55	16.30	16.20	8.05	20.00
Энергия	4.82	3.95	12.90	42.00	20.40
Себестоимость древесной массы в руб. за пуд	0.36	0.46	—	0.79 Паровая энергия.	0.91 Водяная энергия.

Вывод ясен: для возможности рентабельной выработки газетной бумаги необходимо было бы, с точки зрения получения энергии, поставить наши фабрики в условия близкие к тем, в каких работают заграничные фабрики. Значительная разность в стоимости баланса в пользу наших фабрик не будет в состоянии покрывать еще более значительных минусов, присущих специфически-нашим условиям производства, в смысле стоимости кредита, транспорта, общих расходов и т. п.

Если возможно и по стоимости энергии выравнивать, более или менее, условия производства, тогда только наши фабрики оказались бы конкурентно-способными.

Очевидно, что, при прежнем состоянии техники, энергия с тепло-силовых станций совершенно не могла конкурировать по цене с энергией гидро-станций.

Так как в стоимости гидравлической энергии исключительное значение имеет стоимость затраченного на сооружение капитала и амортизации установки, то приводим ниже несколько цифр и соображений о возможной стоимости гидравлической энергии в наших условиях. Как известно, мощность гидравлической установки выражается следующей формулой:

$$N = \eta \frac{Q \cdot x \cdot H}{75 \cdot 1000}$$

где N — число лощ. сил установки,

Q — секундный расход воды в куб. метрах,

H — напор, используемый установкою,

η — коэффициент полезного действия турбины (0.75 — 0.83).

При одной и той же мощности установки, следовательно, может быть или велик расход воды — при малом напоре, или, наоборот, малый расход воды — при большом напоре. Низко-напорные установки,

вообще говоря, обходятся существенно дороже, чем высоконапорные. Наши русские установки, благодаря равнинному характеру местности были, главным образом, низко-напорными, т. е. сравнительно более дорогими.

Если взять для примера наши гидравлические установки Урала, а там их расположено наибольшее количество, то, несмотря на деревянные плотины и подводные каналы, они обходились приблизительно, по данным проф. Тиме, в 250—300 руб. за установленную силу.

По данным подробных оценок гидротехнических сооружений Урала, произведенных б. Губернскими Земствами, указанные цифры вполне подтверждались, при чем более правильным оказывался высший предел.

Если принять во внимание довольно частые, крупные и дорогие ремонты деревянных сооружений, а также обычные, при отсутствии регулирования, недостатки воды зимою и летом, то стоимость сооружения, на 1 использованную лош. силу, очень значительно возрастает и нередко удваивается.

Стоимость же регулирующих сооружений настолько существенна, что делает их, в наших условиях, не всегда возможными и экономически целесообразными.

Что касается современных установок с бетонными или солидными каменными плотинами, металлическими фермами и щитами и т. п., то для них, по заграничным условиям, можно считать для 1914 г. следующие средние цифры стоимости:¹⁾

Высоко-напорные установки	250— 600	марок
на 1 устан. лош. силу в среднем . . .	400	„
Низко-напорные установки без регулир-		
ования	400— 800	„
в среднем	600	„
Низко напорные с регулированием	800—1300	„
в среднем	1000	„

Если от этих средних цифр (Pauschalzahlen) перейти к обзору цифр стоимости по отдельным, исполненным за границей до войны, установкам, то получим следующие данные о стоимости их: (см. след. стр.)

Для Америки стоимость сооружения типичной средне-напорной установки считалась до войны в 135 долларов или 270 руб. за силу, что дает цифры, вполне совпадающие с приведенными по европейским установкам.

¹⁾ Ing. Holl und Ing. Glunk. Berechnung und Entwerfen von Wasserkraftanlagen—1922. Те же в общем цифры приводятся и другими авторами, например:

O. Müller—V. D. J.—1903. Niethammer, Unterlagen für die Projektierung elektrischen Anlagen.

² Бумажная промышленность.

№ по порядку.	УСТАНОВКА:	Год постройки.	Напор.	Число уст. смл.	Стоимость на 1 уст. смл.
	Напор от 5—15 метров:				
1	Poppenweiler—(Neckar)	1908—09	5.19	2120	877 м.
2	München-Süd (Jsar)	1906—07	5.57	3300	1153 „
3	Werona (Etsch).	1903—04	5.70	2800	330 „
4	Langweida (Lech).	1905—07	7.00	6000	413 „
5	Werk Wolfzahnau (Lech)	1901—02	7.5	3300	304 „
6	Feldkirch (Vorarlberg).	1905—06	7.7	1800	512 „
7	Furbigo (Tessin)	1903—04	8.2	7500	505 „
8	Chevres bei genf (Rhône)	1893—96	8.2	17000	352 „
9	Bruch a. d. Mur	1903—04	8.7	2700	292 „
10	München-Moosburg (Jsar)	1905—06	9.1	5885	506 „
11	Wangen a. d. Aare	1900—04	9.3	10500	866 „
12	Piettenberg (Lenne).	1897—98	9.75	1000	1141 „
13	Gersthofen (Lech)	1899—1902	10.5	7500	964 „
14	Felsenauwerk-Bern (Aare)	1908—09	12.0	7500	224 „
15	Jonage (Rhône)	1892—1900	12.0	20.400	1036 „
16	Pont St. Martin (Dora Baltea)	1899—901	14.0	50.00	283 „
17	St. Antonyfals	1909—	15.0	14.000	110 „
	Напор до 40 метров:			В среднем 585 марок на установленную силу.	
18	Brixen (Rienz)	1903—	23.5	1.800	642 м.
19	Vizzola (Tessin).	1897—99	28.0	20.000	370 „
20	Trondhjem (Nidelf).	1900—01	31.0	2.500	205 „
21	St. Maurice (Rhône)	1899—901	36	6.000	485 „
22	Marklissa (Queiss).	1901—904	20—40	3.700	1097 „
23	Pont de Lignon (H-te Loire)	1904—06	40	4.000	221 „
24	Teillette-Argenty (Cher)	1906—09	23—40	6.000	587 „
				В среднем 524 марок на установленную силу.	

