КУ-21
ссп

СТУДЕНЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСКОЕ
ОБЩЕСТВО
при
ИМПЕРАТОРСКОМЪ
Техническомъ Училищѣ.

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

ТЕПЛОВЫЯ СИЛОВЫЯ СТАНЦИИ.

Типо-Лит. И. Х. КАВЫКИНА
Москва 1912 г.

Проф. В. И. Гриневецкий

По инвентарной описи № 42-872

(1)

„Тепловыя силовыя станціи"

есть

повторительный курсъ для инженеровъ при Политехн. Об-ѣ

1911 г.

Моск. Высш. Техн.-Машиностр. Ин-т
БИБЛИОТЕКА
им. Н. Э. БАУМАНА

БИБЛІОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
Московскаго
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

ПРОВЕРЕНО
1952

ПРОВЕРЕНО
1995

3. 93388 (Архивн. 1990)

Лекція I

А. Задачи и содержаніе курса.

Общая задача устройства тепловыхъ силовыхъ станцій: технически правильная и экономически выгоднѣйшая комбинація изъ технически раціональныхъ элементовъ, служащая для обращенія тепла въ работу. Для рѣшенія надо:

1) умѣть и выбрать технически раціональные элементы;

2) знать мѣстныя технич. и экономич. условія;

3) создать изъ выбранныхъ элементовъ, соотвѣтственную мѣстнымъ условіямъ технически правильную и экономически выгоднѣйшую комбинацію.

Въ процессѣ созданія и изученія тепловыхъ силовыхъ станцій входятъ, такимъ образомъ, 3 фактора.

1) Элементы — ихъ созданіе и оцѣнка. Зависимость отъ техники машиностроенія. Анализъ стержня оцѣнки элементовъ; кардинальное значеніе этого фактора. Роль предшествовавшихъ курсовъ: двигателей внутренняго сгоранія, паровыхъ турбинъ, котельныхъ установокъ; задачи настоящаго - строгое ихъ ограниченіе; разборъ элементовъ; стороны оцѣнки.

2) Мѣстныя условія. Разнообразіе матеріаловъ технологическаго и экономическаго характера. Настоящее отсутствіе ихъ систематизаціи. Исключеніе попытокъ систематизаціи изъ задачъ курса, ихъ ограниченіе характеристикой метода обработки и рода матеріаловъ въ областяхъ мѣстныхъ условій.

3/ Комбинированіе элементовъ – задача техническаго и экономическаго характера. Ограниченіе задачъ курса: установленіе основныхъ техническихъ соображеній для комбинированія; методъ оцѣнки экономической стороны; техническія задачи устройства тепловыхъ силовыхъ станцій въ конкретныхъ примѣрахъ.

Б. Обзоръ развитія и практическаго значенія разныхъ тепловыхъ двигателей въ эпохи 1880-1895-1910г. (преимущественно въ Россіи).

1880 г. (Около начала 80^ыхъ годовъ)

1/ Котлы большого объема: батарейные, съ жаровыми трубами, трубчатые; комбинированные и водотрубные – въ началѣ развитія.

2/ Паровыя машины – простого и двойного расширенія, тихоходныя, преимущественно англійскія.

3/ Вспомогательныя устройства паровыхъ установокъ – примитивны и играютъ въ установкѣ второстепенную роль.

4/ Прочіе тепловые двигатели – первые шаги развитія; ничтожная роль въ практикѣ; малая мощность; свѣтильный газъ, бензинъ – дорогое топливо.

5/ Мощность установокъ; размѣры единицъ и число ихъ очень ограничены; работа на приводъ; 500 л.с. крупная установка.

6/ Экономичность; η_e = 8-9% максимумъ; техническія трудности вообще доминируютъ надъ вопросами коммерческой экономичности – послѣдняя на заднемъ планѣ.

7/ Все – въ сферѣ паротехники – съ очень малой свободой комбинированія; ограничены не только типы, но и фирмы. Легкость и шаблонность задачи устройства тепловыхъ силовыхъ станцій.

1895 г. (средина 90^ыхъ годовъ).

1/ Водотрубные и комбинированные котлы завоевываютъ мѣсто наряду съ прежними типами.

2/ Вспомогательныя устройства получаютъ нѣкоторое развитіе, какъ экономайзеры, или дѣлаютъ первые практическіе шаги.

3/ Паровыя машины – двойного и тройного расширенія,

развитія двигателей Дизеля.

(2)

8) Газовсасывающіе двигатели – распространеніе въ малыхъ и среднихъ установкахъ; начало серьезнаго использованія малоцѣннаго топлива въ генераторныхъ установкахъ.

9) Доменно-газовые двигатели. – побѣда ихъ надъ поршневыми паровыми машинами въ металлургической промышленности; высокая конструктивная выработанность; нѣкоторая законченность развитія.

10) Мощность установокъ практически ограничивается только потребностями производства, но не размѣрами двигателей; единицы до 1000 л.с. и выше достигнуты вначалѣ основными родами двигателей; мощность паровыхъ двигателей, особенно турбинъ, можетъ свободно доходить до десятковъ тысячъ Л.С.

11) Экономичность; η_u = 12 до 18% въ лучшихъ паровыхъ установкахъ; η_u = 14 до 35% въ двигателяхъ внутренняго сгоранія. Богатство средствъ техники для преодолѣнія техническихъ трудностей и ростъ размѣровъ установокъ, конкуренція разныхъ родовъ двигателей выдвигаютъ на первый планъ экономическую сторону.

12) Чрезвычайная конкуренція между тремя основными родами двигателей: паровыми машинами, паровыми турбинами и двигателями внутренняго сгоранія. – сильный прогрессъ экономичности всѣхъ родовъ двигателей; чрезвычайное конструктивное развитіе всѣхъ, а въ особенности новѣйшихъ типовъ: паровыя турбины, двигатели Дизеля, крупные газовые двигатели.

13) Развитіе связи между силовой и нагрѣвательной установкой – объединеніе всего теплового хозяйства – чрезвычайное экономическое значеніе для ряда производствъ; признаніе важности наряду съ сохраненіемъ рутиннаго недовѣрія; крупные успѣхи этого дѣла и начало широкаго распространенія.

14) Распространеніе раціональной постановки теплового

4

хозяйства, пріемовъ его контроля и учета; серьезное вліяніе экспериментальнаго метода на практическую тепловую технику.

Сопоставленіе настоящаго положенія теплового хозяйства съ минувшими эпохами относительно задачъ теплового техника: чрезвычайное обогащеніе средствъ съ повышеніемъ требованій относительно техническихъ и экономическихъ результатовъ. Особое расширеніе задачи въ экономическомъ и эксплоатаціонномъ направленіяхъ; большое значеніе инициативы эксплоатаціоннаго техника. Спеціализированіе установочной части и развитіе особыхъ предпріятій по выполненію установокъ.

Б. Факторы развитія тепловыхъ двигателей и теплового хозяйства.

1) Потребности промышленности.

а) Электрическія станціи – 20–30 % всѣхъ расходовъ падаетъ на топливо. Масштабъ роста Берлинъ

2372

Соед. Штаты Америки (Въ 10 разъ больше г. Берлина)	1902 г.	1907 г.
Мощность	1.830.594 HP.	4.032.365 HP
Годовая отдача	2507 милл KWh	5862 милл. KWh.

съ развитіемъ крупныхъ турбинныхъ станцій послѣ 1907 г. приростъ еще увеличился.

2523 Видъ станціи 59ой улицы, Нью-Йоркъ

б) Металлургическая промышленность.

7107 Ростъ примѣненія крупныхъ газовыхъ двигателей въ Европѣ – почти только въ одной ограниченной области – металлургической и горной промышленности.

5211 Электрическая станція Гарѵ въ одномъ новѣйшемъ заводѣ Американскаго стальнаго треста:

17 × 5000 Л.С. – газодинамо и до 45000 Л.С. газовоздуходувокъ.

Ростъ производства ровно безъ скачковъ развивавшагося

(3) Изъ предыдущаго ясны - прежняя простота и ограниченность и современная сложность и широта задачи. Соотношеніе прежнихъ и современныхъ трудностей въ производствѣ двигателей и въ комбинированіи ихъ въ силовыя установки. Выводъ - отсюда для технической школы и практики. Практическое значеніе расширенія задачи отъ тепловыхъ двигателей до теплового хозяйства. Примѣры положительные и отрицательные.

6209 Стоимость выработки энергіи на заводѣ J. Cockerill.

7322 Результаты теплового хозяйства И. П. У.

Русскія особенности задачи.

1) Разнообразіе техническихъ и экономическихъ районныхъ условій.

а) Ограниченность эксплоатируемой водяной силы и ея бѣдность въ главныхъ промышленныхъ районахъ. Центрально-Промышл.; Польскій; Донецкій.

б) Разнообразіе располагаемаго топлива по родамъ и цѣнамъ, по доступности и устойчивости на рынкѣ отъ 0,98 коп. за kcal, нефть и уголь на мѣстахъ добычи, дрова и торфъ въ сѣверной полосѣ, до 0,3 коп. за kcal, центральный промышленный районъ, Туркестанъ и т. д.

в) разнообразіе располагаемаго спроса на энергію и задачъ силовыхъ станцій;

г) разнообразіе располагаемаго персонала и ремонтныхъ средствъ;

д) разнообразіе средствъ и условій транспорта для доставки двигателей.

2) Высокая стоимость топлива и капитала.

5733. сопоставленіе цѣнъ топлива въ Москвѣ и Берлинѣ.

Въ экономическихъ расчетахъ силовыхъ установокъ для Германіи принимается обычно 4-4,5% на капиталъ; въ Россіи приходится считать нормально 6-8%; условія рынка и таможенная охрана ставятъ русскія цѣны на 40-50% выше германскихъ. Размѣръ капитализаціонныхъ расходовъ повышается по сравненію съ германскимъ на 60-80% и выполненіе дорогихъ и экономи-

ческихъ установокъ затрудняется.

Отношеніе цѣнъ по условленному расчету.

$\alpha = 1,45$ паровые котлы.

$\alpha = 1,48$ паровыя машины и турбины.

$\alpha = 1,53$ промышленные локомобили.

$\alpha = 1,27$ сельскохозяйственные локомобили.

$\alpha = 1,48$ двигатели внутренняго сгоранія.

При изготовленіи частей въ Россіи (маховики, газопроизводители) α уменьшается.

3) Зависимость русскаго рынка тепловыхъ двигателей отъ иностраннаго импорта и его организаціи.

6019. Размѣры иностраннаго ввоза 1899—1908 г.

Ввозъ за 1909 г.	Паровые котлы.	Пар. маш. и турбин.	Промышл. локомоб.	Сельск. Хоз. локомоб.	Двиг. вн. сгоранія.
Ввозъ въ тысячах. пуд.	114.	241.	123.	635.	415.
Пограничн. стоим. въ тыс. р.	739.	2397.	1063.	5486.	4419.
Русск. стоимость въ тыс. руб.	1100.	3495.	1613	6765.	6355.

Иностранный ввозъ доминируетъ на рынкѣ и обусловливаетъ:

а) крайнюю разнородность и пестроту предлагаемыхъ потребителю машинъ; сопоставленіе съ Германіей, Соединенными Штатами Америки и Англіей;

б) зависимость отъ посредниковъ-представителей фирмъ; плохое представительство парализуетъ лучшія качества предлагаемыхъ машинъ; примѣры;

в) малую связь русскихъ потребителей съ заводами и меньшую чуткость послѣднихъ къ требованіямъ рынка;

г) меньшее знакомство русскихъ техниковъ и предпринимателей съ производствомъ предлагаемыхъ машинъ;

д) меньшую устойчивость цѣнъ въ зависимости отъ измѣненія размѣровъ „провизіи" представителей.

Всѣ обстоятельства въ совокупности затрудняютъ русскому технику правильную техническую оцѣнку и выборъ машинъ.

(4.)

Тепловыя силовыя станціи.

Лекція II

Стороны технической оцѣнки тепловыхъ двигателей и станцій.

а/ техническая экономичность;

б/ надежность дѣйствія;

в/ приспособленность къ условіямъ назначенія.

Факторъ (а) выражается опредѣленно чрезъ экономическій коэффиціентъ установки и входитъ въ составъ прямой экономичности или прямой стоимости силы, въ расходъ на топливо.

Факторы (б) и (в) не имѣютъ строго опредѣленныхъ выраженій, вліяютъ отчасти на прямую экономичность или прямую стоимость силы, въ расходахъ на поддержаніе, а отчасти и сильнѣе – косвенно вліяютъ на экономичность, входятъ въ непрямую стоимость силы.

Всѣ технические факторы оцѣнки имѣютъ экономическую природу, которая будетъ разсмотрѣна въ отдѣлѣ объ коммерческой экономичности.

А. Техническая экономичность – опредѣляется отношеніемъ тепла, обращеннаго въ эффективную работу двигателя, къ тому затраченному въ теплопроизводительности топлива.

Техническая экономичность – зависитъ отъ рода двигателя и условій рабочаго процесса.

7352 Классификація двигателей по роду рабочаго процесса и зависимости отъ топлива.

7330 (I) Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Переходы тепла. Типы регенерацій. Примѣры теплового потока:

2376 Двигатель Дизеля.

99 Газогенераторный двигатель.

98 Простая паровая установка.

7309 Паровлектрическая установка Центральной Станціи И. Т. У.

496 Американская паровая, водотрубная установка съ сложной регенераціей.

3484. Примѣры тепловаго баланса: паровой установки, газовсасывающей установки и двигателя Дизеля.

7331 (II) Выраженія тепла и коэффиціентовъ полезнаго дѣйствія.

5200 Діаграмма технической экономичности тепловыхъ двигателей; классы и роды двигателей.

Отдѣльные примѣры.

Современное приближеніе экономичности къ практическому предѣлу — уменьшеніемъ абсолютной величины сбереженій.

Паровыя установки (къ диагр. 5200)

N N. ..... 1 ..... 4 ..... 5 ..... 29.

Watt 1790 г. Sulzer – 1865. W. Schmidt, 1894 A.E.G. – 4.000 KW 1908.

q_e = ... 23.100 cal. ..... 12100 cal. ..... 4950 cal. ..... 3300 cal.

Газовые двигатели

N N ..... 36 ..... 39 ..... 54.

Lenoir 1860 — свѣтильно-газовый; Otto-Langen 1868. — свѣтильно-газовый; Cockerill 1906. — Доменно-газовый

q_e = ... 13600 cal ..... 4450 cal. ..... 2120 cal.

Двигатели жидкаго топлива

N N ..... 39 ..... 40 ..... 67.

Brayton 1878 — бензинов. дв.; Дизель 1897 ..... 4-т Дизель М.А.Н. 1906.

q_e = ... 8800 cal. ..... 2500 cal. ..... 1850 cal.

Гемп. 25.

Б. Опредѣленія парадной и рабочей экономичности и разница

между ними: парадная – соотвѣтствуетъ полной нагрузкѣ, нормальному ходу и лучшему тепловому результату рабочаго процесса; рабочая – всегда хуже парадной. Это представляетъ основной факторъ оцѣнки технической, экономичности и расчета эксплоатаціи.

(III) Факторы уклоненія рабочей экономичности отъ парадной.

Расходъ на растопку примѣры расчета.

7237 Иллюстраціей отдачи тепла при остываніи котла могутъ служить наблюденія надъ локомобильными котлами.

7333 (IV) Расходъ на прогаръ генератора (Kitzbuch, Josse, Urbain)

3521 Примѣръ расхода на прогаръ газосасывающей установки въ 700 л.с.

(5.) Вліяніе неплотностей замѣтно, но часто преувеличивается для машины.

8001 Примѣръ – Одноцилиндровая машина съ конденсаціей 200 Л.С. $P_z = 7{,}25$ ат.а.; тепловая діаграмма;

$D_i = 22$ kg; $D_0 = 5{,}7$ kg; $\eta_i = 0{,}175$; при $\eta_e = 0{,}55$ и $\eta_m = 0{,}85$;

$q_e \sim 30000$ cal! $\eta_e \sim 2\%$.

{ Прямоточная машина Stumpf.
$D_i = 4{,}6$ kg и $q_e \sim 5400$ cal при $\eta_i = 0{,}73$; $\eta_e \sim 12\%$. }

Примѣръ иллюстрируетъ широту предѣловъ ухудшенія при плохой эксплоатаціи и установкѣ.

Примѣры – работы машины съ лопнувшимъ цилиндромъ, работы съ сильными неплотностями и разборкой золотниковъ.

7345 (VIII) Факторы ухудшенія въ двигателяхъ внутренняго сгоранія.

3521 Примѣръ – Газовсасывающая установка. – часовой расходъ топлива въ работѣ и при пріемочныхъ испытаніи.

Д. Совокупное дѣйствіе всѣхъ факторовъ увеличенія расхода

Трудности учета и вывода среднихъ значеній.

7294 Примѣръ Moelje – сопоставленіе локомобилей и двигателей Дизеля.

Особенности электрическихъ станцій –

высокія значенія Δ_1 и Δ_3, отчасти Δ_2

Примѣры: Центральная станція И.П.У.

7338 Графикъ нагрузки и расходъ топлива локомобильной установки.

7339 Графикъ нагрузки и расходъ топлива газовсасывающей установки.

3494 Данныя Josse для d на электрическихъ станціяхъ.

7113 Вліяніе увеличенія нагрузки станціи и улучшенія эксплоатаціи на повышеніе экономичности.

При непрерывной и постоянной работѣ результаты должны быть значительно выгоднѣе.

Примѣръ сопоставленія результатовъ парадныхъ и рабочихъ использованій шахтныхъ водоподъемныхъ машинъ.

1074 [M.F.A. Heft 23. – Baum und Hoffmann].

607
610 Данныя Ивахн для сопоставленія гарантируемыхъ и рабочихъ расходовъ топлива въ двигателяхъ газосгевающихъ, Дизеля и паровыхъ локомобиляхъ.

7346 IX Сводка прибавокъ къ парадному расходу топлива.

E. Расчетъ рабочаго расхода пара и топлива по парадному

7347 X для паровыхъ установокъ.

K. Зависимость экономичности двигателя отъ величины

1) Паровыя машины – факторы зависимости; ослабленіе зависимости съ перегрузкой.

Примерныя значенія: { отъ 100 до 500 Л.С. – увеличеніе η_e на 6 до 10 %
{ отъ 500 до 1500 Л.С. – увеличеніе η_e на 3 до 5 %

Поправки въ данныя Josse.

3477 2) Сопоставленіе экономичности паровыхъ установокъ по величинѣ – значительная зависимость экономичности отъ величины въ турбинахъ.

3483 3) Двигатели внутренняго сгоранія – независимость экономичности отъ величины.

З. Мощность двигателей.

Господствующая путаница „Номинальныя силы", примѣры: локомобили, нефтяные двигатели; волжскіе пароходы.

Практическое значеніе вопроса. Больныя стороны нѣкоторыхъ двигателей. Устарѣлость прежнихъ опредѣленій нормальной мощности, какъ наиболѣе экономичной.

7348 XI Употребительныя и предлагаемыя обозначенія.

Трудность проведенія въ жизнь раціональныхъ опредѣленій и обозначеній – вліяніе установившихся взглядовъ на свойства разныхъ двигателей по мощности.

И. Надежность дѣйствія.

Первостепенное практическое значеніе.

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность. (I)

Термодинамическій процессъ.

Q_1 – сообщенное отъ теплаго источника тепло.

Q_2 – отданное холодному источнику тепло.