Для Швеции стоимости низко и средне-напорных установок были несколько ниже.

Все эти данные о стоимости исполненных, в различных условиях, сооружений приведены с целью показать, что, для наших русских условий, ожидать особенно дешевой стоимости установки, в общем случае, нет достаточных оснований.

Если даже принять, что заграничные цифры 250 — 300 руб. за установленную силу были бы до войны приложимы и к сооружениям современным по конструкции и исполнению в наших русских условиях (а это, конечно, более чем сомнительно), то и в этом случае нельзя было бы рассчитывать иметь в настоящее время установку в общем менее, чем за двойную стоимость, т. е. 500—600 руб. за силу.

При чрезвычайной дороговизне и недостатке капитала у нас, необходим исключительно-осторожный подход к определению стоимости проектируемых гидротехнических сооружений и к основанным на них производственным расчетам.

Для нескольких крупных установок, проектированных в России до войны, давались стоимости установленной лощ. силы, в зависимости от условий, даже от 115 до 150 руб.

Не следует, однако, упустить из виду, что, как установленная мощность существенно различна от мощности используемой, так и, очень нередко, стоимость одной лощ. силы, установленная при проектировании по смете, существенно—иногда весьма существенно—отличается от стоимости лощ. силы, уже готовой к использованию или используемой.

В исключительных случаях удельная стоимость сооружения в действительности, конечно, может быть ниже средних норм, но исключительность эта всегда должна быть основательно проанализирована и доказана.

Принятую нами в статье „Об использовании энергии р. Мсты для бумажной промышленности“, стоимость установленной 1 лощ. силы в 500 руб. мы считаем более отвечающей действительности, чем, например, цифру ГУГС'а в 382 руб.

В виду этого, рассчитывать получить энергию по цене в 0,9 коп. квч, как это проектировано ГУГС'ом, реальных оснований не имеется.

Однако, получение энергии на р. Мсте представляет для бумажной промышленности большой интерес, в виду чего несомненно следует практически ближе подойти к вопросу об ее использовании и ставить эту установку в первую очередь.

Установка на р. Мсте, конечно, не может разрешить общего вопроса о потребности в дешевой энергии для развития бумажной промышленности; и вообще рассчитывать и базироваться, при наших равнинных условиях, на возможности использования больших количеств гидравлической энергии, удобно расположенной, как относительно сырьевых районов (балансы), так и районов, потребляющих бумагу, вряд ли имеются достаточные основания.

Доставка же сырья в отдаленные районы расположения гидростанций, а также провоз бумаги из них до центров потребления, не

говоря уже о необходимости постройки, например, жел.-дор. ветви, могут с избытком компенсировать все плюсы пользования гидравлической энергией, благодаря чему общий вывод о рентабельности предприятия будет не в пользу гидравлической установки.

Уже в последнее десятилетие перед войной, успехи тепло-техники и развитие мощности тепловых станций, работающих на местном топливе, выдвинули серьезных конкурентов гидро-станциям, в смысле возможности отпускать энергию по очень дешевым ценам.

В противоположность гидравлическим установкам, в которых стоимость энергии определяется, главным образом, стоимостью амортизации и $\% \%$ на затраченный капитал, в установках паровых большую часть стоимости энергии составляет стоимость топлива. В стоимость энергии, полученной в тепловой установке, входят два элемента стоимости 1 квч: — постоянные и переменные расходы. Постоянными эксплуатационными расходами, т.-е. расходами, годовая величина которых не зависит (предполагая непрерывную в течение суток и всего года работу станции) от количества выработанной энергии, являются $\% \%$ на капитал, вложенный в предприятие, амортизация установки, смазочные материалы, обслуживание, ремонты и стоимость части топлива, идущей на холостую работу станции.

Переменные расходы составляет стоимость топлива, расходуемая на выработку отдаваемой станцией энергии; эта стоимость топлива зависит (почти пропорциональна) от количества вырабатываемой энергии.

В стоимости энергии, получаемой на гидравлических станциях, переменные расходы равны нулю, ибо топливо не расходуется; постоянные же расходы иногда очень значительны, находясь в зависимости от затраченного при сооружении капитала.

Характеристика масштаба цифр стоимости 1 квч. гидравлической энергии дана нами в статье „Использование энергии реки Мсты для бумажной промышленности“.

Для характеристики эксплуатационной работы и получения величины стоимости 1 квч. энергии для современных (1913 г.) тепло-силовых станций, воспользуемся данными, приводимыми известным авторитетом в деле проектирования и постройки станций, проф. Клингенбергом, в его классическом труде „Bau grosser Elektrizitätswerke“ (Band I. S. 68—73).

Проф. Клингенберг приводит следующие средние данные о стоимости в Германии постройки и оборудования современных (т. е. относящихся к 1913 г.) силовых станций.

Средние установки требуют 300 марок на установленный киловатт мощности; большие до 10.000 кв—200 марок на установленный киловатт очень большие до 15.000—20.000 кв—140—150 марок.

Следует отметить, что эти средние цифры не являются средними цифрами, типа „Pauschalzahlen“, т.-е. полученными из многих, очень различных по величине, слагаемых.

Вопрос проектирования и сооружения тепло-силовых централей настолько стандартизирован, типы и нормы настолько разработаны, что колебания эти весьма незначительны, и базироваться на этих цифрах не представляет опасений в значительной неточности.

Данные, приводимые Клингенбергом (табл. 1), касаются работы и характеристики станций с турбогенераторами в 1.000 и 5.000 кв, т.-е. как раз масштаба намечаемых наших установок.

Таблица 1. Основные данные силовой станции:

№	Наименование.	Мощность станций	
		5.000 кв.	1.000 кв.
1	К.П.Д. котельной установки при нормальной нагрузке.	76 ⁰ / ₁₀₀	75 ⁰ / ₁₀₀
2	Теплопадение на 1 кгр пара между начальным состоянием (12 атм.—300° С) и конденсатором. . . .	690 кал.	690 кал.
3	Расход пара на 1 квч при нормальной нагрузке, включая расход на возбуждение и конденсацию. . .	6,5 кгр.	7,5 кгр.
4	Тепловой эквивалент 1 кв/часа. . . .	860 кал.	860 кал.
5	Термический коэффициент турбогенератора.	19,1 ⁰ / ₁₀₀	16,6 ⁰ / ₁₀₀
6	К. П. Д. паропровода.	99,7 ⁰ / ₁₀₀	99,6 ⁰ / ₁₀₀
7	Стоимость установки на 1 кв.	200 марок.	300 марок.
8	Водоснабжение, смазочный и обтирочный материал, налоги и проч. на 1 кв/год.	0,42 М	0,60 М
9	Стоимость обслуживания на 1 кв/год. .	4,20 М	6,00 М
10	Ремонты (1 ⁰ / ₁₀₀ стоимости установки) на 1 кв/год.	2,00 М	3,00 М
11	Проценты и амортизация (12 ⁰ / ₁₀₀ стоимости оборудования) на кв/год. .	24,00 М	36,00 М
12	Теплотворная способность угля. . . .	7500 кал.	7500 кал.
13	Цена угля фр-ко котельн. за тонну. .	15 М	15 М
14	Стоимость единицы тепла ("Wärmepreis")	0,2.10 ⁻³ пфг.	0,2.10 ⁻³ пфг.

Разделяя, как указано выше, годовые эксплуатационные расходы на постоянную и переменную часть, получаем следующую таблицу II.

Таблица II. Баланс эксплуатационных расходов:

№	Наименование статей расхода.	Эксплуатационные расходы в пфг. на полезный квч при полной нагрузке.					
		Станция 5.000 кв.			Станция 1.000 кв.		
		Постоян-ные.	Перемен-ные.	Всего.	Постоян-ные.	Перемен-ные.	Всего.
15	Топливо (уголь) . . .	0.2590	0.9410	1.2000	0.3310	1.0690	1.4000
16	Смазочный матер. и проч.	0.0048	—	0.0048	0.0069	—	0.0069
17	Обслуживание	0.0480	—	0.0480	0.0687	—	0.0687
18	Ремонты	0.0229	—	0.0229	0.0343	—	0.0343
19	Проценты и амортизация	0.2750	—	0.2750	0.4102	—	0.4102
Всего . . .		0.6097	0.9410	1.5507	0.8511	1.0690	1.9201

Следует еще раз отметить, что расходы постоянные (0.6097 на 1.5507 т. е. ~40%) не зависят от числа выработанных кв/часов, т. е. характеризуют установку, но не коэффициент использования ее. При увеличении последнего они, оставаясь постоянными, уменьшаются удельно, т. е. будучи отнесены на 1 выработанный квч. Расходы же переменные, наоборот, пропорциональны количеству выработанных киловатт-часов, т. е. не изменяются удельно—на 1 квч.

Принимая во внимание коэффициент использования установки и пересчитывая годовые расходы таблицы II на 1 выработанный кв. час, получаем следующую зависимость стоимости вырабатываемой энергии от коэффициента годового использования станции (табл. III).

Таблица III.

Коэффициент использования станций.	Мощность станции.	
	5.000 кв.	1.000 кв.
	пф за 1 кв	час.
1,0	1.5507	1.9219
0,9	1.6188	2.0168
0,8	1.7038	2.1331
0,7	1.8120	2.2898
0,6	1.9376	2.4916
0,5	2.1604	2.7748
0,4	2.4666	3.2016
0,3	2.9714	3.9124
0,2	3.9900	5.3340
0,1	7.0380	9.5980

Как рельефно видно из таблицы, на стоимость энергии влияет отнюдь не только степень технического совершенства установки, но громадное значение имеет и коэффициент использования ее.

В этом отношении бумажная промышленность является исключительно редким и счастливым потребителем энергии. В то время, как, например, городские силовые и осветительные станции работают с неравномерной нагрузкой и коэффициентом использования 0,2—0,4, станции наших фабрик имеют почти совершенно ровную суточную нагрузку и число рабочих дней под этой нагрузкой до 340 в году.