AL – обращенное въ работу тепло. ($A = \frac{1}{427}$)

тепловой балансъ процесса: $Q_1 = AL + Q_2$ ..... (1)

коэффиціентъ полезнаго дѣйствія: $\eta = \frac{AL}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ ..... (2)

Дѣйствительный процессъ.

Q_1 – располагаемое въ теплопроизводительности топлива тепло.

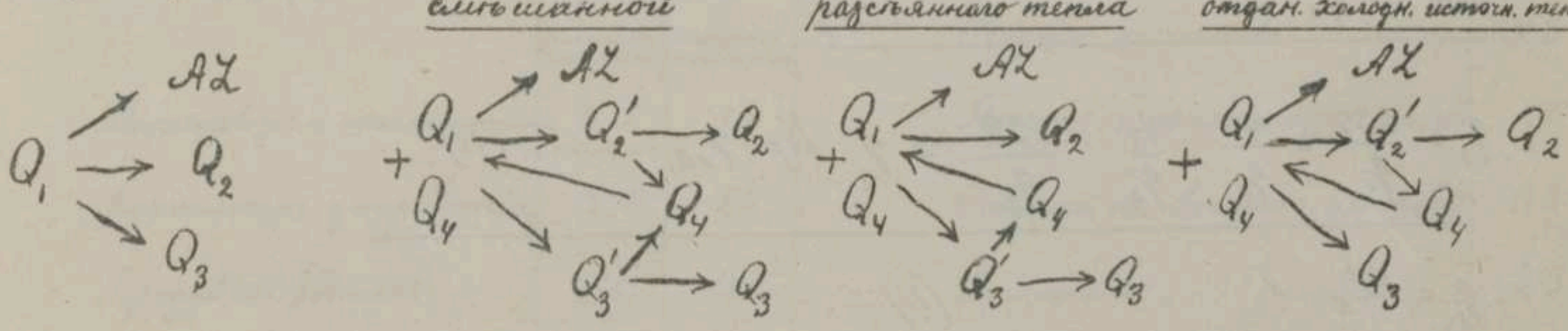
Q_2 – отданное холодному источнику тепло.

Q_3 – разсѣянное тепло.

Q_4 – регенерированное тепло; (м.б. $Q_4 = 0$; считается условно отъ нѣкотораго условнаго температурнаго уровня)

Схемы перехода тепла.

I Безъ регенераціи — II Съ регенераціей слитьшанной — III Съ регенераціей разсѣяннаго тепла — IV Съ регенераціей отдан. холодн. источн. тепла



тепловой балансъ процесса: $Q_1 = AL + Q_2 + Q_3$ ..... (3)

условный тепловой балансъ – можно было бы составить примѣнительно къ схемамъ II, III или IV, вводя во вторую часть промежуточныя или условныя значенія Q_2' и Q_3' и прибавляя въ первую часть Q_4; неупотребительно.

коэффиціентъ полезнаго дѣйствія: $\eta = \frac{AL}{Q_1} = \frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{Q_1}$ ..... (4)

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность.

На эффективный силочасъ (Э.С.Ч):

$632 = \frac{75 \cdot 3600}{427}$ – термическій эквиваментъ;

q_e – расходъ тепла-топлива;

$q_г$ – сообщенное въ генераторъ тепло;

q_1 – расходъ тепла потителя;

B_e – расходъ топлива;

$Q_в$ – теплопроизводительность рабочая (низшая).

Выраженія тепла и коэффиціентовъ полезнаго дѣйствія

$q_e = B_e \cdot Q_в$ ..... (5)

$\eta_э = \frac{632}{q_e}$ ..... (6) экономическій коэффиціентъ установки.

$\eta_г = \frac{q_г}{q_e}$ ..... (7) коэффиціентъ генераціи тепла.

$K_p = \frac{q_1}{q_г}$ ..... (8) условный коэффиціентъ регенераціи.

Для пара обычно: $K_p = \frac{i_1 - }{t_1 - t_c}$ теплосодержаніе отъ 0°С пара предъ двигат. т-ра питательной воды

$\eta_{ет} = \frac{632}{q_1}$ ..... (9) эффективный термическій коэффиціентъ

$\eta_э = \frac{632}{q_e} = \frac{q_г}{q_e} \cdot \frac{q_1}{q_г} \cdot \frac{632}{q_1} = \eta_г \cdot K_p \cdot \eta_{ет}$ ..... (10)

$\frac{q_1}{n} = D_e \cdot i_1$ ..... (11)

$\eta_г = \eta_у \cdot \eta_п$ ..... (12)

$\eta_{ет} = \eta_т \cdot \eta_e = \eta_т \cdot \eta_i \cdot \eta_м$ ... (13)

$= \frac{632}{q_1} = \frac{632}{q_1} \cdot \frac{q_п}{q_п} = \eta_т \eta_e$. где $q_п$ – действит. перепад тепла в двигателе

$\eta_т$ – зависитъ отъ типа процесса и предѣловъ температуръ его.

$\eta_e = \frac{632}{q_п} = \frac{632 \cdot \eta_i}{q_п \cdot q_i} = \eta_i \eta_т$.

q_i – расп. тепло (перепад)

$\eta_у$ – к.п.д. котельной установки

$\eta_п$ – к.п.д. паропровода

$\eta_т$ – термическій коэффиціентъ идеальнаго процесса

η_e – эффективный относительный коэффиціентъ.

η_i – индикаторный относительный коэффиціентъ

$\eta_м$ – механическій коэффиціентъ.

η_i – тепло воспринятое двигателем так процесс не идеальный в нем имеем учет тепл. дефор

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность

V

Служебный расходъ пара.

1) Расходъ на дутье - отъ 6 до 3% при наличности; до 0. при электричествѣ

2) Расходъ на насосы - отъ 6 до 3% при паровыхъ; до 0 при электричествѣ.

3) Расходъ на продувку котловъ и прогрѣвъ машинъ и паропроводовъ - отъ 6 до 3% въ зависимости отъ п и устройства.

Полный служебный расходъ въ зависимости отъ оборудованія котельной и степени нагрузки: отъ 18 до 9% при дутьѣ и насосахъ; отъ 6 до 3% - безъ нихъ; при неблагопріятныхъ условіяхъ можетъ повышаться значительно.

Примѣры

Электрическая машинная станція

2300 кв.

Общее распредѣленіе служебнаго расхода № 6998

Доли служебнаго расхода въ % отъ

	располаг. тепла топл.	получаго тепла пара
Паропроводы и неплотности	2,15	3,9
Вспомогат. устройства	3,10	5,6
Продувка котловъ.....	0,13	0,2
Паровое дутье топочное.	1,38	2,4
Итого.	6,76	12,1.

Крупная американская электрическая станція

Доли служебнаго расхода въ

	% отъ получ. тепла пара
Потеря паропроводовъ.....	0,3
Отдача на насосы	2,3
Потеря на неплотности и продувк	1,8
Отдача на вспомог. устройс.	0,6
Отопленіе	0,3
Отдача не долив. вспомог. устр.	0,3
Итого	5,6

Δ'_2 - прибавокъ на служебный расходъ пара;

Δ_2 - соотвѣтственный прибавокъ расхода топлива

при насыщенномъ парѣ обычно $\Delta_2 = \Delta'_2$

при перегрѣтомъ парѣ обычно $\Delta_2 < \Delta'_2$, вслѣдствіе использованія для служебныхъ цѣлей насыщеннаго пара полностью или частью Δ'_2 можно привести къ перегрѣву, соотвѣтственно тепло-содержанія.

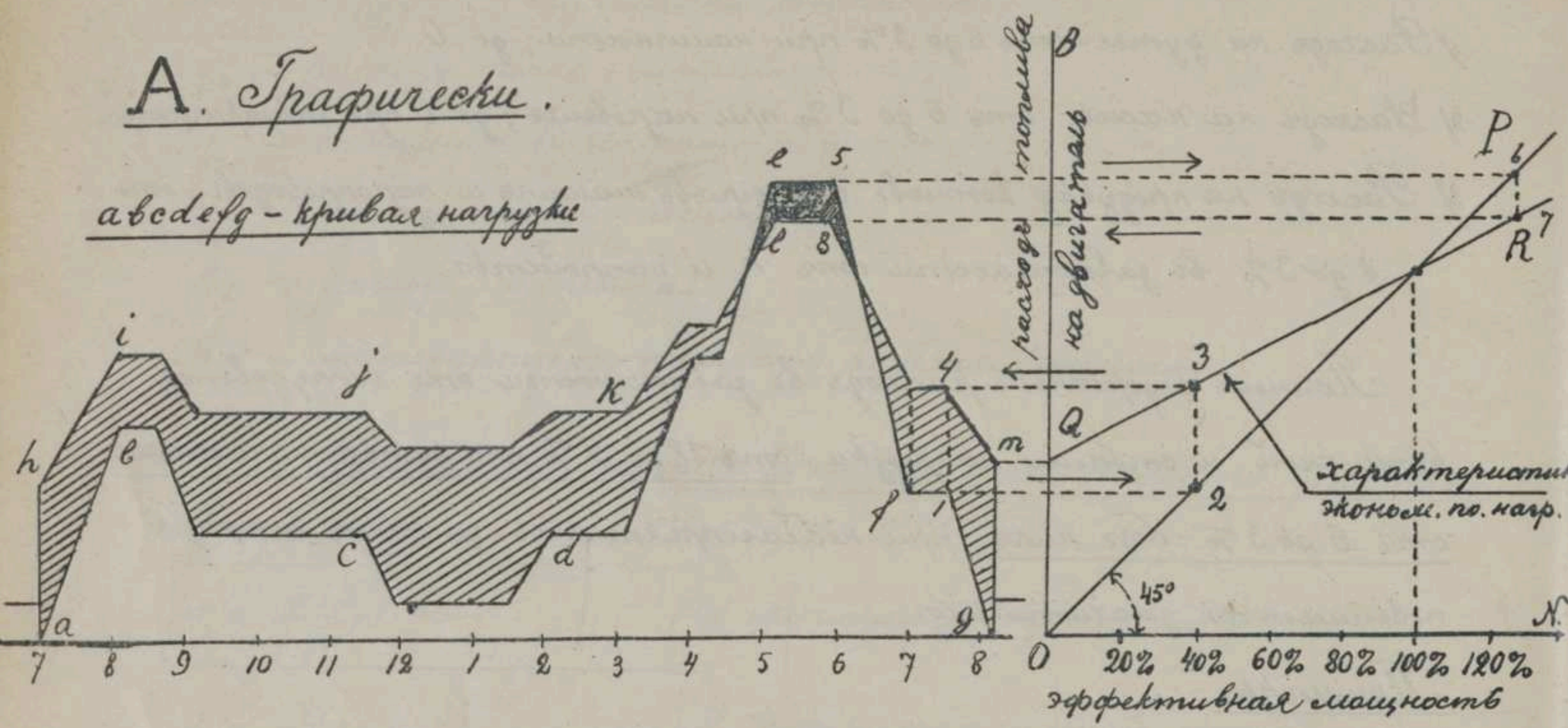
V

Тепловыя силовыя станціи.

Техническая экономичность.

Опредѣленіе прибавка по нагрузкѣ Δ_3

А. Графически.



Прибавокъ расхода по нагрузкѣ - f(экономичности двигателя по нагрузкѣ и закона измѣненія нагрузки)

$$\Delta_3 = \frac{\text{▨} - \text{■}}{\square} = \frac{\text{площ. } abcdefgmnlkjiha - \text{площ } l\,85\,e}{\text{площ. } abcdefga}$$

Варіаціи Δ_3 очень разнообразны.

Δ_3 стоитъ въ прямой зависимости отъ степени уклоненія - дѣйствительной характеристики QR отъ идеальной OP

Δ_3 стоитъ въ прямой зависимости отъ степени уклоненія нагрузки отъ полной (въ сторону уменьшенія)

Б. Аналитически

Суточная, годичная и т п нагрузка разбивается на ступени опредѣленной продолжительности и опредѣленной нагрузки.

Расчетомъ опредѣляется $1 + \Delta_3$.

15

(6)

Тепловыя силовыя станціи

Лекція III

Современныя паровыя машины.

А. Рабочій процессъ.

7368 (XV) Употребительные предѣлы давленій и температуръ.

7369. (XVI) Идеальный процессъ съ полнымъ и ограниченнымъ расширеніемъ.

5013. Термическій коэффиціентъ η_m и расходъ тепла

5009 Вліяніе перегрѣва на экономичность идеальнаго процесса.

7370 (XVII) Дѣйствительный процессъ.

Расходъ пара. Расходъ тепла. Индикаторный коэффиціентъ η_i и факторы

8002 его обусловливающіе. Примѣръ: тепловая діаграмма одноцилиндровой

машины. – категоріи потерь. Вліяніе перегрѣва на дѣйствительн. процессъ.

444. Сопоставленіе опытныхъ данныхъ. (Вечеръ).

3034. Средніе значенія φ_i для машинъ разныхъ типовъ въ зависимости отъ

перегрѣва. Вліяніе перегрѣва на отдѣльныя потери.

489 1) Обмѣнъ тепла пара со стѣнками (опыты Döbel); уменьше-

ніе теплоотдачи.

456 Увеличеніе средняго паросодержанія въ цилиндрѣ при расширеніи

при перегрѣвѣ.

2) Уменьшеніе потери отъ неполнаго расширенія.

465 Болѣе крутое паденіе линіи расширенія (на доскѣ).

Перераспредѣленіе мощностей между цилиндрами.

467 Переходъ на работу перегрѣвомъ.

7372 Опытныя значенія для показателей политропъ.

3039 Среднія значенія показателей политропъ.

3) Вліяніе вреднаго пространства (недостаточно оцѣнивается)

4) Сопротивленія впуска и выпуска;

потеря давленія вообще $\Delta_p = \zeta \cdot \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}$ $\gamma_{насыщ} > \gamma_{ненасыщ.}$, а $\zeta \sim$ одинаковы.

[redacted] ожъ неплотностей.

[redacted] выводъ: перегрѣвъ вліяетъ на всѣ потери рабочаго процесса,

16

увеличивая η_i, и вызвать тем сильнее, чем больше величина потерь, особенно потери от отдачи тепла стенкам при работе насыщенным паром.

452 Примеры изменения экономичности от перегрева для хороших машин.

Пример тепловых диаграмм тандем машины 250 л.с.

van der Kerchove - 1903 г.

1 Насыщенный пар; $P_a = 10$ at; $\eta_i = 0{,}66$; $q_i = 3530$;

2 Средний перегрев; 260°C; $\eta_i = 0{,}68$; $q_i = 3400$;

3 Сильный перегрев; 350°C; $\eta_i = 0{,}73$; $q_i = 3000$;

- характеристика изменения потерь.

8003 Сопоставление с машиной тройного расширения, работающей сухим паром; $P_a = 12$ at; $\eta_i = 0{,}70$; $q_i = 3450$;

Sulzer - 200 л.с. - 1897 г.

Упрощение рабочего процесса: роль двойного и простого расширения;

454 роль рубашек - проточный пар; температура стенок цилиндра.

Б. Главные рабочие органы.

Цилиндр и поршень.

Общия требования при перегреве. Равномерность температур. Форма, толщина стенок. Свобода расширения неодинаково нагретых частей.

Сопротивление изнашиванию

1111 Клапанный цилиндр для насыщенного пара.

Разные типы цилиндров для перегретого пара:

1289, 5581 а) вставная втулка и отдельныя клапанныя коробки.

5589 Цилиндры в вертикальной машине с перегревом.

1213. б) Цилиндры с чугунными клапанными коробками.

585, 820. в) Цилиндры с клапанными наконечниками.

5583 г) Сложная форма сдвоеннаго цилиндра машины тандем.

Поршни и их поддержка.

1116 а) Прежний тип широкого поршня

423 б) Легкий поршень паровоз

(7.)

17

Тепловыя силовыя станціи

Типы паровыхъ машинъ.

А. Простого расширенія.

Простота, компактность, сильная экономичность, работа съ противодавленіемъ.

113
1106

Клиланная Sulzer.

Золотниковая А.М.А. для сильно перегрѣтаго пара.

Безъ конденсаціи $D_i = 8-9$ кг.

Съ конденсаціей $D_i = 6-7$ кг

при сильномъ и среднемъ перегрѣвѣ.

Б. Горизонтальныя двойного расширенія.

Преобладаніе типа тандемъ. Преимущества - прочность фундамента и установки, уменьшеніе числа частей, работа съ промежуточнымъ уводомъ пара. Сокращеніе длины машины - задача ряда конструкцій.

134
105

Нормальный типъ.

Тяжелый типъ.

539

Укороченный типъ

154, 7138

Короткоходная тандемъ машина Lenz.

491

Тандемъ машина W. Schmidt.

5210

Тандемъ машина van der Kerchove съ разъемными

направляющими - затруднены

7305

Сдваиваніе машинъ тандемъ - удобство развитія

станціи.

$D_i = 4-5$ кг.

при сильномъ и среднемъ перегрѣвѣ.

Б. Горизонтальныя тройного расширенія.

49
50

Отжившій типъ - громоздкость, высокая стоимость, усложненіе ухода.

18

Г. Вертикальныя, двойного расширенія.

Компактность, затрудненіе ухода, сильная экономичность, удобство соединенія съ электрическими генераторами.

107 Быстроходная.

23 Золотниковая.

115 Закрытый типъ.

523 Тяжелый типъ.

111 Тяжелаго типа для сильно перегретаго пара A.M.A.G.

112 } Клапанная Zentz.
712 }

548 Тандемъ - неудобства для перегрева.

---

(8)

прямоточной машины в сообщ. полных и авторитетных отзывов с ней в литературе. 19

Динамические и конструктивные преимущества и недостатки.

7192 Диаграмма свободных усилий - влияние значительности поршневых усилий на конструкцию машины.

7191 Влияние вредных пространств на площадь диаграммы.

7193 Сообщение с конденсацией - свободный проход пара.

Объем пара в цилиндре: $\frac{\pi . D^2 S}{4}$;

площадь выпускных окон: $\alpha . \pi . D \times \beta . S$; α - доля окружности, β - доля хода.

Время выпускания обратно пропорционально n (числу оборотов);

Отсюда для сохранения постоянной скорости выпускания условие $Dn = \alpha\beta . C$ (C-const).

Со увеличением размеров обычно Dn - увеличивается, т.е. должно возрастать и произведение $\alpha.\beta$.

7195 Детали распределения - малочисленность и простота.

7194 Промежуточный отвод пара

Типы прямоточных машин:

7196 }
7050 } тип Stumpf.

6194 с клапанами Lentz.

7190 Действительные диаграммы.

7377 Машина двухпоршневая.

Преимущества и недостатки прямоточных машин.

Экономичность.

Простота и малочисленность частей.

Компактность установки.

Дешевизна

20

Регулируемость.

Большія усилія.

Громоздкость движущихся частей.

Тяжелыя условія для цилиндра.

Требованіе высокаго качества выполненія.

Общія перспективы для постоянныхъ, поршневыхъ паровыхъ машинъ:

работа на приводъ;

дешевое топливо;

конечное или промежуточное использованіе пара;

средняя мощность;

надежность;

простота и

дешевизна;

измѣненій числа оборотовъ.

9.

21

Приспособленность к разным топливам -

-зависит:

а) отп: генераторов для подготовки топлива;

б) условий образования смеси - смесительного устройства;

в) условий сгорания - типа процесса.