Коэффициент использования может подыматься, таким образом, до 0,85—0,9, при чем нормальным можно считать 0,75—0,80.

(Коэффициент использования напр. агрегата силовой станции ф-ки „Сокол“ за первую половину 1924 года был 0,81; то же по Свердловскому заводу за август с/г.—0,88, сентябрь—0,87).

При сравнении гидросиловой установки с тепло-силовой на это обстоятельство следует особенно обратить внимание.

Гидро-силовая установка всегда будет иметь худший коэффициент использования.

Колебания в расходе воды зимой и летом с одной стороны и весной и осенью—с другой или 1) не позволяют использовать полно благоприятные расходы воды, если турбины и производственное оборудование взяты осторожно; или же наоборот, 2) с запасом взятые турбины и производственное оборудование худо используются, благодаря неравномерному расходу воды в реке.

В одном случае имеем низкий коэффициент использования гидротехнических сооружений, в другом, наоборот, низкий коэффициент использования гидро-силового, и, связанного с ним, производственного оборудования.

По стоимости же затраченного капитала обе эти величины столь значительны, что упускать из вида их влияния никоим образом нельзя.

Наоборот, при тепло-силовой установке и к. и. производственного оборудования будет выше.

Из приведенного выше примера видим, что до войны, в Германии, рационально оборудованная, паро-силовая, чисто-конденсационная установка имела возможность вырабатывать энергию по цене от 1,551 до 7,038 пфг. за киловатт/час.

При коэффициенте использования, характерном для бумажной промышленности— (0,75), энергия стоила всего 1,758 пфг. за кв/час.

Указанная стоимость энергии, при хорошем коэффициенте использования (1,75 пфг/квч при к. и.—0,75), отнюдь не является плодом только теоретических измышлений.

Ряд примеров эксплуатации существующих современных (в Германии 1913 г.) тепло-силовых станций, приводимых, опять таки,

в классическом труде по гидро-силовым станциям проф. А. Ludinom "Wasserkräfte"— ihre Ausbau und ihre wirtschaftliche Ausnützung— вполне подтверждают цифры проф. Клингенберга.

Название станций.	Вальденбург.	Ессен/н Руре.	Мюльгау-зен.	Майнгейм.
Мощность станций кв. .	7850	22400	11800	6600
Коэффициент использов.	0,3	0,52	0,17	0,22
Цена 1 тонны угля франко станция марок . .	9,75	12,40	19,36	17,2
Стоимость 1 кв/часа пфг.	3,26	2,35	4,0	4,07

Коэффициент использования станций— всюду низкий. Однако, низкий коэффициент использования характеризует не установку станции, а потребителей энергии ее.

Характерно, что сравнительная стоимость квч, например, по станциям Вальденбург и Ессен на Руре отражает не стоимость угля, а именно свой коэффициент использования; стоимость же энергии по этим станциям почти обратно пропорциональна стоимости угля.

В наших русских условиях цифры стоимости энергии были бы иные, но тенденция изменения их, в зависимости от к. и., была бы та же самая.

Если представить эти цифры в условиях оборудования и эксплуатации для аналогичной силовой станции в России до войны, то получим следующие соотношения:

Цена топлива (угля) принята Клингенбергом в 15 марок за тонну при калорийности угля 7.500 кал., что дает цену тепла (Wärmerpreis) в 0,2 пфг. или около 0.1 коп. за 1000 калорий.

Калорийность 1 куб. саж. дров (при 20% влажности), по табл. проф. Кирша равна около 12,10⁶ калорий. При стоимости дров в 17 руб. (цена на ф-ке „Сокол“ 1913 года), стоимость тепла выразится в 0,14 коп. за 1000 калорий, т.-е. выше, чем в примере Клингенберга на 40%.

Кроме того, для России стоимость постройки, оборудования, ремонта, обслуживания, а соответственно этому и все постоянные годовые эксплуатационные расходы можно считать в 1,75—2,0 раза выше, чем для Германии. Принимая поправку 2.0, получим для русских условий современной (по тому времени—1913 г.) установки стоимость 1 квч., приведенную в следующей таблице:

Стоимость 1 квч. в России в 1913 году в копейках.

Коэффициент использования станции.	Мощность станции.	
	5000 кв.	1000 кв.
1.0	1.120	1.305
0,9	1,177	1,383
0,8	1,248	1,479
0,75	1,293	1,541
0,7	1,338	1,602
0,6	1,462	1,768
0,5	1,628	1,999
0,4	1,889	2,343
0,3	2,318	2,921
0,2	3,168	4,081
0,1	5,728	7,551

Переходя к современным условиям (1924 г.) мы, должны принять во внимание, что с того времени (1913—14 г.) в области практической теплотехники были сделаны большие успехи.

Проф. Клингенберг считает установку с к. п. д. котельной = 0,75—0,76, тогда как теперь мы можем довести к. п. д. до 0,82—0,84 (к. п. д. котельной „Сокола“, по группе котлов Гарбе, работающих на силовую станцию, по хорошо поставленному испытанию = 0,78).

Начальное состояние пара в примере Клингенберга принято в 12 атм. и 300°C, в настоящее же время установка будет иметь не менее 22—25 атмосфер, при перегреве не ниже 350—375°C.

Расход пара показан у Клингенберга в 6,5 кгр. на квч, тогда как в настоящее время он уже гарантируется фирмами в 5,0 кгр. на кв. час.

Термический к. п. д. турбины считался в то время около 14—15%, в настоящее время его можно считать—18—20%.

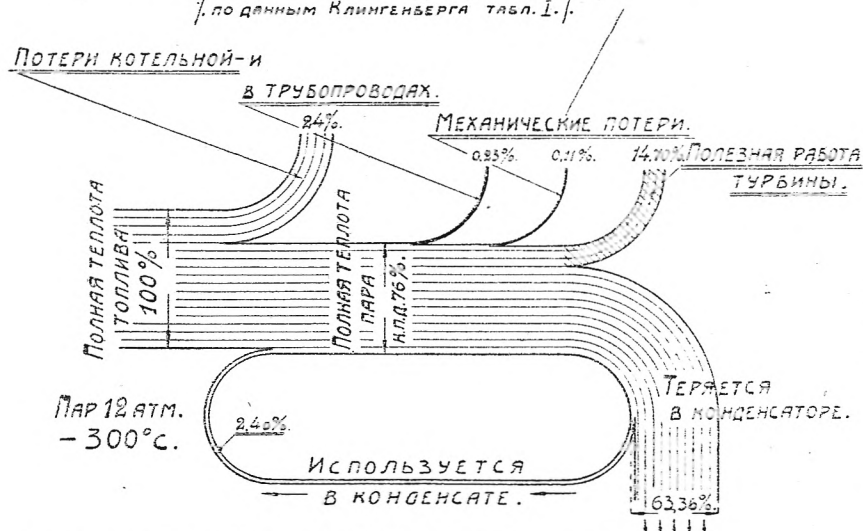
Несмотря на некоторое вздорожание стоимости установки высокого давления против нормальной, (по данным Мюнцингера¹⁾ оно выразится для котлов около 20—25%), общее удешевление стоимости энергии будет около—20—25%.

На диаграммах I и II представлены тепловые потоки: I—для установки, современной для 1913 г. (пример Клингенберга) и II—для установки современной для 1924 г., с котлами высокого давления и турбиной сист. Лёзель—типа Брюннского завода.

¹⁾ VDI—Hochdruckdampf—S. 5.

Термический коэффициент полезного действия в 1-м случае — (для 1914 г.) — 14,7%; во втором (для 1924 г.) — 19,6%; улучшение

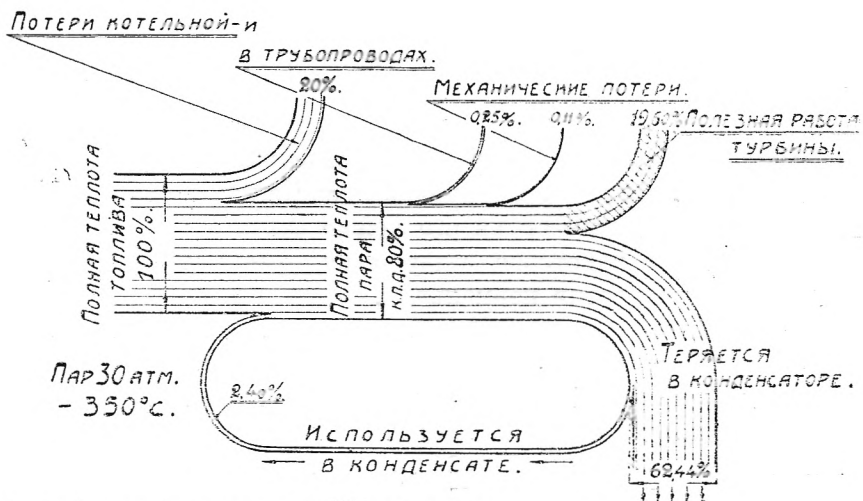
I - ДИАГРАММА ТЕПЛОвого ПОТОКА, ЧИСТО КОНДЕНСАЦИОННОЙ
ТУРБИНЫ ОБЫЧНОГО ДАВЛЕНИЯ
[по данным Клингенберга табл. I.]



Всего используется 14,70% теплоты топлива.

очень значительное. Однако, развитие теплотехники этим не ограничивается. Как видно из диаграммы II и при этой установке около 62% теплоты теряется в конденсаторе турбины.

II - ДИАГРАММА ТЕПЛОвого ПОТОКА, ЧИСТО КОНДЕНСАЦИОННОЙ
ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.



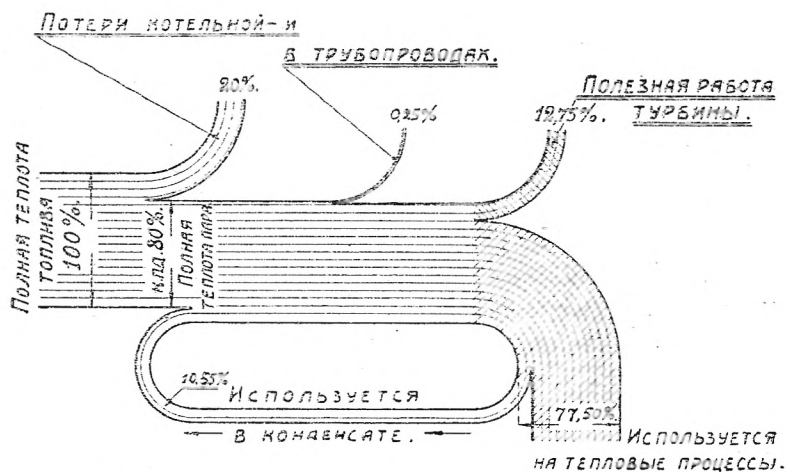
Всего используется 19,60% теплоты топлива.