Вообще низкосортное, малоцетановое топливо представляет больше трудностей для работы.

Краткий обзор типов двигателей

I Двигатели жидкого топлива.

Преимущественное значение для промышленности

Б. двигателей малоцетанового топлива

Четырехтактные и двухтактные двигатели процесса Otto

Простота и компактность установки. Дешевизна. Быстрота пуска в ход. Малопоглотимость ухода. Меньшая экономичность сравнительно с двигателем Дизеля. Меньшая устойчивость рабочего процесса. Загрязнения при нефти и связь с ненадежностью работы. Ограниченность мощности.

Преимущественно малый двигатель.

Крупное значение для России нефтяных двигателей - малое - спиртовых.

Задачи русского машиностроения.

2035. Типы рабочего процесса - диаграмма Kitzbach.

употреб. для нефти { схема 3 с распыливанием. / схема 6

7325 Незаконченная выработка рабочего процесса и конструкции

Расход топлива - сопоставление с Дизелями.

22

возрастания при перегрузке

787 Быстроходный, сдвоенный двигатель О.М.Ф. Deutz.
(керосин – бензин)
4^хт тактные нефтяные и керосиновые двигатели.

2121. Горнсби.

7224. Петтерс

7239. Кроссли.
2^хт тактные двигатели –
– шведский тип – преимущественно с кривошипно-камерными насосами. – простота и дешевизна – при упрощении конструкций

3048. Аванс – пропеллерный калоризатор. – вдувание по оси-сзади.

7226 Боллиндер. – высокое сжатие – поздне впрыскивание нефти – пропеллерный калоризатор.

7225 Русский двигатель.
– карманный калоризатор – увеличенный расход топлива – загрязнение.
Некоторые русские двигатели по расходу топлива не уступают скоростным и спутным заграничным.

7039 Мунктель – ступенчатый поршень – увеличен подачи продув-очного воздуха.

Б. Двигатели процесса Дизеля.

Исключительно для малосортного топлива.
Выработанность конструкций в двигателях малой и средней мощности. Совершенство рабочего процесса. Высокая экономичность. Отзывчивость ухода. Дороговизна. Незаконченность конструктивного развития крупных двигателей. Долгие сроки поставки. Неустойчивость цены. Прилоры.

7298 Значение двигателей Дизеля для России.
Перспективы русского машиностроения. Роль массовой

Тепловыя силовыя станціи

IX

Техническая экономичность

Сводка прибавокъ къ парадному расходу.

А. Хорошія условія эксплоатаціи, непрерывная работа, полная постоянная нагрузка.

△	Паровыя установ.		Установки двигателей внутр сг.			
	Отд. котлы и машина или турбина	Локомоб. съ перегрев.	Газовасывающая	Двигатель Дизеля	Нефтян. дв. прощ. Отто	Светильно-газов. двигат.
Δ_1	0,02	0,02	0,05	–	–	–
Δ_2	0,08	0,03	–	–	–	–
Δ_3	–	–	–	–	–	–
Δ_4	0,15	0,10	0,15	0,05	0,10	0,05
Σ	0,25	0,15	0,20	0,05	0,10	0,05

Б. Хорошія условія эксплоатаціи, дневная работа, колеблющаяся отъ половинной до полной нагрузки.

Δ_1	0,12	0,12	0,15	–	0,02	–
Δ_2	0,08	0,03	–	–	–	–
Δ_3	0,05	0,05	0,20	0,05	0,13	0,15
Δ_4	0,15	0,10	0,15	0,05	0,10	0,05
Σ	0,40	0,30	0,50	0,10	0,25	0,20

Примѣчанія: 1) Всѣ цифры отдѣльныхъ и суммарныхъ прибавокъ имѣютъ значеніе только грубыхъ приближенныхъ;

2) при посредственныхъ и плохихъ условіяхъ эксплоатаціи Δ_1 и Δ_2, а особенно Δ_4 - могутъ увеличиваться весьма значительно;

3) при турбинахъ малой и средней мощности въ случаѣ Б - можно увеличить Δ_3 ~ до 0,10.

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность.

Расчетъ рабочаго расхода пара по парадному.

N_2 – Годичная отдача работы въ тысячахъ Э.С.Ч.

D_e – Парадный расходъ пара на Э.С.Ч въ кг.

i_1 – Теплосодержаніе отъ 0°C рабочаго пара въ cal/kg.

i_1' – Теплосодержаніе служебнаго пара въ cal/kg.

t_0 – Температура питательной воды до подогрѣва.

Δ_2' – }
Δ_3' – } Прибавки на служебный расходъ, на нагрузку, на ухудшеніе въ расходъ пара
Δ_4' – } относительно парадного.

D_2 – Годичный расходъ пара въ tn.

B_2 – Годичный расходъ топлива въ tn.

Q_2 – Годичный расходъ тепла пара въ k.cal./тысяч. cal./.

η_2 – Парадный коэффиціентъ генераціи; $(\eta_y \cdot \eta_n = \eta_2)$.

Δ_4'' – Ухудшеніе η_2 относительно парадного

$$D_2 = D_e \left(1 + \Delta_2' + \Delta_3' + \Delta_4'\right) \cdot N_2 \quad \ldots\ldots (19)$$

$$Q_2 = D_e \left(1 + \Delta_2' \cdot \frac{i_1' - t_0}{i_1 - t_0} + \Delta_3' + \Delta_4'\right)(i_1 - t_0) \cdot N_2 \quad \ldots\ldots (20)$$

$$B_2 = \frac{D_e}{Q_B}\left[1 + \Delta_2' \frac{i_1' - t_0}{i_1 - t_0} + \Delta_3' + \Delta_4'\right](i_1 - t_0) \cdot \frac{1 + \Delta_1}{\eta_2 - \Delta_4''} \cdot N_2 \quad \ldots\ldots (21)$$

Для перехода на 1 Э.С.Ч. уравненія (19), (20) и (21) раздѣлить на N_2.

Сравнительно съ уравненіемъ (15) Δ_1 – введено добавочно множителемъ въ $\Delta_2' + \Delta_3' + \Delta_4'$ – вліяетъ сильнѣе, чѣмъ уравненіе (15) (III)

Δ_3' – слѣдуетъ опредѣлить по (VI)

Δ_4' – можно оцѣнивать въ соотвѣтствіи съ (VII)

Δ_2' – въ серьезныхъ случаяхъ слѣдуетъ подсчитывать по отдѣльнымъ слагаемымъ.

Тепловыя силовыя станціи

XIII

Надежность дѣйствія

Общія условія надежности дѣйствія.

1) Приближеніе къ границамъ надежности въ томъ или иномъ отношеніи – удѣльѣ всѣхъ прогрессирующихъ движеній.

2) Качество матеріаловъ – для главныхъ рабочихъ органовъ и движущихся частей.

3) Точность выполненія для частей связанныхъ относительными движеніями.

4) Конструкція частей – въ смыслѣ соотвѣтствія размѣровъ и формъ условіямъ ихъ работы.

5) Устройство смазки – въ смыслѣ обезпеченія ея во всѣхъ необходимыхъ мѣстахъ и облегченія ея контроля – до автоматичности дѣйствія.

6) Устройство регулирующихъ и предохранительныхъ приспособленій – въ соотвѣтствіи съ техническими требованіями и полицейскими предписаніями.

7) Правильный монтажъ отдѣльныхъ элементовъ въ установкѣ.

8) Правильный проектъ и выполненіе установки въ цѣломъ – основное условіе – въ смыслѣ обезпеченія технической цѣлесообразности и полноты комбинаціи отдѣльныхъ элементовъ.

9) Раздѣльность функцій органовъ въ рабочемъ процессѣ.

10) Контролируемость дѣйствія рабочихъ органовъ.

11) Контролируемость хода рабочаго процесса.

12) Правильный уходъ – въ смыслѣ его достаточности, тщательности и сознательности.

13) Правильный техническій надзоръ – для контроля правильности ухода, правильности хода рабочаго процесса, правильности дѣйствія и содержанія элементовъ установки; основное условіе.

14) Своевременный и правильный ремонтъ – въ смыслѣ устраненія поврежденныхъ частей или ихъ поправки.

15) Отсутствіе злоупотребленій форсировкой какихъ либо частей установки или общаго ея рабочаго процесса – перегрузки.

16) Примѣненіе соотвѣтственнаго качества матеріаловъ для рабочаго процесса и вспомогательныхъ; основное условіе.

Тепловыя силовыя станціи

XIV

Приспособленность къ условіямъ назначенія.

А Требованія производства

1) Приспособляемость къ измѣненію условій рабочаго процесса въ смыслѣ нагрузки, качества матеріаловъ, скорости хода и проч.

2) Способность къ перегрузкѣ - для преодолѣнія кратковременныхъ регулярныхъ или случайныхъ увеличеній нагрузки.

3) Равномѣрность хода двигателей - при установившемся ходѣ за одинъ оборотъ и при измѣненіи нагрузки - регулированіе.

4) Пускъ въ ходъ двигателя готоваго топлива и двигателя съ генераторами тепла; двигателя съ однородностью физическаго процесса пуска и работы и съ разнородностью ихъ.

5) Обращеніе хода - реверсированіе. - чисто спеціальное требованіе.

6) Предѣлы удобныхъ мощностей и размѣры единицъ - въ соотвѣтствіи свойствъ двигателей съ потребностями производства.

7) Соединеніе съ рабочими машинами - непосредственное и съ передачей - возвратно поступательное и вращательное движенія двигателей и рабочихъ машинъ; цѣлесообразныя скорости.

8) Возможность использованія отбросовъ производства для топлива.

9) Возможность использованія отдаваемаго двигателями тепла для производства комбинированіе силовой и нагрѣвательной установокъ съ точки зрѣнія потребностей двигателя и производства.

Б. Мѣстныя условія.

10) Соотвѣтствіе законодательнымъ ограниченіямъ общимъ и спеціальнымъ установленнымъ нормамъ: безопасности и санитаріи;

11) Занимое установкой мѣсто - по площади, объему, характеру расположенія.

12) Фундаментированіе и зданія - соотвѣтствіе мѣстнымъ строительнымъ условіямъ.

13) Зависимость установки отъ условій снабженія матеріалами и удаленія отбросовъ - топливо, вода, отбросы - техническія условія.

14) Вліяніе установки на мѣстныя условія - нагрѣваніе, шумъ, дрожаніе, запахи, загрязненіе почвы, воды и воздуха.

15) Вопросы доставки частей установки, монтажа и ремонта въ зависимости отъ мѣстныхъ средствъ транспорта и ремонта.

Тепловыя силовыя станціи

XVII

Паровыя машины

Дѣйствительный процессъ.

D_i – расходъ пара въ kg. на И. С. Ч.;

q_i – расходъ тепла въ cal. на И. С. Ч. отъ 0°C;

q_i' – расходъ тепла въ cal. на И. С. Ч. отъ t_o;

AL_i – индикаторная работа 1 kg. пара въ cal.

$$AL_i = \frac{632}{D_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9) \ldots\ldots$$

$q_i = D_i \cdot i_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$ сравнимо для разныхъ машинъ.

$q_i' = D_i(i_i - t_o) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$ исключительно для одной машины.

$\eta_{im} = \frac{632}{q_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$ η_{im} индикаторный термическій коэффиціентъ

$\frac{\eta_{im}}{\eta_m} = \eta_i$ – индикаторный коэффиціентъ.

$\eta_{im} = \eta_i \cdot \eta_m$ $\eta_{e.m} = \eta_{im} \cdot \eta_m$

$$\eta_i = \frac{q_o}{q_i} = \frac{D_o}{D_i} = \frac{AL_i}{AL_o} \quad \ldots\ldots (13)$$

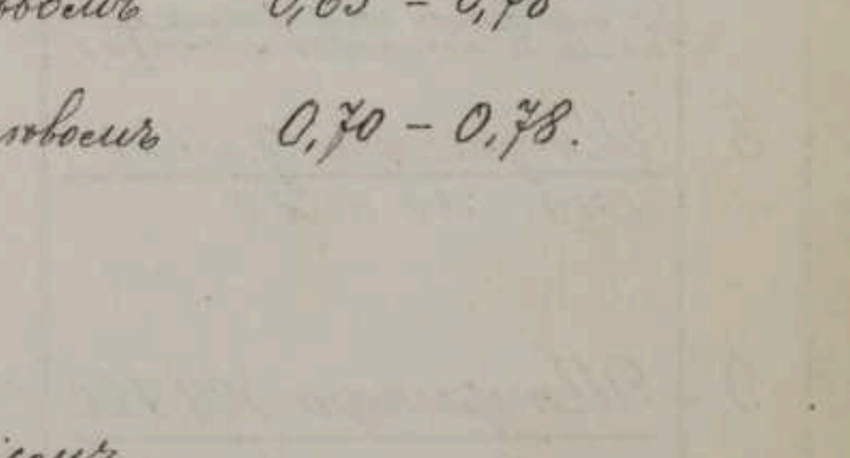
Значенія η_i для разныхъ типовъ машинъ:

простого расшир. безъ конденс.	0,50 до 0,75;	съ перегрѣвомъ – 0,75 – 0,90.
простого расшир. съ конденс.	0,40 до 0,58;	съ перегрѣвомъ – 0,50 – 0,65.
двойного расшир. безъ конденс.	0,60 до 0,85;	съ перегрѣвомъ – 0,80 – 0,90.
двойного расшир. съ конденс.	0,55 до 0,65;	съ перегрѣвомъ 0,65 – 0,78
тройного расшир. съ конденс	0,65 до 0,72;	съ перегрѣвомъ 0,70 – 0,78.

Для процесса съ ограниченнымъ расширеніемъ.

$\eta_g = \frac{\eta_{im}}{\eta_m} = \frac{D_o'}{D_i} = \frac{AL_i}{AL_o'} \quad \ldots\ldots (14)$ η_g (Gütergrad) коэффиціентъ совершенства

$\eta_g > \eta_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$



Паровыя силовыя станціи

XVIII

Паровыя машины.

Сопоставленіе машинъ простого расширенія съ конденсаціей

№ №	Типъ машины и распредѣленія; годъ испытанія.	Діаметръ. ходъ п.	Вр. простр. S	P_1 at	$t_1°C$ Н. насыщ. паръ	P_0 at	ε степень расшир.	D_0'	D_i	$\eta_g = \frac{D_0'}{D_i}$
1	Клапанная, Augsburg 1876; 260 И.Л.С. сдвоен.	575 / 1150; 48	2,4%	6,5	Н	0,096	7,3	5,40	8,02	0,67
2	Клапанная, Augsburg 1905; 120 И.Л.С.	416 / 1001; 81	4,8%	7,9	Н	0,065	7,9	5,13	8,25	0,62
3	та-же	"	"	11,2	Н	0,083	10,3	4,71	7,70	0,61
4	та-же	"	"	11,2	225°	0,053	10.	4,41	7,46	0,59
5	та-же	"	"	11,2	310°	0,050	9,5	3,94	6,57	0,60
6	Карпусса-Creusot 1883, 180 И.Л.С.	550 / 1100; 59	3,6%	5,3	Н	0,09	около 6	5,53	7,76	0,71.
7	Карпусса-Weyher & Richemond. 1898; 300. И.Л.С. (съ плоскими поворотными кранами въ крышкахъ цилиндра.)	650 / 1300; 60	1,1%	8,0	Н	0,13	около 12	4,88	6,55	0,75
8	Штумпфа Д.-М.А. 1910. 140 И.Л.С.	?	—	10,7	340°	оцѣнено 0,05	оцѣнено 9	3,68	4,38	0,84
9	Штумпфа 300. И.Л.С. по сообщ. проф. Stumpf.	?	оцѣн. 1,5%	10	Н	оцѣнено 0,05	10	4,63	5,03	0,92
				съ рубашкой						
10	та-же	"	"	10	Н	оцѣнено 0,05	10	4,63	5,89	0,78.
				безъ рубашки						
11	та-же	"	"	10	325°	оцѣнено 0,05	оцѣнок. 9	3,83	4,21	0,91.

$p_i = 1\frac{1}{2}$ at

к этому типу поль увеличив двойным действием

(10.) а/ горизонтальный – доступность частей, малая высота помещения, большой фундамент.

7237 простой;

7311 двойной – компактность установки;

7235 сдвоенный;

7238 двойной сдвоенный;

7246 тандем;

б/ вертикальный – компактность, удобства сочетания, малая площадь, значительная высота помещения.

239 Гюльднер.

7233, 7243 4-х цилиндровый S.L.M.F.

6315, 7245 Закрытый тип Campbell Co.

792 Тандем ... Westinghaus Co

Типы газовых двигателей двойного действия –

ограниченность значения за исключением металлургической промышленности.

Слабая сторона: а/ усложненное водяное охлаждение;

б/ меньшая доступность частей;

в/ большая связанность работы отдельных цилиндров и полостей, чем в двигателях простого действия;

г/ самовпуски, поршни;

е/ большая сложность ухода.

Преимущества: а/ хорошее использование механизма;

б/ компактность;

в/ дешевизна при больших мощностях.

3270 Сопоставление экономичности доменно-газовой и паровой установки (теперь для пара η_3 до 15% в крупных установках)

3271 Тепловой баланс доменной и коксовальной печи).

2042 Двигатель двойного действия (20 л.с. – иллюстрация увеличения типов.

Моск. Высш. Техн. – Машиностр. Ин-т
БИБЛИОТЕКА
им. Н. Э. БАУМАНА

30

Стремление къ упрощению конструкции и повышению надежности дѣйствія.

276,324 Нюрнбергскій двигатель;

312 доступъ къ частямъ двигателя тандемъ - удобство ухода,

качественное регулированіе.

7242 двигатель S.L.M.F.

321 двигатель Reichenback - образчикъ тонкостей конструированія.

Двигатели двухтактные:

- ограниченность сферы примѣненія; - сложность продувки и запопненія цилиндра; - большая работа насосовъ; ненадежность; сменьшая конструктивная выработанность;

250 типъ Ochelhäuser;

751 типъ Körting;



Основные типы использованія малоцѣннаго топлива.

1) Непосредственное и самостоятельное газообразованіе и использованіе - только тепловой энергіи въ двигателѣ.

(Германскій типъ)

Примѣръ - генераторъ G.M.A. съ опрокинутымъ горѣніемъ для торфа, опилокъ стружекъ и пр..

7387 Рядъ заводовъ занятъ выработкой и постройкой подобныхъ газопроизводителей.

Простота установки. Внимательность ухода.

Вѣроятность ограниченій въ примѣненіи топлива.

$\eta_г$ - 0,86 - 0,90 при η_{em} = 0,25 $\eta_э$ - 0,21 - 0,23

(Z. d. V. d. I. 1911 № 10).

B_e - 1,2 - 0,8 кг торфа съ 40% влажности.

2) Непосредственное газообразованіе съ добавочнымъ топливомъ и использованіе только тепловой

(11.)

Паровыя силовыя станціи

Лекція V

Паровые локомобили

А. Общія соображенія

Предѣлы размѣровъ и типовъ.

43 Малый, перевозный локомобиль съ перегрѣвомъ

16 Л. С., $q_c = 7800$ cal.

7008 Крупный полулокомобиль съ перегрѣвомъ

600 Л. С., $q_c = 3700$ cal.

5945 Развитіе экономичности - хронологическая діаграмма.

Техническій локомобиль представляетъ: полную паровую установку, соединенную въ одно-конструктивное и неизмѣнное цѣлое, причемъ котелъ служитъ фундаментомъ и отчасти рамой машины и вся установка можетъ быть перемѣщаема въ цѣломъ.