Соответственно этому, благодаря получению так-называемой „отбросной“ энергии, конечно, стоимость энергии очень значительно понижается.

Дальнейшие успехи практической теплотехники, имеющие особенно важное значение для бумажной промышленности, были направлены именно на использование этих весьма больших количеств тепла, терявшегося в конденсаторе.

Направляя все это тепло, вместо конденсатора, на тепловые процессы производства, т.е. работая с противодавлением, вполне возможно поднять термический к. п. д. всей установки до 80% (диаграмма—III).

III - ДИАГРАММА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА СОВРЕМЕННОЙ ТУРБИНЫ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ.



Всего используется $19.75\% + 66.95\% = 86.70\%$ теплоты топлива.

Таким образом, идеальным решением задачи получения дешевой энергии от тепло-силовой установки, является создание такого промышленного предприятия, тепло-силовая установка которого давала бы „отбросную“ энергию в количестве, покрывающем потребность всех силовых процессов производства.

Как известно, целлюлозные заводы, вырабатывающие сухую целлюлозу, в случае выбора надлежащего давления пара при рациональном устройстве паро-силового хозяйства, являются производителями значительных количеств „отбросной“ энергии.

Если взять в качестве примера завод с производительностью в 1.000.000 пуд. или 16.500 тонн. целлюлозы в год, то получим след. соотношения.

Потребление пара:

Варка . . .	$16.500 \times 3.0 = 49,500$	тонн	(7,0 абс. атм.)
Сушка . . .	$16.500 \times 2.5 = 41,200$	"	2,5 " "
Отбелка . 33%	$5.500 \times 1.5 = 8,250$	"	" " "
Отопление .	1,200	"	" " "
Всего.	49.500	тонн	(7,0 абс. атм.)
	50.650	тонн	(2,5 абс. атм.)

Потребление энергии:

$$16,500 \times 300 = 4.950.000 \text{ квч.}$$

Принимая начальное состояние пара 30 атм. и 350°C , получим по циклу Ранкина теоретическ. количество „отбросной“ энергии¹⁾ в I от'еме (при 7,0 абс. атм.) на тонну пара—97 квч. и во II от'еме (при 2,5 абс. атм.)—154 квч.

Термический коэффициент полезного действия турбин Лёзеля, отнесенный к муфте генератора, по испытаниям = 0,78—0,82. Принимая к. п. д. турбины—0,8 или, отнесенный к клеммам генератора—0,77, получим количество „отбросной“ энергии, могущее быть практически использованным, от I от'ема— $97 \times 0,77 = 75$ квч на тонну пара, от II от'ема— $154 \times 0,77 = 119$ квч. на тонну пара.

Таким образом, проходящие через I от'ем 49.500 тонн пара дают „отбросной“ энергии $49.500 \times 75 = 3.412.000$ квч в год и проходящие через II от'ем 50.650 тонн пара дают $50.650 \times 119 = 6.027.300$ квч в год. Всего „отбросной“ энергии паро-силовая установка дает, таким образом, 9.439.800 квч. в год.

Вычитая собственное потребление энергии заводом, получаем количество „отбросной“ энергии избыточной равным: $9.439.800 - 4.950.800 = 4.489.800$ квч., т.-е. 272 квч. на тонну целлюлозы.

Комбинирование такого, имеющего избыточную энергию, предприятия с другим, потребляющим эту энергию, является, с точки зрения теплотехники, в высшей степени желательным.

Таким потребителем может быть, как раз, фабрика газетной бумаги.

Процентное содержание целлюлозы в газетной бумаге, однако, весьма незначительно и, поэтому, количество „отбросной“ энергии от завода, вырабатывающего целлюлозу, только в количестве, необходимом для своей газетной бумаги, не может заметно понизить стоимость всей энергии.

Помимо этого, размер подобного целлюлозного завода был бы столь незначительным, что не оправдывался бы экономически и с точки зрения производственной.

Иначе обстоит дело, если взять комбинат фабрики газетной бумаги и мощного целлюлозного завода.

¹⁾ См. диаграмму Mollier, также диаграмму—„Бум. Пром.“. 1924 г. № 5, стр. 224.

В качестве примера, приводим ниже соответствующие подсчеты для комбинированного предприятия, вырабатывающего из своих полу-продуктов 50.000 тонн целлюлозы и 25.000 газетной бумаги в год.

При обычной композиции газетной бумаги и 15% потери волокна имеем, что для производства потребуется 7.200 тонн сырой целлюлозы и 21.600 тонн древесной массы.

Сухой целлюлозы будет выработано $50.000 - 7.200 = 42.800$ тонн в год. Удельные расходы пара принимаем следующие:

Расход пара.

Варка целлюлозы 2,75 тонн пара при 7,0 атм. абс.
Сушка целлюлозы (включая вентиляцию) 2,5 " " при 2,5 атм. абс.
Отбелка 1,5 " " " " " "
Сушка бумаги (включая вентиляцию) 3,5 " " " " " "
Отопление помещений—100 тонн пара в сутки в течении 200 суток в году.

Расход энергии.

Выработка целлюлозы 250 квч. на тонну.
" бумаги 500 " " "
" древесной массы. 1.080 " " "
Освещение и подсобные предприятия 5.000 квч. в сутки.