Основныя свойства:

а/ высокая экономичность - при условіи экономичной работы котла - вслѣдствіе отпаденія ряда тепловыхъ потерь и выгоднаго использованія пара машиной.

б/ высокая надежность дѣйствія - вслѣдствіе конструктивной выработанности и простоты частей, прочности, наглядности и компактности установки, облегчающихъ уходъ, высокаго качества выполненія, вслѣдствіе примѣненія массовой фабрикаціи, спеціализаціи заводовъ и законченности выполненія, почти всей установки на заводѣ.

Ограниченная приспособленность къ условіямъ назначенія - вслѣдствіе законченности комбинаціи частей въ установку и малой свободы перемѣщенія ихъ

32

соотношений, вследствіе ограниченности мощности, дорого-
визны резерва, тяжести крупныхъ единицъ.

Сферы примѣненія – сельское хозяйство, всякія пере-
движныя установки, промышленныя постоянныя
установки малой и средней мощности.

Б. Главныя особенности котловъ локомобилей.

Два типа.

110 1/ Англійскій, паровозный: компактность, форсиров-
ка ($\frac{D_k}{H_к}$ – 30–36 kg/m² и выше), большая топка,
малый вѣсъ, малая экономичность ($\eta_к$ –
затруднительность очистки отъ накипи, отвычт-
ственность конструкціи топки.

7074 Котелъ H. Lanz.

109. Котелъ R. Garrett.

3800 2/ Нѣмецкій – цилиндрическій съ выдвижной жаровой
частью – простота конструкціи, меньшая форсиров-
ка ($\frac{D_k}{H_к}$ – 20–30 кг/м²), стѣсненная топка, большая
экономичность ($\eta_к$ –0,60–0,70), удобство очистки отъ
накипи, громоздкость и значительный вѣсъ.

Для большихъ мощностей – основной типъ.

502 Очистка отъ накипи.

Топки локомобильныхъ котловъ.

„Нормальная" – плоская рѣшетка – далеко не удовле
творительна для многихъ родовъ топлива.

„Спеціальныя" – недостаточно разработаны.

Универсальность локомобилей по топливу.

Примѣры топокъ:

7036 съ механической загрузкой.

Знакомъ пародувьевой топки для антрацита.

7075 Съ увеличенной плоской рѣшеткой – увеличеніе мощности
6189 уменьшеніе экономіи.

77 7

12. 509

Отзывчивость діаграммы

Плотность - по опытам Л.П.М. МТУ

Послѣ 4^хъ лѣтъ работы пропускъ на ходу золотника

Ц. В. Д. отъ 2 до 4 % расхода пара.

Поршневой золотникъ - теперь наиболѣе распространенный органъ.

б/ Клапана - распредѣленіе Lentz въ локомобиляхъ H. Lanz.

2147 расположеніе и форма цилиндровъ;

989; 7068; 7070 { приспособленность къ перегрѣву; легкость регулированія;
простота привода;

3797 отзывчивость діаграммы.

5/ Экономичность машины - подъ вліяніемъ 1-4 ago- §§

и тщательнаго выполненія.

5998 Тепловая діаграмма одноцилиндроваго локомобиля для насыщ.

пара, съ регулированіемъ смѣшеніемъ - самой прихотливой машины

28 Вліяніе повышенія давленія на экономичность.

Современныя давленія $P_к$ - 10-12 at. обычны.

8004 Тепловая діаграмма локомобиля компаундъ съ

конденсаціей, для насыщеннаго пара.

Разсмотрѣть

6 Комбинированныя индикаторныя діаграммы

локомобиля компаундъ съ перегрѣвомъ η_i, η_{it}, η.

10 Тепловая діаграмма локомобиля тандемъ съ

двойнымъ перегрѣвомъ

2484. Гидравлическій потеръ рабочаго процесса машины-

локомобиля съ двойнымъ перегрѣвомъ - шероховатость

всѣхъ потерь кромѣ неполноты расширенія.

5976 Выводъ. - цѣнность экономичности машины подъ

вліяніемъ перегрѣва.

б/ Конструкція частей машины.

а/ Цилиндры и поршни.

Сопряженность и отзывчивость мышцъ.

128 Одноцилиндровые локомобили - цилиндры с рубашкой

7230 Два цилиндра двойного локомобиля.

7030 Два цилиндра паровоза с поршнями - плоские рабочие поверхности цилиндров и паровпускные клапаны (без вспомогательных клапанов)

6186 Цилиндр прямоточного локомобиля.

Поршни плоского типа

Поршень - по опытам А. Пелл, имел 4% этого расхода пара, через поршень И. В. Д (на ходу) около 1% расхода пара в целом.

б/ Рама связь частей.

Полная рама обычно отсутствует.

6187 Рама прямоточного локомобиля.

6004 Полная связь - типа H. Lanz:

направляющая; шпанги; коренное седло.

Частичная связь и отсутствие непосредственной связи - крепит котла.

в/ Коренное седло, подшипники и балы.

3795 Седло типа H Lanz - опора листовых рессор, прикрепленных к котлу.

7028 Подшипник с листовыми рессорами.

7231 Коренной подшипник с цилиндрической опорой - простота, солидность, надежность действия.

Сложное напряжение в балах.

Одноцилиндровые малые локомобили до 300 кг/см².

Промышленные локомобили - 300-400 кг/см².

Общая динамика. Солидность и простота конструкций частей машины.

Г. Полная экономичность локомобильной установки.

999 Результаты испытаний локомобиля компаунд с перегревом.

(13)

у поршневой машины η_e – 0,65–0,74;

у турбины малой мощности η_e – 0,50–0,55;

усложненіе установки конденсаціей.

5) Самоходы и специальные типы.

7081 Локомобиль съ динамо.

506 Самоходъ

6198 Самоходъ

К. Локомобильныя установки и ихъ сопоставленіе съ постояннымъ.

2519 Локомобильная установка промышленнаго типа.

2553 Локомобильная установка съ насосами.

7082 Локомобильная установка въ 3300 л.с.

501 Сопоставленіе съ постоянной, по смыслу:

Преимущества локомобильныхъ установокъ:	Недостатки локомобильныхъ установокъ:
а) высшая экономичность;	а) дороговизна резерва и относительность использованія его;
б) высокое качество выполненія;	б) нецелесообразное соотношеніе между силой и паропроизводительностью котла.
в) простота, компактность и наглядность установки;	в) стѣсненіе использованія отдаваемаго тепла;
г) простота ухода;	г) ограниченіе размѣровъ единицъ;
д) высшая надежность работы при правильномъ уходѣ;	д) трудности доставки на мѣсто крупныхъ локомобилей.
е) быстрота и простота монтажа.	е) соблазнъ къ примитивному уходу;
	ж) некоторая приспособленность рыночныхъ типовъ;
	з) затрудненія въ передачѣ работы – приводъ.

Русскими техниками преимущества локомобилей недостаточно оцѣниваются и въ результатѣ получается увлеченіе болѣе сложными и, въ эксплоатаціонномъ отношеніи, менѣе выгоднымъ типами установокъ.

36

Тепловыя силовыя станціи.

Лекціи VI и VII.

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

А. Введеніе

Факторы развитія.

5200.

1) Приближеніе экономичности современныхъ тепловыхъ двигателей къ практическому предѣлу. – самая величина дальнѣйшихъ сбереженій.

2) Цѣлесообразность организаціи современныхъ техническихъ предпріятій и выработанность ихъ деталей: – металлургическая промышленность, производства питательныхъ продуктовъ и химическія; – слабость русской промышленности въ этомъ отношеніи; недочеты высшихъ техническихъ школъ.

3) Значеніе условій пункта 2го для цѣлесообразной организаціи теплового хозяйства и согласованія потребленія силы и тепла; послѣдніе открываютъ дорогу использованію тепла, отдаваемаго двигателями.

4) Высокія цѣны топлива – ихъ повышеніе послѣ 1905 года; – вліяніе на русскую промышленность.

5) Широкая сфера примѣненія въ промышленности: текстильная промышленность, обработка питательныхъ продуктовъ, химическія производства и прочія. отопительно-силовыя установки.

6) Крупныя экономическія выгоды при переустройствѣ старыхъ установокъ – обычно:

а) сбереженій отъ 20 до 40% и болѣе противъ прежняго расхода топлива.

Тепловыя силовыя станціи.

XXI

Двигатели внутренняго сгоранія.

Мощность:

N_e – полная эффективная мощность;

n – число оборотовъ въ 1';

$V_ц = F.S$ – рабочій объемъ цилиндра въ dm^3 { F-площ. поршня въ dm^2 ; S ходъ поршня въ dm.

P_i – среднее индикаторное давленій рабочей діаграмы въ at;

$\eta_м$ – механическій коэффиціентъ.

$$N_e = \frac{V_ц . n . P_i . \eta_м}{900} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$ для 4-такт. цил. прост. дѣйствія,

для 4-такт. цил. двойного дѣйствія и для 2 такт. цил. простого дѣйствія – знаменатель = 450; для 2 такт. цилиндра двойн. дѣйствія – знаменатель = 225.

Таблица ходовыхъ величинъ P_i, для полной мощности.

типы двигат.	Дизель.	нефтяные пром. Отто.		Керосиновые спиртовые	Свѣтильно-газовые.	Газогенераторные.
		4 такт.	2 такт.			
P_i въ at	6,5 до 7,0	3,0 до 3,5	2,0 до 2,5	3,75 до 4,0	5,5	4,0 до 4,5

Для перегрузки – максимальной мощности – запасъ около 20%.

Наиболѣе экономичные двигатели имѣютъ P_i выше или запасъ мощности на перегрузку – больше.

$\eta_м$ – въ зависимости отъ выполненія для 4такт. двигателей процесса Отто отъ 0,88 до 0,85; – для 2 такт. – отъ 0,85 до 0,75; для двигателей Дизеля отъ 0,80 до 0,77 – относя работу компрессора въ механическія сопротивленія.

При помощи оцѣнки $\eta_з$ или $\eta_{эл.}$ – можно расчетъ мощности вести по способу Гюльднера – по рабочему воздуху.

Тепловыя силовыя станціи.

XXII

Двигатели внутренняго сгоранія.

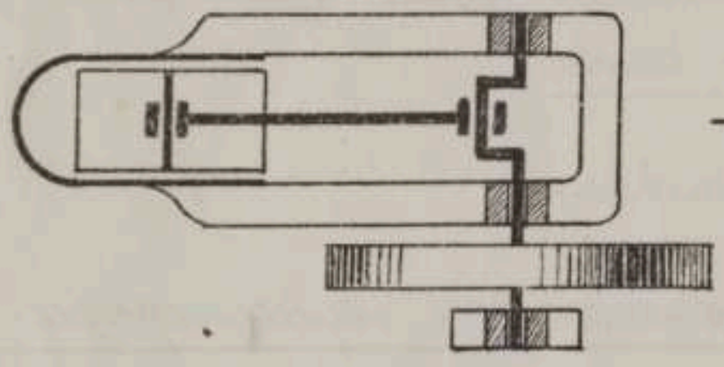
А. Удобные предѣлы мощности на одинъ цилиндръ.

типъ двигателя	Газовые двигатели.		Нефтяные двиг. Отто		Двигатели Дизеля		
	простого дѣйст.	двойн. дѣйст. 4такт.	4тактный	2тактный	4такт. прост. д.	2такт. прост. д.	4такт. дв. дѣйст.
№	175 - 225	1000	40 - 60	40 - 60	220	500?	?

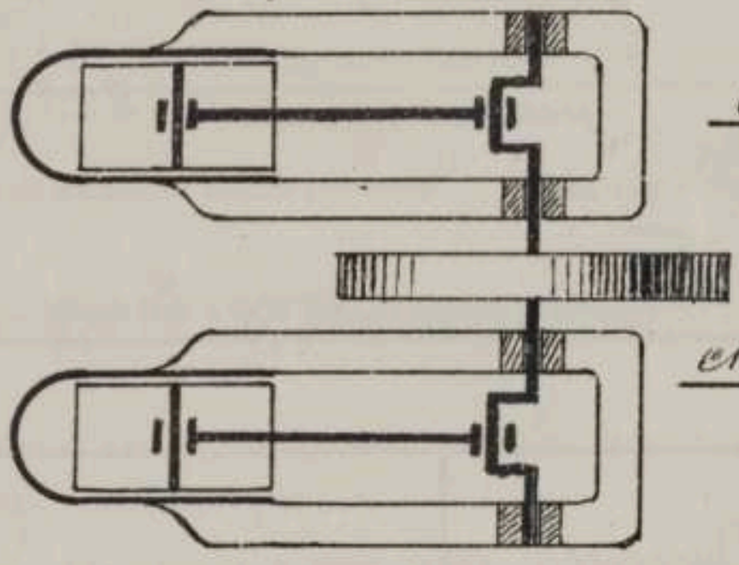
Эти цифры не являются фиксированными и съ развитіемъ двигателей могутъ измѣняться.

Б. Употребительныя сочетанія цилиндровъ.

Горизонтальные простого дѣйствія: (г - газовые); (жс - жидкаго топлива)



простой (1) г/жс

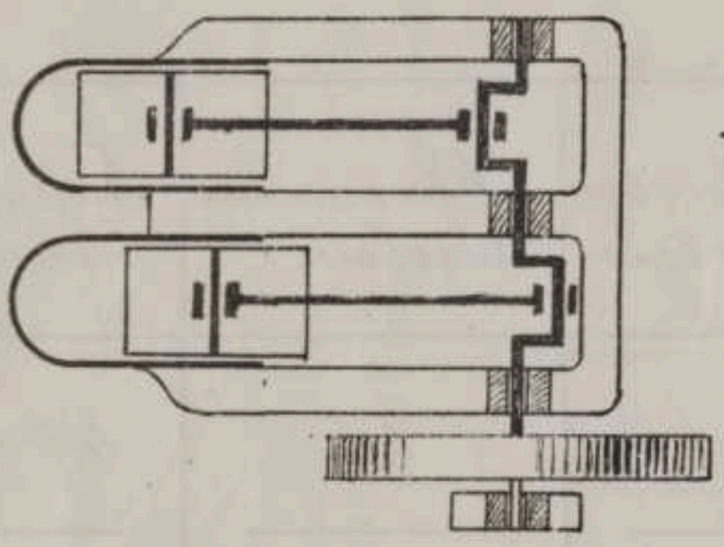


сдвоенный

или

спаренный

(2) г.



двойной (2) г/жс.

согласное 0°

или

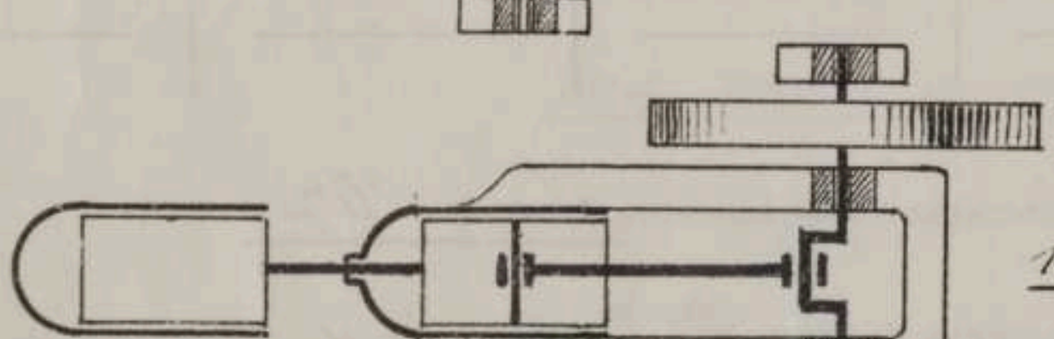
противоположные 180°

кривошипы.

двойной сдвоенный (4)

изъ двухъ двойныхъ

примущественно г.

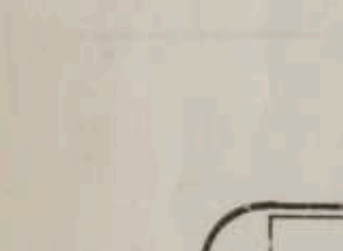


тандемъ (2) г.

Горизонтальные двойного дѣйствія:

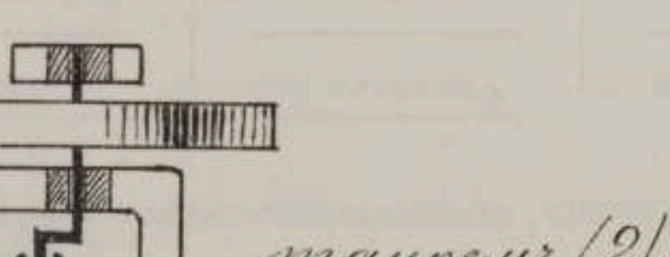
а) одноцилиндровый, б) сдвоенный, в) тандемъ, г) сдвоенный тандемъ.

Вертикальные:

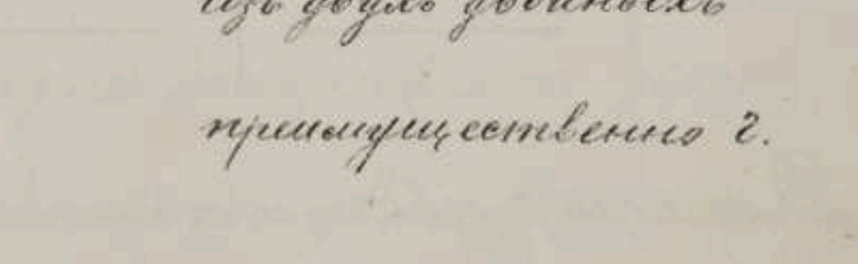


Одноцилиндровый.

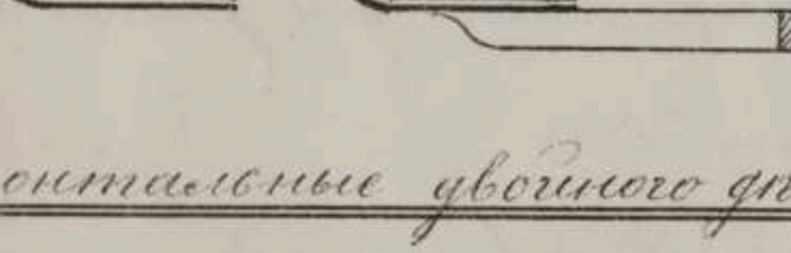
Двухцилиндровый.



Трехцилиндровый.



Четырехцилиндровый



Четырехцилиндровый

Шестицилиндровый - необычно для промышленности.

Вертикальные тандемъ простого дѣйствія

Вертикальные двойного дѣйствія.

Тепловыя силовыя станціи.

XXV

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Конечное использованіе въ паровыхъ установкахъ.

D_r - часовой расходъ пара чрезъ двигатель въ kg.

i_1 - теплосодержаніе пара отъ 0°C предъ двигателемъ.

$$Q_1 = D_r \cdot i_1 \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

AL_0 - располагаемое на 1kg. пара, для обращенія въ работу, тепло.

AL_e - обращаемое на 1kg пара въ эффективную работу тепло.

$$D_e = \frac{632}{AL_e} = \frac{D_r}{N_e} \quad \ldots\ldots (16) \text{ расходъ пара на Э.С.Ч. въ kg. (въ двигатель съ противодавленіемъ)}$$

$$\eta_{et.} = \frac{AL_e}{i_1} = \frac{632}{q_1} = \frac{632 N_e}{Q_1} \quad \ldots. (17) \text{ эффективный термическій коэффиціентъ.}$$

$$\eta_e = \frac{AL_e}{AL_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18) \text{ эффективный коэффиціентъ (относительный)}$$

D_n - часовой расходъ пара изъ двигателя на использованіе въ kg.

i_2 - теплосодержаніе отдаваемаго двигателемъ пара отъ 0°C.

D' - часовой отводъ конденсата изъ двигателя въ kg.

$\varepsilon = \frac{D'}{D_r}$ - коэффиціентъ потери конденсатомъ; $\varepsilon \geqslant 0$. $D' = \varepsilon D_r$.

(зависитъ главнымъ образомъ отъ t_1, p_1 и p_2)

Изъ уравненія (2) XXIII : $D_r \cdot i_1 = a \cdot 632 N_e + D_r (1-\varepsilon) \cdot i_2$; $\frac{632 N_e}{D_r} = AL_e$.

отсюда : $i_2 = \frac{i_1 - a \cdot AL_e}{1-\varepsilon} \quad \ldots\ldots 19$ здѣсь тепло конденсата - включено въ разсѣяніе.

$$a = \frac{i_1 - (1-\varepsilon) i_2}{AL_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19\,bis)$$

$$Q_n = D_n i_2 = D_n \frac{i_1 - a AL_e}{1-\varepsilon} \quad \ldots (20)$$

$$b = \frac{D_n}{D_r(1-\varepsilon)} = \frac{D_n}{D_r - D'} = \frac{D_n}{D_r - D'} \quad \ldots (21)$$

$$Q_n = b \cdot Q_2 = b(Q_1 - a \cdot 632 N_e) = b Q_1 (1 - a \cdot \eta_{et.}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

$$b = \frac{Q_n}{Q_1(1 - a \cdot \eta_{et.})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21\,bis).$$

b - въ прямой зависимости отъ $\eta_{et.}$

Тепловыя силовыя станціи XXVI

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Конечное использованіе въ паровой установкѣ.

Изъ уравненія (22) XXV и (5) XXIII

$$Q_{1n} = Q_1\left[1-b(1-a.\eta_{em})\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

$$q_{1n} = 632\left[\frac{1}{\eta_{em}} - b\left(\frac{1}{\eta_{em}} - a\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (23\,bis)$$

} чистый расходъ тепла носителя.

$$Q_{en} = Q_e\left[1-b(1-a.\eta_{em})\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$ чистый расходъ тепла топки.

$$q_{en} = \frac{632}{\eta_r}\left[\frac{1}{\eta_{em}} - b\left(\frac{1}{\eta_{em}} - a\right)\right] = \frac{632}{\eta_э}\left[1-b(1-a.\eta_{em})\right] \quad \ldots (24\,bis)$$

$$q_{en} = \frac{1}{\eta_r}\left[\frac{632.i_1}{AZ_0.\eta_e} - q_n\right] \quad \ldots\ldots\ldots (25)$$ для расчетовъ по I.S. діаграммамъ.

$$\eta_{эn} = \frac{632}{q_{en}} = \frac{\eta_э}{1-b(1-a.\eta_{em})} = \frac{\eta_r}{1/\eta_{em} - b(1/\eta_{em} - a)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_r}{\frac{i_1}{AZ_0.\eta_e} - b\left(\frac{i_1}{AZ_0\,\eta_e} - a\right)} \quad \ldots\ldots\ldots (27)$$ для расчетовъ по I.S. діаграммамъ

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_r}{\frac{i_1}{AZ_0\,\eta_e} = \frac{Q_n}{632\,N_e}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

если $b=1$ – полное использованіе, то:

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_r}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26\,bis)$$

приведенная экономичность при полномъ использованіи

опредѣляется только разсѣяніемъ тепла.

Тепловыя силовыя станціи.

XXIX

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Промежуточное использованіе въ паровой установкѣ.

Расчеты по TS діаграммѣ.

$$AL'_e = \eta'_e \cdot AL'_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (40) \text{ для C. B. D.}$$

$$AL''_e = \eta''_e \cdot AL''_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (40\text{ bis}) \text{ для C. H. D.}$$

здѣсь η'_e и η''_e — эффективные коэффиціенты C. B. D и C. H. D.

$$i'_2 = \frac{i_1 - a.AL'_e}{1-\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (41) \text{ по } i'_2\text{; по TS діаграммѣ находится } AL''_o$$

$$\eta'_{et} = \frac{AL'_e}{i_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (42)$$

$$\eta''_{et} = \frac{AL''_e}{i_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (43)$$

{ условный эффективный термическій коэффиціентъ C. H. D.; въ немъ столько бы въ знаменателѣ i'_2.

$$\mu = \frac{AL'_e}{AL'_e + (1-b')AL''_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (44) \ldots$$ изъ уравн. (32) XXVIII при помощи уравнен. (42) и (43).

$$\mu = \frac{AL'_e}{AL'_e + AL''_e}\left[1 + \frac{Q_n . AL''_e}{632 . N_e}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (44\text{ bis})$$

или $$\mu = \frac{AL'_e}{AL'_e + (1-\varepsilon)AL''_e}\left[1 + \frac{Q_n(1-\varepsilon)AL''_e}{632\,N_e(i_1 - a'AL'_e)}\right] \ldots (44\text{ bis. bis.}) \quad \text{если } \varepsilon > 0.$$

$$D_2 = \frac{632\,N_e}{AL'_e + (1-b')AL''_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (45)$$

$$D_2 = \frac{632\,N_e + D_n . AL''_e}{AL'_e + AL''_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (45\text{ bis}) \cdot$$ { если AL'_e и AL''_e = Const. то D_2 уравнен прямой — относительно N_e и D_n.

$$D_2 = \frac{632\,N_e + Q_n \frac{(1-\varepsilon)AL''_e}{i_1 - a'AL'_e}}{AL'_e + (1-\varepsilon)AL''_e} \quad \ldots\ldots\ldots (45\text{ bis. bis}) \quad \text{если } \varepsilon > 0$$

Де находится двѣнадцать уравнений: (45), (45 bis), (45 bis bis) на N_e.

Тепловая силовая станции

Использование отдаваемого двигателями тепла

Смешанное использование в паровой установке:

промежуточное использование после С.В.Д., конечное после С.Н.Д.

$$Q_1 = a'.\ 632.N_e' + Q_2' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (46)$$

$$\frac{Q_n'}{Q_2'} = b' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (47)$$ коэффициент промежуточного использов.

$$Q_1'' = (1-b')Q_2'' = a''.\ 632 N_e'' + Q_2'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (48)$$ пусть $a' = a'' = a$ для упрощения

$$\frac{Q_n''}{Q_2''} = b'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (49)$$ коэффициент конечного использования.

$$Q_n = Q_n' + Q_n'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (50)$$ полное используемое тепло.

$$Q_n = Q_1\left[b'\left(1-a.\eta'_{em}\right)+b''\left\{1-\frac{a.\eta'_{em}}{\mu}-b'\left(1-a.\eta''_{em}\right)\right\}\right] \ldots (51)$$

из уравнения (50) подстановкой для Q_n' и Q_n'' значений из уравнений (46, 47, 48, 49) и преобразований на основании уравнений синуса

$$q_{in} = \mu.632\left[\frac{1}{\eta'_{em}} - b'\left\{\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-a\right)+\frac{b''}{b'}\left[\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-\frac{a}{\mu}\right)-b'\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-a\right)\right]\right\}\right] \ldots\ldots\ldots (52)$$

$$q_{en} = \frac{q_{in}}{\eta_{г.}}$$ найдется делением уравнения (52) на $\eta_{г.}$

$$\eta_{эп} = \frac{\eta_г}{\mu\left[\frac{1}{\eta'_{em}} - b'\left\{\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-a\right)+\frac{b''}{b'}\left[\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-\frac{a}{\mu}\right)-b'\left(\frac{1}{\eta'_{em}}-a\right)\right]\right\}\right]} \ldots\ldots\ldots (53)$$

Тепловыя условія станціи.

XXXIII

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Примѣры для двигателей внутренняго сгоранія.

1) Теоретическій случай двигателя Дизеля;

$\eta_э = 0{,}34$; $a = 1{,}10$; $K_п = 0{,}90$; $\eta_2' = 0{,}7$; $b = 1$; $\eta_{эп} = 1{,}79$; $q_{эп} = 353$ cal.

2) Лучшій двигатель Дизеля.

$\eta_э = 0{,}34$; $\eta_2' = 0{,}8$; $K_п = 0{,}8$; $a = 1{,}15$; $b = 1{,}0$; $0{,}8$; $0{,}6$

$\eta_{эп}$ ..... $0{,}87$; $0{,}67$; $0{,}54$.

$q_{эп}$ ..... 730; 950; 1170.

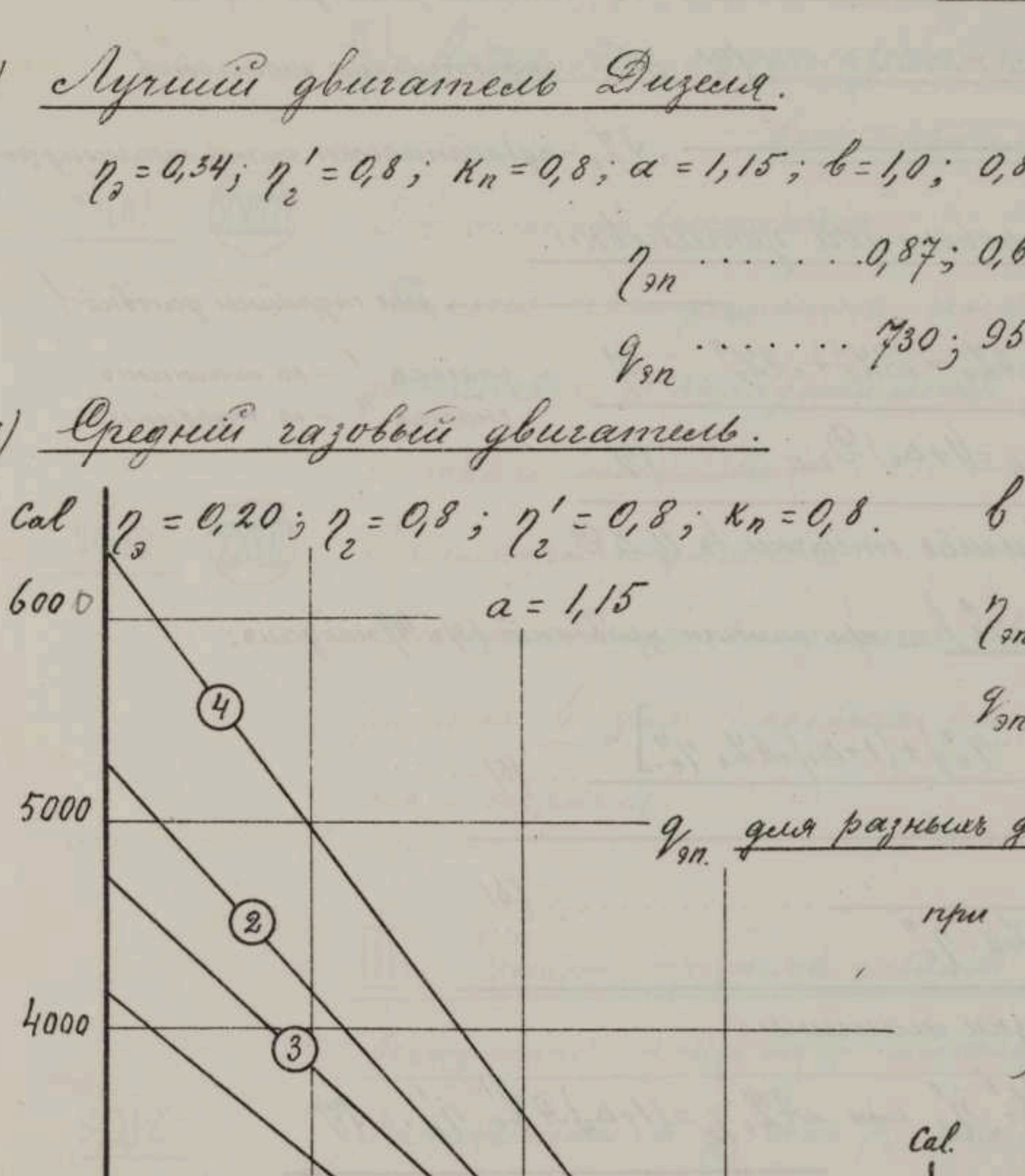
3) Средній газовый двигатель.

$\eta_э = 0{,}20$; $\eta_2 = 0{,}8$; $\eta_2' = 0{,}8$; $K_п = 0{,}8$. $a = 1{,}15$

$b = 1 - 0{,}8 - 0{,}6$

$\eta_{эп} - 0{,}58$; $0{,}46$; $0{,}36$

$q_{эп} - 1090$; 1370; 1760.



$q_{эп}$ для разныхъ двигателей конечнаго использованія при $b - 1 - 0{,}8 - 0{,}6$

1) Лучшая поршневая паровая маш. $\eta_2 = 0{,}85$; $P_1 = 16$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 5$ at.

2) Лучшая турбина. $\eta_2 = 0{,}85$; $P_1 = 16$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 5$ at.

3) Средняя поршн. паров. машина $\eta_2 = 0{,}80$; $P_1 = 12{,}5$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 3$ at.

4) Средняя турбина. $\eta_2 = 0{,}80$; $P_1 = 12{,}5$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 3$ at.

5) Средній газовый двигатель. $\eta_2 = 0{,}80$; $\eta_2' = 0{,}80$.

6) Лучшій двигат. Дизеля $\eta_2' = 0{,}80$

7) Теоретич. двиг. Дизеля. $\eta_2' = 0{,}70$.

b - коэффиціентъ использованія.

424

Тепловыя силовыя станціи.

XXXIV

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

А. Работа поршневой машины.

значекъ м относится къ машинной, а к къ комбинир. установкамъ

$$N_{см.} = \frac{D_{гм.} \Delta i_0 . \eta_e}{632} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$D_{см.} = \frac{632}{\Delta i_0 \eta_e} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

D_e – расходъ пара на Э.С.Ч.

$D_г$ – часовой расходъ пара.

N_e – эффективная мощность

Δi_0 – адіабатическое паденіе теплосодержанія

Б. Работа комбинированной установки.

→ для турбины условно!

Повышеніе вакуума: $(1+\Delta_1)\Delta i_0 = \Delta i_0' + \Delta i_0'' \ldots (3)$

значекъ ' – къ машинѣ
значекъ '' – къ турбинѣ

Увеличеніе расхода пара: $D_{гк.} = (1+\Delta_2) D_{гм} \ldots\ldots (4)$

– вслѣдствіе увеличенія отсѣчки въ Ц.В.Д.

$N_{ек.} = \frac{D_{гк.}(\Delta i_0' . \eta_e' + \Delta i_0'' . \eta_e'')}{632}$ – при помощи уравненій (3) и (4) найдемъ:

$$N_{ек} = \frac{(1+\Delta_2) D_{гм} \left[\Delta i_0' (\eta_e' - \eta_e'') + (1+\Delta_1) \Delta i_0 \eta_e''\right]}{632} \ldots (5)$$

$$D_{ек.} = \frac{632}{\Delta i_0' (\eta_e' - \eta_e'') + (1+\Delta_1) \Delta i_0 . \eta_e''} \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

условіе постоянства нагрузки машины:

$$D_{гм} . \Delta i_0 \eta_e = (1+\Delta_2) D_{гм} \Delta i_0' . \eta_e' \quad \text{или} \quad \Delta i_0 \eta_e = (1+\Delta_2) \Delta i_0' . \eta_e' \ldots (7)$$

изъ уравненія (7) находится Δ_2 или $\Delta i_0'$.

Увеличеніе мощности установки:

$$N_{ек} - N_{см.} = \frac{D_{гм}}{632} \left[(1+\Delta_2)\left\{\Delta i_0' (\eta_e' - \eta_e'') + \Delta_1 \Delta i_0 \eta_e''\right\} + \Delta_2 \Delta i_0 \eta_e'' - \Delta i_0 (\eta_e - \eta_e'')\right] \ldots (8)$$

Относительное увеличеніе мощности:

$$\frac{N_{ек} - N_{см}}{N_{см.}} \sim (1+\Delta_2) \frac{\Delta i_0'}{\Delta i_0} \frac{\eta_e' - \eta_e''}{\eta_e} + \Delta_1 \frac{\eta_e''}{\eta_e} + \Delta_2 \frac{\eta_e''}{\eta_e} \ldots\ldots\ldots (9)$$

Если соблюдено уравненіе (7) то:

$$N_{ек} - N_{см.} = \frac{(1+\Delta_2) D_{гм} \Delta i_0'' \eta_e''}{632} = \frac{(1+\Delta_2) D_{гм} \left[(1+\Delta_1)\Delta i_0 - \Delta i_0'\right] \eta_e''}{632} \ldots (10)$$

11

(14.)

— изменение термических условий работы двигателя задается, но не исследуется — это выделено особо. Исследуется общий результат $\eta_т$, $q_{en.}$ и т.д.

I) Конечное использование в паровых установках.

7394. XXV
7395 XXVI } Детальные выражения экономичности, расхода пара и т.д.

7396 XXVII Примеры подсчетов.

II) Конечное использование в двигателях внутреннего сгорания.

7401. XXXII Детальные выражения.

Влияние коэффициента генерации в нагревательной установке; парадоксальный результат для двигателей готового топлива.

7402 XXXIII Примеры подсчетов.

Сопоставление выгодности конечного использования, при разных в для паровых установок и двигателей внутреннего сгорания.

III) Влияние пределов давлений и температур пара на выгодность конечного использования.

5012 Зависимость $\eta_т$ от P_2 для работы с конденсацией и противодавлением — значительный проигрыш при переходе на противодавление.

4316 Зависимость $\eta_т$ от P_2 для работы с противодавлением.

4317 Зависимость q_0 от P_2 для работы с противодавлением.

5735. Зависимость D_c от P_2 при $\eta_e = 75\%$ — средняя тепловая машина.

η_e для паровых машин 0,50 – 0,85; при перегреве средне около 0,75.

η_e для турбин 0,50 – 0,65; среднее около 0,55 – 0,60.

Для уменьшения D_c — увеличения C — и повышения выгодности надо:

а)..... уменьшать противодавление P_2 — целесообразное устройство паропроводов и нагнетательных приборов;

б).... повышать давление P_1 (есть примеры 14-16 at);

в)..... понижать перегревов - t_1.

5732 Примеры из исполненных установок.

IV) Промежуточное использование

применяется только для паровых установок.

7397 XXVIII Детальные выражения.

7398 XXIX Расчет по TS диаграммам.

3034 Закон прямой для D_2 в зависимости от N_e или D_n

7400 XXXI Пример расчета.

V) Смешанное использование.

7399 XXX Общие выражения.



I. Действительный процесс.

1) Поршневая машина с противодавлением.

Опыты Eberle (Z. B. R. V. — 1907)

Значение работы

Опытные данные.

514. Влияние понижения вакуума

Значение изменений.

515 Индикаторные диаграммы

516 Значение понижения вакуума в компаунд машине.

517 Влияние противодавления.

Индикаторные диаграммы, типовые диаграммы.

Расход пара, G_d

(15)

A.M.A.G. строитъ также:

непрямого дѣйствія съ гидравлическимъ сервомоторомъ.