Принимая 340 раб. дней, или 3.160 рабочих часов в течение года, имеем следующие числа годового и среднего часового расхода пара и энергии.

Расход пара.

Статьи расхода.	Годовой расход.	Средний часовой расход.
	В т о н н а х.	
Пар при 7,0 атм. абс.		
Варка целлюлозы $50.000 \times 2,75$. .	137.000	17.00
Пар при 2,5 атм. абс.		
Сушка целлюлозы $42.800 \times 2,5$. .	107.000	13.20
Сушка бумаги $25.000 \times 3,5$	87.500	10.60
Отбелка целлюлозы $16.500 \times 1,5$. .	25.000	2.25
Отопление 200×100	20.000	4.15
Всего пара при 2,5 атм абс. . .	239.500	30.20

Расход энергии.

Статьи расхода.	В киловатт часах.	
	Годовой расход.	Средний часовой расход.
Пр-во целлюлозы 55.000×250	12.500.000	1535
„ бумаги 25.000×500	12.500.000	1535
„ Древесной массы 21.600×1080	23.300.000	2850
„ Освещение и подобные предприятия 5000×360	1.800.000	205
Всего энергии	50.100.000	6125 квч.

Считая необходимый резерв установленной мощности агрегата 20—25%, —получаем мощность турбогенератора станции—7500 КВ.

При начальном давлении пара в 30 атм, 375°С и к.п.д. турбины, по отношению к циклу Ранкина, 0,78—имеем следующие количества „отбросной“ энергии.

При конечном давлении, в 7,0 атм. абс. теоретическое теплопадение в турбине (по диаграмме Mollier) 86 кал./кгр; действительно используемое тепло $86 \times 0,78 = 67$ кал.

На тонну пара имеем „отбросной“ энергии $\frac{67 \times 1000}{860} = 78$ КВч.

При конечном давлении 2,5. атм. абс. имеем теоретическое теплопадение 133 кал./кгр; действительно используемое тепло $133 \times 0,78 = 104$ кал.

На тонну пара получаем „отбросной“ энергии: $\frac{104 \times 1000}{860} = 121$ КВч.

Суммарные результаты получаем следующие:

	В год.	В час. (средн.)
Общий расход энергии по всему предприятию	50.100.000	6085
Получ. энергии в I отеме 13.700×78	10.700.000	1330
То же во II отеме 23.950×121	29.000.000	3550
Всего „отбросной“ энергии	39.700.000	4880
Необходимо добавочно конденсационной энергии $50.100.000 - 39.700.000$	10.400.000	1205

Принимая для конденсационной турбины высокого давления тот же К.П.Д., получаем, при теоретическом теплопадении до 0,04 атм.—268 кал./кгр., действительно использованное тепло $268 \cdot 0,78 = 209$ кал./кгр.

Расход пара на КВч — $\frac{860}{209} = 4.95$ кгр.

Прибавляя на конденсационный агрегат 2%, получаем действительный расход пара, при нормальной нагрузке, 5.05 кгр/КВч, т.е. то, что уже гарантируется фирмами—турбиностроителями.

Для выработки недостающего количества конденсационной энергии нужно будет затратить в течение года $\frac{10.400.000 \times 5.05}{1000} = 52.000$ тонн пара.

или в среднем в час $\frac{1205 \times 5.05}{1000} = 6.1$ тонн пара.

Общее количество пара, потребляемого рассматриваемой тепло-силовой установкой, составит в год:

$$137.500 + 239.500 + 52.000 = 429.000 \text{ тонн};$$

или в час средн. $17.0 + 30.3 + 6.1 = 53.4$ тонны.

Подсчет стоимости пара и единицы содержащегося в нем тепла производим, исходя из следующих соображений.

Стоимость дров—считаем 25 руб. за куб. (цена Сухонского района). Теплотворная способность дров— $12 \cdot 10^6$ калорий, как было принято ранее.

К.П.Д. всей котельной установки—0.80. Количество тепла в I кгр пара, при начальном состоянии его—760 кал.

Из 1 куба дров получаем пара $\frac{12 \cdot 10^6 \times 0.80}{760 \times 1000} = 12.5$ тонн.

Цифра вполне реальная, ибо напр. на Соколе, по группе котлов Гарбе (15.0 атм. абс), работающих на силовую станцию в настоящих условиях по испытанию получаем 12.5 тонн пара.

Стоимость топлива, необходимого для получения одной тонны пара будет $\frac{25.0}{12.5} = 2.0$ руб. Стоимость же тепла выразится в $\frac{200}{760} = 0.27$ коп. за 1000 калорий, содержащихся в паре.

Распределяя стоимость топлива на силовые и тепловые процессы, пропорционально потребленному каждым из этих процессов количеству теплоты, получаем следующее распределение затрат на топливо в течение года: (см. стр. 594).