S.M.F.-ртутный весовой съ 2 сосудами

Дейр. Sulzer.-ртутный поплавковый.

Отношеніе объемовъ цилиндровъ т.

S.M.F. .... т. минимальный - 1,9

Y. Sulzer .... т - минимальный < 1,0

7312 -вліяніе на мощность и экономичность.

37 Индикаторныя діаграммы дѣйствительныя.

41 Колебаніе мощности.

III) Регулированіе скорости и давленія - при одновременномъ

измѣненіи расхода пара и силы въ одномъ направленіи

перестановка регуляторомъ распредѣленія больше:

39 для машины съ промежуточнымъ отводомъ;

4151 для машины съ противодавленіемъ;

38 регулировка давленія при промежуточномъ отводѣ;

3015 регулировка давленія при противодавленіи;

— дѣйствіе добавочнаго.

Потери давленія - сопротивленіе распредѣленія и

маслоотдѣлителя - 0,2 - 0,3 at.

IV) Очистка пара отъ масла

Маслоотдѣлители необходимы и практически

достаточны.

Опыты Eberle Z. 10. № 47, 48 и 50

на 1000 kg. пара 10-15 гр. масла (при обильной смазкѣ)

7415 Испытаніе маслоотдѣлителя.

Общія условія правильнаго дѣйствія

Устройство:

7022 Ударный ΔP .... 0,1 - 0,2 at. при противодавленіи.

48

573 Центробѣжный $\Delta P \sim 0{,}01 - 0{,}03$ at, при конденсаціи

7021 Центробѣжный, турбинный $\Delta P \sim 0{,}05 - 0{,}08$ at

при конденсаціи и противодавленіи.

К. Турбины съ отводомъ пара.

I) Съ противодавленіемъ - С.В.Д.

простота всего устройства.

7409 ..... G.H.H.

3031 ..... A.E.G.

6389 ..... B.B.-P.

3042 Испытаніе - 1000 K.W. - A.E.G.

1/1 —— 1/2 смятія 1/2 сопла.

η_{el} ..... 0,57 ..... 0,44 ..... 0,57.

21 кд. пара на 1 KW въ машинахъ при тѣхъ же условіяхъ 16 кд.

II) Съ промежуточнымъ заборомъ пара -

7412 - между С.В.Д и С.Н.Д. - отводъ

Граница ступеней опредѣляется требованіемъ P_2' и отчасти конструкціей.

Эластичность отвода пара по P_2' и количеству.

Регулированіе давленія отвода - смятіемъ пара при перепускѣ въ С.Н.Д.

7406 Устройство A.E.G

3035 Внѣшній видъ

4406 Разрѣзъ турбины B.B.-P.

5593 Измѣненія давленія и расходы пара въ турбинахъ съ промежуточнымъ отводомъ - при постоянной нагрузкѣ и перемѣнномъ отводѣ.

3. Сопоставленіе турбинъ съ поршневыми машинами.

3032 I) Эластичность турбинъ относительно предъловъ

16.

II — Ксеваренное и кожевенное
Мыловаренное и стеариновое
Писчебумажное.
Химическія производства.

III — Деревообдѣлочныя } для сушилокъ.
Торфообрѣзненное }

IV Текстильныя — Красильное
Отбѣльное
Ангренажное
Ткацкое.

V — Отопительно силовыя станціи

II) Примѣры выполненныхъ установокъ.

1) Красильная фабрика (Покровская м/ра Т-ва П. Н. Грязновъ)

3016 .. Установка.

5740 .. Паропроводъ 60 саж. 8" и 4"

5739 .. Работа паропровода.

3014. .. Расходъ пара чрезъ машину и на добавленіе $b = 0{,}995$

3015-3526 .. Колебанія расхода на производство и по частямъ.

Всего $K_1 + K_2$	Топливо нефть 30кп.	Смазка	Персонал.	Ремонтъ	коп. на K.W.h. Э.С.Ч.
0,69	0,28	0,12	0,14	0,15	
0,47	0,19	0,08	0,10	0,10	

2) Писчебумажная фабрика.

... Турбина съ промежуточн. отводомъ пара.

На 4 самочерпки D_n - 6000-7000 kg/h.

топливо на KWh ~ 0,45 коп. $K_1 + K_2$ ~ 0,65 коп.

На 1 kg. бумаги для сушки 3-4 kg. пара P_2 отъ 2 до 3 at. abs.

1041 Схемы проводки пара въ самочерпку.

Бо

3/ Пивоваренное производство.

36 Повышение экономичности съ увеличеніемъ использованія.

35 Схема проводки пара.

Установка R. Zeicht въ Voichingen a/d Filderm.

Въ работѣ 2 × 180 m² котла $P_к = 16$ at.

3 машины до 800 Л.С нормально

Аккумулированіе холода - регулированіемъ работы амміачнаго компрессора.

$D_ч$ отъ 4000 до 5000 кг/ч. Угля въ сутки до 8,5 тн. и больше.

4/ Торгоробрикетное. Zeuchhammerhütte:

3019 ..... тепловой потокъ.

3040 ..... Стоимость эксплоатаціи.

5/ Отопительно силовыя станціи.

а/ Промежуточный отводъ.

513 Станція изданія „Münchner Neueste Nachrichten"

2 × 120 m² водотрубныхъ котла $P_к = 10$ at ; $t_1 = 250°C$

300 Л.С. - тандемъ машина.

$D_i = 6,76$ кг. при 26% отвода изъ ресивера.

Паровая машина съ конденсаціей 100 Л.С.

4992 -использованіе, охлаждающей воды, поверхности конденсатора для отопленія : $t = 60-70°C$, а въ сильные морозы добавочный подогревъ изъ ресивера или свѣжимъ паромъ! до 80°C при $t = 60°C$ воды - вакуумъ въ ц.н.д - 60 ст.

Z. 10. № 6.

б/ Турбины низкаго давленія - конечное использованіе.

5738 Схема установки съ турбиной низкаго давленія A.E.G.

$P_к = 1,4$ ат. а. Постоянство установки

Стр 30. Нерке.

в/ Паровая машина съ противодавленіемъ - самое простое

616 ..... предѣлы выгодности

4413 .... подсчетъ Marzahn.

5ч

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Примѣры расчета расхода тепла по гарантіямъ.

Предлагаются: турбогенераторъ съ конденсаціей 1500 KW.

$D_e' = 6{,}5$ кг (KW) при $P_1 = 14$ at и $350°C$; $i_1 = 755$ cal.

$q_e' = 6{,}5 \times 755 = 4908$ cal; $\eta_{elm.} = 17{,}3\%$.

и турбогенераторъ съ промежуточнымъ отводомъ пара.

600 KW; $D_r = 12500$ кг; $P_1 = 14$ at и $350°C$; $D_n = 9000$ кг.

при $P_1'' = 5$ at и $t_1'' = 230°C$; $i_1'' = 700$ cal

$Q_r = 12500 . 755 - 9000 . 700 = 3138000$ cal.

на 1 KW: $q_e' = 5230$ cal; $\eta_{elm.n} = 16{,}5\%$.

т.е. использованіе 72% не даетъ выгоды сравнительно съ конденсаціей! — очевидная нелѣпость, благодаря неодинаковости запаса въ гарантіяхъ.

Поршневая машина 600 KW; $P_1 = 14$ at; $350°C$; $P_2' = 5$ at; $P_2'' = 0{,}15$ at.; $\eta_e' = 0{,}80$

$\eta_e'' = 0{,}63$; $AL_0' = 61$ cal.; $AL_0'' = 137$ cal.; $D_n = 9000$ кг.

При работѣ съ противодавленіемъ: $N_e' = \frac{9000 . 61 . 98}{632} = 700$ Э.Л.С.

При работѣ съ промежуточнымъ отводомъ пара и 870 Э.Л.С.

$D_r = \frac{632 . 600 . 1{,}45 + 900 . 86}{49 + 86} = 9800$ кг (вмѣсто 12500 кг)

$Q_r = 9800 . 755 - 9000 . 700 = 1100000$ cal (вмѣсто 3138000 cal)

на 1 KW: $q_e' = 1830$ cal; $\eta_{elm.n} = 47\%$ (вмѣсто 5230 cal и 16,5%).

Соотношенія наглядно выбраны утрированными!

Для машины — наилучшія условія.

Для турбины — посредственныя съ запасомъ въ гарантіи.

Тепловыя силовыя станціи.

(XXXVIII)

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Схема расчета паровой установки съ использованіемъ.

1) Изученіе потребленія тепла на нагріваніе:

а) родъ носителя, температуры – давленія,

б) средній часовой расходъ тепла или пара,

в) колебанія расхода: быстрыя, часовыя, дневныя, сезонныя и т.п.

графическія представленія, расчеты, опытное изслѣдованіе; соображенія объ урегулированіи расхода по времени и тепловому уровню.

2) Изученіе потребленія силы:

а) средняя нагрузка;

б) колебанія нагрузки: быстрыя, часовыя, дневныя, сезонныя и т.п.

графическія представленія, расчеты, опытное изслѣдованіе;

соображенія объ урегулированіи расхода по времени.

3) Сопоставленіе и согласованіе потребленія силы и тепла:

а) для среднихъ условій - только при постоянствѣ значительность:

б) во времени - по сезонамъ, днямъ, часамъ и т.п.

в) суммарнымъ.

на основаніи (1) и (2).

4) Выборъ типа использованія. –

на основаніи (3) и аналитическихъ расчетовъ по (XXIII) – (XXXIII) при обычномъ отношеніи потребленія тепла, выгодно начать съ случая конечнаго использованія.

5) Выборъ наивыгоднѣйшихъ вариантовъ избраннаго типа использованія и выборъ двигателя.

на основаніи (4) и анализа свойствъ двигателей.

6) Детальный расчетъ экономичности при избранномъ типѣ использованія и двигателя.

на основаніи сопоставленія (5).

Тепловыя силовыя станціи.

XLI

Коммерческая экономичность.

Расходъ на топливо к, K_1

$K_в$ – тепловая стоимость топлива (стоимость 1000 cal въ коп.)

$$K_в = \frac{61 \cdot K_п}{Q_в} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$K_п$ – стоимость одного пуда топлива въ коп.

$Q_в$ – теплопроизводительность.

$Q_{гт}$ – годичный расходъ тепла топлива въ k cal.

$$Q_{гт} = a \cdot q_e \cdot N_г = \frac{a \cdot q_e \cdot N_{рс} \cdot n}{1000} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

a – коэффиціентъ рабочаго расхода отъ III IX

q_e – парадный расходъ тепла топлива на Э.С.Ч.

Если подсчетными опредѣлимъ $Q_г$ – годичный расходъ тепла пара въ kcal въ паровой установкѣ, см X, то годичный расходъ тепла топлива:

$$Q_{гт} = Q_г \frac{1 + \Delta_1}{\eta_г - \Delta_4''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9bis)$$

Δ_1 добавокъ на растопку

$\eta_г$ коэффиціентъ генераціи – парадный

Δ_4'' ухудшеніе $\eta_г$ относительнаго парадного.

$$K_1 = \frac{K_в \cdot Q_{гт}}{100} = \frac{K_в \cdot a \cdot q_e N_г}{100} = \frac{K_в \cdot a \cdot q_e N_{рс} n}{100000} \quad \ldots (10)$$ въ рублехъ.

$$K_1 = \frac{K_в \cdot a \cdot q_e}{1000} = \frac{0{,}632 a \cdot K_в}{\eta_э} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10bis)$$ въ копейкахъ; грубо: $K_1 \backsim \frac{K_в}{\eta_э}$ (если $0{,}632 a \backsim 1$)

Въ электрическихъ станціяхъ техническая экономичность характеризуется числомъ отданныхъ ватть-часовъ на тысячу калорій теплопроизводительности топлива $E_в$.

$q'_в$ – рабочій расходъ тепла топлива на K.B.U. въ cal.

$$E_в = \frac{1.000.000}{q'_в} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

электрическая отдача топлива въ установкѣ.

$$K_1' = \frac{1000 K_в}{E_в} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

расходъ на топливо на K.B.U.

Тепловыя силовыя станціи.

XLII

Коммерческая экономичность.

Примѣры расхода на топливо въ малыхъ электрическихъ станціяхъ съ локомобилями, двигателями Дизеля и газовыми.

№ №	Станціи мѣсто - годъ родъ двигателя.	Л.С. / К.В	Эффективная годичная / наибольшая годичный отборъ въ кВ.ч.	ϑ	Топливо родъ / $Q_в$	$к_в$ коп.	q'_{el} cal. / B_{el} кд	$E_в$	$к_1$ коп.
	Локомобили съ перегрѣвомъ								
1	Москва ц.ст. И.Т.У 1910г локом. R. Wolf.	70 / 50	116259 / 438000	0,26	нефтян.ост. / 10000	0,213	9900 / 0,99	101	2,11
2	Oberstaufen 1906/1907	28 / (25)*	33786 / 219000	0,16	уголь орѣшк. / 7200	0,173	13200 / 1,83	76	2,29
3	Gollub 2 локомоб. 1906/7.	155 / (120)*	30000 / 1051200	0,03	смоленскій уголь / 6400	0,172	27500 / 4,33	36	4,73
	двигателями Дизеля								
4	Zindau 1906/7	250 / (175)*	346866 / 1533000	0,23	галиційск.нефть / 9800	0,454	3020 / 0,308	331	1,37
5	Passau 2 двигат. 1906/7	400 / (280)*	280000 / 2,452800	0,11	галиційск.нефть / 10000	0,446	5140 / 0,514	195	2,29
	Свѣтильно-газовые двигатели.								
6	Fürth i B. 2 двигат. 1908/9	460 / 360	———	——	свѣтильн.газъ / 5000	0,324	3600 / —	278	1,17
7	Göttingen 4 двигат. 1908/9	760 / 510	———	——	свѣтильн.газъ / 5000	0,520	4780 / —	209	2,49
	Газогенераторные двигат.								
8	Москва Цот. И.Т.У 1910г MAN - Nürnberg.	85 / 50	42457 / 158400 (на 132 дня)	0,27	антрац.донецк. / 7800	0,218	8030 / 1,03	124	1,76
9	Coburg газонагн.д. 1908/9	350 / 234	———	——	антрац.газов.кокс / 7200	0,167	8550 / —	117	1,42
10	Blankenes. 1908/1909 г.	375 / 255	———	——	антрацитъ	0,240	5920 / —	169	1,42

Примѣчаніе.

( )* - оцѣнены приблизительно въ соотвѣтствіи съ нормальной силой двигателя.
Для станцій №№ 6, 7, 9 и 10 мощность двигателей взята по отчету 1904/5 г.

Тепловыя силовыя станціи.

XLIII

Коммерческая экономичность.

Примѣры коэффиціентовъ эксплоатаціи.

№№	Роды станцій и условія эксплоатаціи	g
	Фабричныя установки.	
1	Турбогенераторъ писчебумажной фабрики 1000 KB; $\cos\varphi$ 90%	
	n= 9160; суточная работа; s=24	0,84
2	Паровая машина прядильной фабрики 3600 И.Л.С.; N_{pc} = 2890 И.Л.С.	
	n = 4420; двухсмѣнная работа; s = 18	0,41
3	Паровая машина ткацкой фабрики 1100 И.Л.С.; N_{pc} = 1367 И.Л.С.	
	n = 4456; двухсмѣнная работа; s = 18	0,63
4	Паровая машина красильной фабрики. 510 K.B; $\cos\varphi$ 75%;	
	n 2600; дневная работа; s = 10	0,22
	Электрическія станціи.	
5	Домовая станція И.М.П.У. – 3 установки Σ = 250 KB.	
	выработка в 1910 г KB.ч.	
6	Локомобильная установка см.5 50 KB; выработка 1910 г 116259 KB.ч;	
	n = 3948	0,26
7	Московская трамвайн. эл станція: 12000 KB – въ 4 турбогенераторахъ	
	отдача 1910 г. около 40 милл K.B.ч.	0,38
8	Берлинскія электрическія станціи B.E.W.	
	отдача 155,115 тыс. K.B.ч.; 26,4% свѣтъ; 34,6% сила; 36,1% тяга. . . .	0,229
9	Essen a/R – отдача 50712 тыс. K.B.ч.; 15,7% свѣтъ 84,3% сила	0,337
10	Stettin; отдача 2896 тыс K.B.ч.; 78,2% свѣтъ; 16,4% сила.	0,103
11	Nürnberg; отдача 3487 тыс. K.B.ч.; 64,6% свѣтъ; 33,3% сила	0,155.
12	Лондонскія частныя станціи; отдача 1908 г. 133421 тыс. KB.ч.	0,170
13	Лондонскія муниципальныя станціи; отдача 1908 г – 65325 тыс. KB.ч. . .	0,187.
14	Англійскія провинц. частныя станціи; отдача 1908 г – 51771 тыс. KB.ч. . .	0,161
15	Англійскія провинц. муниципал. станціи; отдача 1908 г – 578.772 тыс KB.ч	0,197

Тепловыя силовыя станціи.

XLIV

Коммерческая экономичность

Расходъ на смазку, набивку и проч.

s - расходъ на смазку на Э.С.Ч полной мощности въ хоп.

$б$ - коэффиціентъ, характеризующій увеличеній расхода на смазку включеніемъ въ него расхода на обтирочный и набивочный матеріалъ; въ зависимости отъ условій эксплоатаціи и рода двигателя можно считать $б$ отъ 1,2 до 2 и даже болѣе.

K_{2s}, k_{2s} - расходъ на смазку, набивку и проч. годичный на установку въ руб. и на Э.С.Ч. въ копейках

$$K_{2s} = \frac{s.б.}{100} N_н n \quad \ldots\ldots (13).$$

$$k_{2s} = \frac{s.б.N_н}{N_{pc}} = \frac{s.б.}{f} \quad \ldots (13bis)$$

. { Валовой расходъ на смазку (включая набив. матер.) употребительно въ электрич. станціяхъ на К.В.Ч.

$$k'_{2s} = \frac{s.N_н}{N_{pc}} = \frac{s.}{f} \quad \ldots\ldots (14).$$

. Чистый расходъ на смазку (расходъ на масло)

Примѣры расхода K_{2s} или k'_{2s} въ крупныхъ электрическихъ станціяхъ.

№ №	Станціи	на К.В.Ч. k_{2s}	на К.В.Ч. k'_{2s}	Примѣчанія.
1	Московская гор. трамвайн. эл. ст. въ 1910 г. отдача около 40 милл. К.В.Ч.	—	0,007	4 турбогенератора B.B.K.[2] по 3000 КВ. сюда включенъ расходъ на котельную и трансформаторы одной подстанціи.
2	Берлинск. эл. ст. B.E.U. 1908/9 выработано 209899 тыс КВЧ.	—	0,010	преимущ. турбогенераторы; частью поршневыя машины (цил. масло 66 т. на 29012 сИ въ годъ)
3	тоже въ 1909/10 ..... выработка 141059 тыс КВЧ	—	0,048	поршневыя машины: въ годъ: цилиндр. масла 209 т. на 111151 сИ, машиннаго масла 88 т. на 33924 сИ.
4	Birmingham отдача въ 1908 г. ... 24466 тыс КВЧ.	0,076	—	поршневыя машины закрытыя Bellis & Morcom Σ - 25000 Э.Л.С.
5	Essen a/R отдача 1907/8 50712 т. КВЧ.	0,032	—	турбогенераторы и трехцил. машины Σ - 22700 КВ.
6	München - отдача 1907/8 - 22953 т КВЧ	0,018	—	поршневыя машины и водяныя турбины.
7	Hamburg - отдача 1907/8 - 33427 т КВЧ	0,042	—	поршневыя машины Σ - 22700 КВ.
8	Mannheim. отдача 1907/8 - 8972 т КВЧ	0,023	—	поршневыя машины и турбогенераторы Σ - 4396 КВ.
9	Königsberg отдача 1907/8 - 4689 т КВЧ	0,195	—	преимущественно некрупныя поршневыя машины Σ 3082.