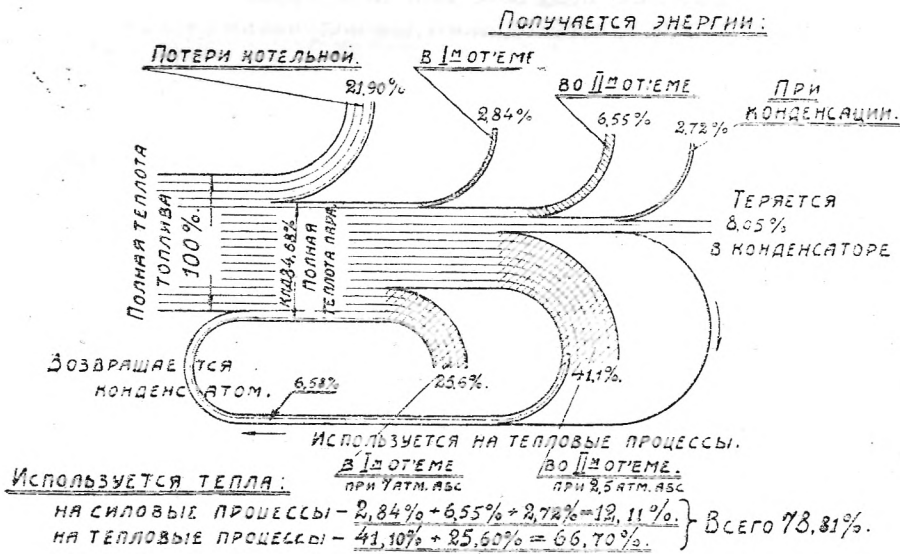
Рассматривая составленную для этой паро-силовой установки диаграмму теплового потока (диагр. IV.), замечаем, что хотя полученная электрическая энергия и составляет 12,11%, вместо 19.6% (диагр. II.) при чисто конденсационной такой же установке, но используемые для производства 66,70% теплоты настолько сильно повышают общее теплоиспользование, что термодинамический коэффициент установки поднимается до $12.11 + 66.70 = 78.81\%$.

Средняя стоимость энергии рассматриваемой установки, т.е. „отбросной“ и конденсационной, определится, приняв во внимание следующие соображения:

Расходы переменные, т.е. стоимость топлива на I КВч. уже определены выше.

№ по порядку.	Статьи расхода.	Пар при 7.0 атм.	Пар при 2.5 атм.	Пар идущий в конденсатор.	Всего, или в среднем.
1	Потребное колич. в год тонн.	137.500	239.500	52.000	429.000
2	Полное колич. тепла, получаемого паром в котлах 10^6 кал.	104.000	181.000	39.500	324.500
3	Стоимость этого тепла руб.	280.000	489.000	107.000	876.150
4	Колич. выработанной энергии—КВЧ . . .	10.700.000	29.000.000	10.400.000	50.100.000
5	Расход тепла, отдаваемого 1 кг. пара на КВЧ	67	104	760	—
6	Общее колич. тепла, отдаваемое паром на энергию 10^6 кал.	9.350	24.900	39.500	73.750
7	Стоимость топлива обща руб.	25.200	67.050	107.000	199.250
8	Стоимость топлива на КВЧ коп.	0.232	0.232	1.04	среднее 0.33
9	Количество тепла, отдаваемое на тепловые процессы 10^6 кал.	94.650	156.100	—	250.750
10	Стоимость этого тепла руб.	254.800	421.950	—	676.750

IV-ДИАГРАММА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА, СОВРЕМЕННОЙ УСТАНОВКИ
ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ, С ДВОИНЫМ ОТЕМОМ ПАРА И КОНДЕНСАЦИЕЙ



По статьям, составляющим расходы постоянные, сравнительно с подсчитанными ранее для 1913 г., необходимо ввести следующие поправки.

Стоимость паро-силовой установки высокого давления в настоящее время можно считать 225 руб. за лощ. силу.

Эта установка, в общем по всему сооружению, включая здания и вспомогательные оборудования, будет дороже нормальной на 10%. (Котлы дороже на 20—25%; вздорожание турбин того-же порядка. Стоимость паропроводов не меняется, стоимость генераторов и всего электротехнического оборудования остается прежней; стоимость здания и вспомогател. устройств также не изменяется. Котлы и турбины стоят около 40% всей установки; следовательно, вздорожание их на 20—25% повышает общую стоимость установки на 10%).

Проценты на затраченный капитал считаем 12%, вместо 6%, принятых выше для 1913 года.

Амортизация учитывается в размере 6% на затраченный капитал (3% здания и 10% оборудование).

Учитывая все эти факторы образования себестоимости энергии и калькулируя тем же методом, что и выше (для 1913 г.), получаем:

- 1) Стоимость топлива для холостой работы . . . 0.2452 коп. КВтч.
- 2) Стоимость обслуживания, смазочн. материалов
и проч. 0.1072 " "
- 3) Амортизация и проценты 0.5850 " "

Всего постоянных расходов . 0.9374 коп./КВтч.

Сумма годовых постоянных расходов выразится

$$0.9374 \times 7500 \times 8760 = 615.500 \text{ руб.}$$

Коэффициент использования станции.	Годовые эксплуатационные расходы.			Выработка энер- гии в год.	Стоимость 1 КВт-часа.
	Постоянные руб.	Переменные руб.	Всего руб.	КВт-час.	Коп.
1,0	615.500	285.000	900.500	65.700.000	1.370
0,9	то же	256.500	872.000	59.100.000	1.475
0,8	"	228.000	843.500	52.550.000	1.605
0,75	"	213.700	829.200	49.300.000	1.683
0,7	"	199.500	815.000	46.000.000	1.772
0,6	"	171.000	786.500	39.420.000	1.995
0,5	"	142.500	758.000	32.850.000	2.308
0,4	"	114.000	729.500	26.280.000	2.778
0,3	"	85.500	701.000	19.700.000	3.552
0,2	"	57.000	672.500	13.140.000	5.120
0,1	"	28.500	644.000	6.570.000	9.800