Тепловыя силовыя станціи

Коммерческая экономичность.

Стоимость силы - сглагаемыя.

к - строчныя буквы - стоимость на одинъ сглагаемый въ копейкахъ.

К - заглавныя буквы - стоимость годичная на установку въ рубляхъ.

k_1, K_1 - расходъ на топливо (основной матеріалъ)

k_2, K_2 - расходъ на поддержаніе (вспомогат. матеріалы, персоналъ, ремонтъ, налоги и проч.) } расходы эксплоатаціонные.

k_3, K_3 - расходъ капитализаціонный (% и погашеніе капитала)

Характеристика сглагаемыхъ.

k_1 - функція рабочей технической экономичности и тепловой стоимости топлива.

k_2 - результатъ практическихъ эксплоатаціонныхъ свойствъ установки.

k_3 - функція стоимости установки, условій капитализаціи и напряженности использованія

Другія опредѣленія и раздѣленія расходовъ.

Полный расходъ

Постоянный расходъ (Fixed charges)

- Капитализаціонные расходы (indirekte Betriebskosten)
- Администрація.

Операціонный расходъ (Operating costs.) {зависящій отъ отдачи установки

- Топливо и вода
- Смазка и вспомог. мат.
- Уходъ
- Ремонтъ.

Эксплоатаціонные расходы. (Betriebskosten) - direkte Betriebskosten.

Расходъ на топливо (Brennstoffkosten)

Добавочные расходы (Nebenkosten)

- Смазка и вспомог. материалы.
- жалованій и рабочая плата персонала
- Ремонтъ и поддержаніе инвентаря.

По этому типу часто раздѣляютъ расходы на электрическихъ станціяхъ.

$K_1 + K_2 + K_3 = K_0$ ..... (1) Полная прямая годичная стоимость силы установки.

$K_1 + K_2 + K_3 = K_0$ ..... (1 bis) Полная прямая стоимость С. Ч.

16

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность.

Рабочее время, мощность, нагрузка, отдача, коэффициенты.

n – годичное число рабочих часовъ установки или двигателя.

$365 \times 24 = 8760.$

$N_н$ – номинальная (полная) мощность двигателя.

$N_{р.с.}$ – рабочая средняя нагрузка двигателя въ Э. Л. С.

$\frac{n}{8760} = \ell$ ..... (2). коэффиціентъ рабочаго времени; отъ 0 до 1.

$\frac{N_{р.с.} \cdot n.}{1000} = N_г$ ..... (3) { Эффективная годичная отдача установки въ тысячахъ Э. С. Ч. [При автоматическомъ учетѣ отдачи, какъ на электрич. станціяхъ, по ур. (3) находится $N_{р.с.}$].

$8{,}76 N_н = N_{ог.}$ ..... (4) идеальная годичная отдача установки въ тыс. Э. С. Ч.

$\frac{N_{р.с.}}{N_н} = \frac{1000 N_г}{N_{н.п.}} = f$ ..... (5) { коэффиціентъ рабочей нагрузки. Практически обычно $f < 1$; въ видѣ исключеній $f \geqslant 1$.

$\frac{N_г}{N_{ог.}} \quad \frac{N_{р.с.}\ n}{8760 . N_н} = g$ ..... (6) { Коэффиціентъ эксплоатаціи (Load factor) практически всегда $g < 1$

$g = ef$ ..... (7) Изъ уравненія (6) при помощи уравненій (2) и (5).

Примѣчаніе. Всѣ электрическія станціи предоставляютъ удобство и практически всегда ведутся расчеты на киловатт часы (К. В. Ч.) и киловатты (К. В.) вмѣсто С. Ч и Л. С.

59

Примѣры.

а) Бани. Stuttgart. – 3 × 113 m² котла

Машина тандемъ 400 kW $\eta_э$ – 15,7 %. ; $\eta_{тп}$ = 80,2 %.

Отдала въ городскую сѣть 1.186.000 kWh въ годъ.

(64,5 % на горячую воду). Чистая прибыль 50-60 тыс. марокъ.

б) Устраивается въ München'ѣ (въ городской больницѣ).

4 × 300 m² водотрубныхъ котла.

3 тандемныя машины въ Σ 700 kW. для работы на городск. сѣть.

М. Общія преимущества.

I) Сокращеніе эксплоатаціонныхъ расходовъ

– практически почти даровая энергія –

въ рядѣ случаевъ $K_1 + K_2$ – 0,5 – 1,0 коп. / kWh.

II) Значеній общаго передовитайства и модернизаціи котельной и всего теплового хозяйства. – громадно.

$\eta_г$ = 80 % обезпечено, а въ старой нерѣдко $\eta_г$ = 65 %

5743

Примѣръ расчета.

Эксплоатаціонныя данныя Покровской М/ры.

Прежде 17 – 13	фунт. нефти на кусокъ	экономія въ среднемъ около 5 ф. на кусокъ.
теперь 10 – 9	фунт. " " "	

Свыше 200 тыс туд. нефти въ годъ экономіи.

III) Разгрузка котельной.

1040

Примѣръ. 1) Потребленіе пара на пивоваренномъ заводѣ съ использованіемъ и безъ него.

2) На Покровской М/рѣ газовая выработка повысилась на 30 %, а число котловъ сократилось.

До передѣлки: 11 котловъ Σ $H_к$ – 2072 m².

теперь 9 котловъ Σ $H_к$ – 1916 m²

Изъ нихъ работаетъ 6 котл. Σ $H_к$ – 1320 m²

IV. Объединение эксплоатации

– нельзя оцѣнить достаточно высоко – это иллюстрирует запущенность котельныхъ въ раздѣльныхъ установкахъ.

Въ цѣломъ погашеніе затратъ на переустройство обычно возможно въ 2-4 года.

H. Трудности и путь переустройства.

I) Отсутствіе эксплоатаціонныхъ данныхъ объ потребленіи пара на производство.

II) Запущенность парового хозяйства.

III) Рутина, низовыя практики.

IV) Особливость каждаго случая.

V) Согласованіе потребленія силы и тепла.

VI) Требованія относительно носителя тепла: температура, количество, чистота, проводка.

7416 XXXVIII Общая схема работы.

Примѣры подготовительныхъ изслѣдованій:

3520 ..... пониженіе P_2;

4155 ..... опредѣленіе D_n;

4318 ..... составленіе теплового баланса;

7018 ..... расчеты – обстоятельно на примѣрахъ разобрано у. L. Schneider.

O. Использованіе отдаваемаго тепла на работу.

Станиц. Grunewald. Z.d.V.d.I. 1911 №6,7 и 10

I) Турбины смѣшаго пара.

– принципъ.

давлений и мѣсто отвода пара.

нѣтъ потерь давленія при регулированіи сопласти.

3034 II) Эластичность относительно расходовъ пара.

Измѣненіе въ этомъ приводитъ къ невыгодной замѣнѣ машины съ противодавленіемъ турбиной съ промежуточнымъ отводомъ.

Для экономичности необходимо регулированіе С.В.Д. сопласти.

III) Чистота пара отъ масла.

Не слѣдуетъ преувеличивать практической цѣнности!

IV) Меньшая экономичность.

Соотношенія η_e : — невыгода регулированія.

7414. XXXVIII ..... Примѣры подсчета

7396 XXVII ..... Значеній экономичности для работы съ противодавленіемъ — расположенная работа при данномъ D_e.

II. Вспомогательныя устройства паровыхъ установокъ.

32 Установка на пивоваренныхъ заводахъ.

1071. Паросборники и распредѣлительные резервуары.

4156 Трубопроводы Покровской с.М/ры.

Общая схема расположенія подогрѣвателей и холодильниковъ:

7316 ..... въ машинѣ съ конечнымъ использованіемъ.

3033 ..... въ турбинѣ съ промежуточнымъ отводомъ.

7314. Регулирующій давленіе вентиль (добавочный и предохранительный).

7315. Различныя схемы установки регулирующихъ вентилей на трубопроводахъ и ресиверѣ для регулированія давленія.

K. Устройства въ двигателяхъ внутренняго сгоранія.

Использующаяся q'_3 — отъ газовъ 350–520 cal. —

отъ газовъ — всего какъ бы 1,5–2 кг. на Э.С.Ч. — очень мало!

V

62

Трудности:

а) малое К - при малых скоростях газов 10-40 cal/m²;

б) разъедания и ржавление - серьнистые соединения, пара и воды.

По опытам Pintsch - все металлы кроме чугуна страдают в выхлопных котел газовых двигателей;

в) неплотности в соединениях - температурные деформации - трудности уплотнений, грубая работа.

Типы подогревателей.

4990 I) С чугунными ребристыми трубами: — громоздкость, вес, стоимость, значительная внешняя потеря, плохой К.

\+ значительный запас тепла, очистка.

5737. - Другой тип — компактность, целесообразность конструкции.

7390 II) С литыми трубами. - Легче в 5 раз.

5736 - Другой тип.

6019 III) С эксцентрными трубками: компактность, непрочность тонких трубок, неплотность - обусловлена паровыми мышками у верхней решетки. К отн 30-40 и выше

7250 - Воздушный подогреватель.

7391 - Подогреватель с подушкой.

4989 - Общий вид установки 300 Э.Л.С. (Подогреватель в 30 m²)

$K = 10\ cal/m^2;\ h;\ 1°C.;\ \eta_{эл.} = 83\%;\ \eta_{т.п.} = 78\%$

Л. Сфера применения установок с использованием.

I) Все производства с нагревательными устройствами.

Производства:

I

Питат. продукт.
- Винокуренное и ректификационное
- Пивоваренное
- Сахарное и рафинадное.
- Паточное и крахмальное

63

4410 Таблица η_g для разныхъ условій:.

$\eta_g - \eta_i$ ~ ибо потеря отъ неполноты расширенія мала.

Машина въ 150 Л.С. съ противодавленіемъ.

4408 Индикаторныя діаграммы.

4409 Результаты испытаній.

А. М. А. Ф. машина съ противодавленіемъ. 500-850 Э.Л.С.

4159 Тепловой балансъ и расходъ пара.

3020 Индикаторныя діаграммы

4153 Тепловыя діаграммы.

II) Дѣйствительный процессъ машины съ промежуточнымъ отводомъ пара.

Опыты Eberle.

518 Сводная таблица { η_g - показателемъ политропы.; — — паросодержаніе; — q_{in}.

519 Индикаторныя и тепловыя діаграммы.

Вліяніе малыхъ размѣровъ машины - недостаточность t_1, для хорошихъ результатовъ. Измѣненія въ оцѣнкѣ η_i' и η_i''

Теоретическій расчетъ:

по добавочному расходу пара - L. Schneider.

7020-7019 { для машины при условіяхъ.
$P_1 = 15,5$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2' = 5$ at; 1100 И.Л.С.; $P_2'' - 0,55$ at.

по TS діаграммамъ съ оцѣнкой η_i'; η_i'' - и паросодержаній - - послѣднее надежнѣе.

7312 Примѣры изъ заводскихъ данныхъ..

E. Поршневыя машины съ использованіемъ.

I) Съ противодавленіемъ.

1) Крайняя простота и компактность.

4414,5741

(62)

3028

А.М.А.Д. Одноцилиндровая и двухцилиндровая.

Вертикальная. 2×485×550×200

$P_2' = 4{,}5$ at. abs; $P_1 = 10$ at. давл. 600 – 680 Э.Л.С.,

а при 1,15 at. – 1150 – 1240 Э.Л.С.

2) *Въ тепловомъ отношеніи весьма совершенно:*

изъ расположеннаго типа цикльнаго процесса,

обращается въ эффективную работу машины

отъ 0,50 до 0,85 – въ среднемъ 0,75.

3) *При малыхъ испльзованій (малыя в/) – невыгодны.*

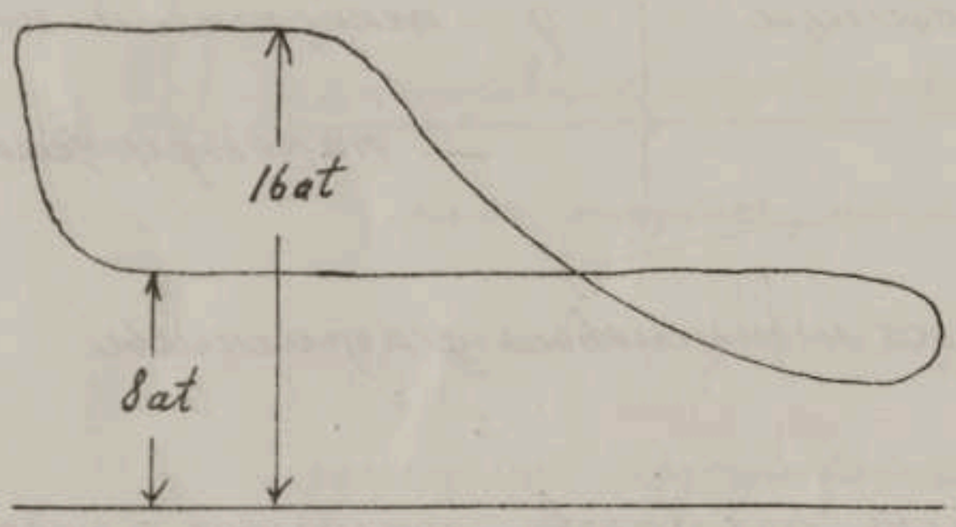
4) *Комбинація-съ конденсаціей и безъ нея – въ отопительных станціяхъ.*

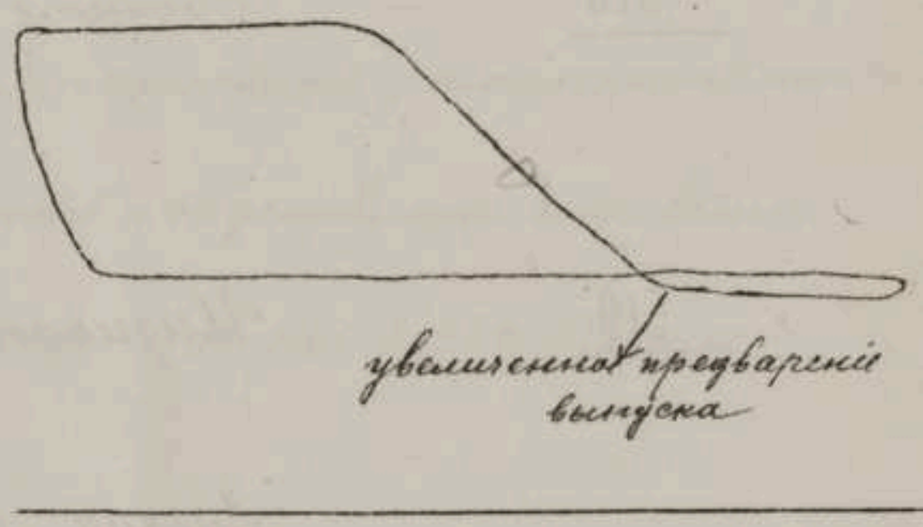
33

Индикаторныя діаграммы: – увеличенная отсѣчка;

(уменьшен. емкость); – противодавленій; – петли.

Зульцеръ:





4152

Характерныя діаграммы машины А.М.А.Д

4411.

Регулированія противодавленія: добавитель; редукціонный вентиль; предохранительный клапанъ.

Комбинированная: съ конденсаціей I и противодавленіемъ

7313

S.M.F. при $P_2' = 2$at

съ увеличеніемъ D_n, регулирующимъ давленій и увеличивающимъ отсѣчку II.

II) *Съ промежуточнымъ заборомъ.*

Двойного расширенія съ отводомъ изъ ресивера; – регулировані давленія – принципъ.–

удаленіе отсѣчки ЦНД отъ регулятора давленія.

511

М.А.К. – пружинный

2078

А.М.А.Д – ртутный весовой

47

Тепловыя силовыя станціи.

XXXV

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Машинно-турбинная комбинированная установка.

Примѣры расчета.

Посредственная установка.

$P_1 = 10at - n^*$; $P_2 = 0,15at$; $A\mathcal{Z}_o = 154cal.$; $\eta_e = 0,60$; $N_{см.} = 1000$; $D_e = 6,8$ кг. $D_{гм.} = 6800$ кг.

пусть $P_2' = 0,06at$; $(1+\Delta_1) A\mathcal{Z}_o = 179cal$; $\Delta_1 = 0,16$; $A\mathcal{Z}_o' = 93cal$; $\eta_e' = 0,72$; при возможности увеличенія отсѣчки по уравненію (7) $\Delta_2 = \frac{154.0,60 - 93.0,72}{93.0,72} = 0,38$; $\eta_e'' = 0,65$;

$A\mathcal{Z}_o'' = 179 - 93 = 86cal$; $D_{ек} = \frac{632}{93.0,07 + 179.0,65} = 5,14$кг !

$N_{ек.} - N_{см} = \frac{438.6800.86.0,65}{632} = 820$ Э.Л.С.

За счетъ повышенія расхода пара на 38% мощность установки увеличилась на 82%, а экономичность повысилась на 32%.

Лучшая установка.

$P_1 = 10 at$; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 0,15at$; $A\mathcal{Z}_o = 177cal$; $D_e = 5,0$ кг; $\eta_e = \frac{632}{5.177} = 0,71$; $N_{см} = 1000$;

$D_{гм} = 5000$ кг;

пусть $P_1'' = P_2' = 1,1at$; $P_2'' = 0,03at.$; тогда: $A\mathcal{Z}_o' = 108cal$; $\eta_e' = 0,80$; $A\mathcal{Z}_e' = 108.0,8 = 86,4cal$;

если $a = 1,30$, то $i_2 = i_1 - 1,3.86,4 = i_1 - 112cal$ - по JS діаграммѣ находится $A\mathcal{Z}_o'' = 116$ cal.

$\eta_e'' = 0,68$; $A\mathcal{Z}_e'' = 116.0,68 = 79cal.$

$D_{ек} = \frac{632}{86,4+79} = 3,83$ кг ! или на K.W.h.: $3,83.1,45 = 5,45$ кг!

если $\Delta_2 = 30\%$, то $N_{ек} = \frac{1,3.5000}{3,83} \sim 1700$ Л.С при $P_1 = 10at$ и $t_1 = 300°C$.

$N_{см}' = \frac{6500.86,4}{632} \sim 890$ Э.Л.С.

За счетъ повышенія расхода пара на 30% мощность увеличилась на 70%,

а экономичность - на 30%.

Примѣчаніе * n - насыщенный паръ.

Тепловыя силовыя станціи.

XXXVI

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Паровые аккумуляторы.

Металлъ:

вѣсъ G_1; теплоемкость $c_1 = 0,12$;

Вода:

вѣсъ G_2; теплоемкость $c_2 = 1,0$

Паръ приходящій за время Δz: ΔG; $r_1 x_1$ - скрытая теплота парообразованія

Паръ расходуемый " " " : $\Delta G'$; r_2 - скрытая теплота парообразованія

Rateau дает $r_1 x_1 \sim 0,85 r_2$; всегда $r_1 x_1 < r_2$; Δt - измѣненій температуры.

$$0,12 G_1 \Delta t + G_2 \Delta t = \Delta G r_1 x_1 - \Delta G' r_2 \sim r_2 (1,18 \Delta G - \Delta G') \ldots\ldots\ldots (1)$$

-уравненій тепловаго режима аккумулятора за время Δz, въ предположеніи уравниванія тепловаго состоянія всѣхъ частей аккумулятора для каждаго момента.

По ΔG и $\Delta G'$, извѣстнымъ на основаніи закона расхода пара, находятся Δt и ΔP для даннаго промежутка времени.

обыкновенно $\Delta P < 0,1 - 0,2$ at;

$$P_d - P_b > 0 \quad \text{всегда} \ldots\ldots\ldots (2)$$

P_d - давленіе пара;

P_b - давленіе барометра.

Безъ добавки свѣжаго пара за время z:

$$G r_1 x_1 > G_2 r_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

вслѣдствіе внѣшнихъ потери аккумулятора,

отсюда $G > G_2$ всегда, т.е. воду приходится спускать изъ аккумулятора вслѣдствіе образованія ея избытка.

Тепловыя силовыя станціи.. XXXI

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла..

Примѣръ расчета промежуточнаго использованія въ паровой установкѣ

$\eta_r = 0,80$; $P_1 = 14$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2' = 4$ at; $P_2'' = 0,15$ at; $i_1 = 729$ cal.; $\Delta Z_o' = 67$ cal..

опредѣляется $\eta_e' = 0,80$; $a' = 1,2$; $\eta_e'' = 0,60$; $\Delta Z_e' = 54$ cal.; $i_2 = 729 - 1,2 \cdot 54 = 662$ cal.

по IS діаграммѣ $P_1'' = 4$ at и $t_1'' = 157°$; $\Delta Z_o'' = 121$ cal.; $\Delta Z_e'' = 73$ cal..

при $N_e = 400$ и $D_n = 1500$ kg.

$$D_r = \frac{632 \cdot 400 + 1500 \cdot 73}{54 + 73} = 2850 \text{ kg}; \quad D_e = 7,1 \text{ kg}$$

$$\mu = \frac{54}{54+73}\left(1 + \frac{73 \cdot 1500}{632 \cdot 400}\right) \sim 0,6; \quad b = \frac{1500}{2850} = 0,53.$$

$$Q_n = \frac{1500 \cdot 662}{1000} = 993 \text{ k.cal.}; \quad Q_1 = 2850 \cdot \frac{729}{100} = 2078 \text{ k.cal.}$$

$$Q_{1n} = 2078 - 993 = 1085 \text{ k.cal.}; \quad q_{1n} = 2700 \text{ cal.}$$

$$q_{en} = \frac{2700}{0,80} = 3375 \text{ cal}; \quad \eta_{en} = 0,19.$$

Безъ-ка установка безъ отвода пара: при $\eta_e' = 0,8$ и $\eta_e'' = 0,6$

$$D_e = \frac{632}{54+73} = 4,97 \text{ kg}; \quad q_1 = 3625 \text{ cal}; \quad D_r = 1990 \text{ kg}$$

$$q_e = 4530 \text{ cal}; \quad \eta_e = 0,14.$$

Сбереженіе въ расходѣ пара: $(1990 + 1500) - 2850 \sim 640$ kg

Сбереженіе въ расходѣ тепла: $\left(\frac{4530 - 3375}{1000}\right) \cdot 400 \sim 462$ k. cal.

или около 25% для данной машины.

XXXII

Использование отдаваемого двигателями тепла.

Конечное использование в двигателях внутреннего сгорания

Q_2 - отдаваемое двигателем тепло (приносимое в подогревание)

Q_3 - получаемое из подогревания тепло (уносимое из подогревания)

$\frac{Q_3}{Q_2} = K_n$ ..... (54) коэффициент подогрева; $K_n < 1$.

$\frac{Q_n}{Q_3} = b$ ..... (55) коэффициент использования.

остальные обозначения сохраняются отч XXIII — XXIV

$Q_n = b \cdot K_n \cdot Q_1 (1 - a \cdot \eta_{em})$ ..... (56)

$$b = \frac{Q_n}{K_n \cdot Q_1 (1 - a\,\eta_{em})} \quad \ldots\ldots (57)$$

$$Q_{1n} = Q_1 \left[1 - b\,K_n (1 - a \cdot \eta_{em})\right] \quad \ldots\ldots (58)$$

$$q_{1n} = 632 \left[\frac{1}{\eta_{em}} - b\,K_n \left(\frac{1}{\eta_{em}} - a\right)\right] \quad \ldots\ldots (59)$$

$$Q_{en} = \frac{Q_1}{\eta_2} - \frac{Q_n}{\eta_2'} = Q_1 \left[\frac{1}{\eta_2} - \frac{b K_n}{\eta_2'} (1 - a\,\eta_{em})\right] \quad \ldots (60)$$

$$q_{en} = 632 \left[\frac{1}{\eta_э} - \frac{b\,K_n}{\eta_2'} \left(\frac{1}{\eta_{em}} - a\right)\right] \quad \ldots\ldots (61)$$

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_э}{1 - \frac{K_n \eta_2}{\eta_2'} \cdot b (1 - a\,\eta_{em})} \quad \ldots\ldots (62)$$

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_2}{\frac{1}{\eta_{em}} - \frac{K_n \eta_2}{\eta_2'} b \left(\frac{1}{\eta_{em}} - a\right)} \quad \ldots\ldots (63)$$

В двигателях <u>готового топлива</u> $\eta_2 = 1$ и $\eta_{em} = \eta_э$

$$\eta_{эn} = \frac{\eta_э}{1 - \frac{K_n \cdot b}{\eta_2'} (1 - a\,\eta_э)} \quad \ldots\ldots (62\ bis).$$

Тепловыя электрическія станціи.

XXVII

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла

Примѣръ разсчетовъ конечнаго использованія въ паровой установкѣ.

А. Крупныя установки.

$\eta_2 = 0,85$; $p_1 = 16$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 5$ at; $\Delta Z_0 = 69$ cal.; $D_0 = 9,16$ kg.; $i_1 = 728$ cal.

Поршневыя машины

$\eta_e = 0,85$; $D_e = 10,78$ kg;

$q_e = 7848$ cal; $\eta_{em} = 0,081$;

$\eta_э = 0,069$; $a = 1,25$.

b	1	0,8	0,6	
q_{en}	916	2564	4213	cal.
$\eta_{эп}$	0,69	0,25	0,15	

$N_e = 926$ л.с. *)

Турбины.

$\eta_e = 0,65$; $D_e = 14,1$ kg

$q_e = 10265$ cal.; $\eta_{em} = 0,062$

$\eta_э = 0,053$; $a = 1,1$

b	1	0,8	0,6	
q_{en}	811	3100	5259	Cal.
$\eta_{эп}$	0,78	0,20	0,12	

$N_e = 709$ л.с. *)

Б. Средніе установки.

$\eta_2 = 0,80$; $P_1 = 12,5$ at; $t_1 = 300°C$; $P_2 = 3$ at.; $\Delta Z_0 = 74$ cal.; $D_0 = 8,54$ kg.; $i_1 = 730$ cal.

Поршневыя машины

$\eta_e = 0,75$; $D_e = 11,39$ kg.;

$q_e = 8315$ cal; $\eta_{em} = 0,076$

$\eta_э = 0,061$; $a = 1,35$.

b	1	0,8	0,6	
q_{en}	1036	2900	4766	cal.
$\eta_{эп}$	0,61	0,22	0,13	

$N_e = 877$ л.с. *)

Турбины.

$\eta_e = 0,55$; $D_e = 15,53$ kg.;

$q_e = 11337$ cal.; $\eta_{em} = 0,056$;

$\eta_э = 0,044$; $a = 1,15$.

b	1	0,8	0,6	
q_{en}	919	3591	6320	cal.
$\eta_{эп}$	0,69	0,18	0,10	

$N_e = 645$ л.с. *)

Примѣчаніе

*) При $D_г = 10000$ kg и $b = 1$.

Тепловыя силовыя станціи.

XXVIII

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Промежуточное использованіе въ паровой установкѣ.

$N_e = N_e' + N_e''$ ..... (29)

С.В.Д. - ступень высокаго давленія.

С.Н.Д. - ступень низкаго давленія.

Для С.В.Д. - значекъ ′; для С.Н.Д. - значекъ ″;

для цѣлаго - безъ значка. полагая $\varphi = 0$.

μ - коэффиціентъ нагрузки С.В.Д.

$\mu \leqslant 1$ --- зависитъ отъ системы отвода пара въ рабочемъ процессѣ.

$$\left.\begin{aligned} \eta_{ет}' &= \frac{632 N_e'}{Q_1} \\ \eta_{ет}'' &= \frac{632 N_e''}{Q_1(1-b')} \end{aligned}\right\} \text{, условно} \quad \ldots (30)$$

$$\mu = \frac{N_e'}{N_e}; \quad \frac{N_e''}{N_e} = 1-\mu \ldots (31)$$

$$\mu = \frac{\eta_{ет}'}{\eta_{ет}' + (1-b')\eta_{ет}''} \quad \ldots (32)$$

$Q_п = b' \cdot Q_1 (1 - a' \cdot \eta_{ет}') \ldots (33)$ одинаково съ уравненіемъ (22)

XXV

b' - коэффиціентъ промежуточнаго использованія.

$$b' = \frac{Q_п}{Q_1 (1 - a' \cdot \eta_{ет}')} \quad \ldots (34)$$

$$Q_{1п} = Q_1 \left[1 - b'(1 - a' \eta_{ет}')\right] \ldots (35)$$ одинаково съ уравненіемъ (23)

XXVI

$$q_{1п} = \mu \cdot 632 \left[\frac{1}{\eta_{ет}'} - b'\left(\frac{1}{\eta_{ет}'} - a'\right)\right] \quad \ldots (36)$$ при помощи уравненій (30)

$$q_{1п} = 632 \left[\frac{1}{\eta_{ет}' + (1-b') \cdot \eta_{ет}''} - \frac{b'(1 - a' \cdot \eta_{ет}')}{\eta_{ет}' + (1-b')\eta_{ет}''}\right] \ldots (36bis)$$

XXVI

$$Q_{еп} = Q_е \left[1 - b'(1 - a' \eta_{ет}')\right] \ldots (37)$$ одинаково съ уравненіемъ (24)

$$q_{еп} = \frac{\mu \cdot 632}{\eta_г} \left[\frac{1}{\eta_{ет}'} - b'\left(\frac{1}{\eta_{ет}'} - a'\right)\right] \ldots (38)$$ изъ уравненія (36) : $\eta_г$.

$$\eta_{эп} = \frac{632}{q_{еп}} = \frac{\eta_э}{\mu\left[1 - b'(1 - a' \eta_{ет}')\right]} = \frac{\eta_г}{\mu\left[\frac{1}{\eta_{ет}'} - b'\left(\frac{1}{\eta_{ет}'} - a'\right)\right]} \ldots (39)$$

при одинаковыхъ предѣлахъ рабочаго процесса всегда $\eta_{ет}' < \eta_{ет}$ и $\eta_{эп}$. для промежуточнаго использованія меньше чѣмъ для конечнаго.

Тепловыя силовыя станціи.

XXIII

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

А. Установки съ использованіемъ (комбинированныя)

Q_e - часовой расходъ тепла на установку; q_e - на силосасъ

Q_e, q_e - валовой расходъ тепла топлива.

Q_1, q_1 - валовой расходъ тепла носителя.

$\frac{Q_1}{Q_e} = \frac{q_1}{q_e} = \eta_г$ ..... (1) коэфиціентъ генераціи тепла.

Q_2, q_2 - отдаваемое двигательемъ тепло (холодному источнику)

$Q_1 = a \cdot 632 N_e + Q_2$ ..... (2) тепловой балансъ двигателя.

a - отъ 1,1 до 1,7 - коэффиціентъ разсѣянія, характеризующій своимъ превышеніемъ единицы внѣшнюю потерю двигателя.

Q_n, q_n - используемое изъ отдаваемаго тепло.

$\frac{Q_n}{Q_2} = \frac{q_n}{q_2} = b$ ..... (3) коэффиціентъ использованія; въ зависимости отъ условій использованія b отъ 0 до 1.

Q_0, q_0 - расходъ тепла топлива на использованіе (нагрѣваніе).

$Q_0 = \frac{Q_n}{\eta_г'}$; $q_0 = \frac{q_n}{\eta_г'}$ ..... (4) въ (4) .. $\eta_г'$ - коэффиціентъ генераціи тепла, идущаго на использованіе;

въ комбинированной паровой установкѣ $\eta_г' = \eta_г$; въ раздѣльной часто $\eta_г' < \eta_г$.

$Q_1 - Q_n = Q_{1n}$ ..... (5) чистый расходъ тепла носителя (на двигатель)

$Q_e - Q_0 = Q_{en}$ ..... (6) чистый расходъ тепла топлива (на двигатель)

аналогичныя соотношенія и для q_{1n}, q_{en}.

Q_n', q_n' - добавочный расходъ тепла носителя на использованіе.

Q_0', q_0' - добавочный расходъ топлива на использованіе - сверхъ количествъ, проходящихъ чрезъ двигатель (вмѣсто $b>1$)

Б. Установки безъ использованія (раздѣльныя)

Q_{ep}, q_{ep} - расходъ тепла топлива на раздѣльный двигатель.

для Q_n, Q_n' и т.д. остаются прежнія обозначенія и соотношенія.

Тепловыя силовыя станціи.

XXIV

Использованіе отдаваемаго двигателями тепла.

Коэффиціенты полезнаго дѣйствія комбинированной установки.

$\eta_э = \frac{632 \cdot Ne}{Qe} = \frac{632}{ge}$ ..... (8) экономическій коэффиціентъ коммерческаго значенія мишень.

$\eta_{эп.} = \frac{632 \cdot Ne}{Qen} = \frac{632}{gen}$ ..... (9) приведенный экономическій коэффиціентъ двигателя – характеристика экономичности двигателя съ использованіемъ, исключающая коммерческое значеніе.

$\eta_{т.п.} = \frac{632 \cdot Ne + Qn}{Qe}$ ..... (10) – полный термическій коэффиціентъ комбинированной установки – характеристика экономичности всей установки-двигательной и нагрѣвательной, исключающая коммерческое значеніе.

$\eta'_{т.п.} = \frac{632 Ne + Qn + Qn'}{Qe + Q_0'}$ ..... (10 bis) } полный термическій коэффиціентъ комбинированной установки въ случаѣ добавочнаго, помимо двигателя, расхода тепла на использованіе.

Относительныя сбереженія тепла комбинированной установкой сравнительно съ раздѣльной.

$e_g = \frac{Qep - Qen}{Qep} = 1 - \frac{Qen}{Qep}$ ..... (11) относительное сбереженіе двигателя съ использованіемъ.

$e_y = \frac{(Qep + Q_0) - Qe}{Qep. + Q_0} = 1 - \frac{Qe}{Qep + Q_0}$ ..... (12) относительное сбереженіе установки съ использованіемъ.

$e'_y = \frac{(Qep + Q_0 + Q_0') - (Qe + Q_0')}{Qep + Q_0 + Q_0'} = 1 - \frac{Qe + Q_0'}{Qep + Q_0 + Q_0'}$ ..(12 bis) } относительныя сбереженія установки съ использованіемъ и добавочнымъ, помимо двигателя, расходомъ тепла на использованіе.

всегда: $e_g > e_y > e'_y$ ..... (13)

абсолютное часовое сбереженіе тепла – Q_c

теоретически: $Q_c = Qep - Qen = (Qep + Q_0) - Qe = (Qep + Q_0 + Q_0') - (Qe + Q_0')$ ..... (14)

практически – въ раздѣльной установкѣ: $\eta_2' < \eta_2$ и вмѣсто (14):

$Q_c' = \left(Qep + \frac{Qn}{\eta_i'}\right) - \left(Qen + \frac{Qn}{\eta_i}\right) = (Qep - Qen) + Qn \cdot \frac{\eta_i - \eta_i'}{\eta_i \eta_i'}$ ..... (14 bis)

или $Q_c' = Qep - Qen + (Qn + Qn') \cdot \frac{\eta_i - \eta_i'}{\eta_i \cdot \eta_i'}$ .... (14 bis bis); $Q_c' > Qc$.

б) разгрузка котельной и ея модернизирование.

в) объединение эксплоатации теплового хозяйства.

г) погашение затрат на переустройства обычно въ 2-4 годъ.

Современное распространение и выработанность техническихъ оснований:

7289, 7290. Данныя о положеніи использованія пара на нагрѣваніи въ Баваріи (1903 г).

Б. Термодинамическія основанія.

2ой принципъ:

отдача холодному источнику, ея неизбѣжность

расширеній - борьба съ нимъ.

аналогія: % на чужой капиталъ, убытки и чистая прибыль.

Разные двигатели въ отношеніи расширенія и отдачи тепла холодному источнику.

	Работа	Расширеніе	Отдача
Паровыя	4,5 - 19%	20 - 35 %	60 — 70%
Газогенерат.	20 — 25%	20 - 25 %	55 — 60°
Дизель	30 — 35%	10 - 15° C	55 — 60%

5-32 Примѣры.

Использованій отдаваемаго тепла - 2 принципа:

а) на нагрѣваніи - шире применяется, гораздо большая выгодность - используется отъ 0 до 100% отдаваемаго тепла.

б) вторичное использованіе на работу, за счетъ дальнѣйшаго пониженія температурнаго уровня холоднаго источника — ограниченно, термически менѣе выгодно — используется отъ 0 до 9% отдаваемаго тепла: турбины мятаго пара, холодныя машины.

Носитель тепла на использование				
пар	газы	вода	их свойства	Загрязнение.
+	—	+	удобство теплопередачи	
+	—	+	удобства и экономичн. проводки.	
+	+	—	пределы температур	

5734 характеристика на діаграмме;

газы непригодны;

вода и пар применяются!

Б. Понятія об экономичности.

7392 XXIII 7393 XXIV Общія основныя соотношенія

Коэффиціенты полезнаго дѣйствія и сбереженія тепла въ общихъ выраженіяхъ.

Направленія разсмотрѣнія.

а) повышеніе экономичности двигателя.

б) повышеніе экономичности всего использованія тепла.

- Deinlein. - Сопоставленіе этихъ направленій

Типы использованія относительно ступеней рабочаго процесса.

1) конечное: - при высокихъ температурахъ носителя;

- выгодно при большихъ в;

3036 ..... тепловой потокъ конечнаго потребленія

2) промежуточное: - выгодно при произвольныхъ в.

3037 ..... тепловой потокъ промежуточнаго использованія

3) смѣшанное: комбинированное изъ 1 и 2. — выгодно промежуточнаго всегда; выгодно конечнаго при в ~ 0,8 и больше.

Г. Детальныя выраженія экономичности при разныхъ типахъ использованія

Характеръ разсмотрѣнія:

497. Возрастание экономичности подъ вліяніемъ перегрѣва

30 Сопоставленіе съ прочими паровыми двигателями:

расходъ:

1) турбина 4000 k.w съ $\eta_r = 0{,}85$, $q_c = 3300$ cal

5976 2) локомобиль съ перегрѣвомъ 100-600 л.с.; $\eta_r = 0{,}77$; $q_c = 3700$ cal.

Условія производства локомобилей.

7063 Общій видъ завода H. Lanz.

7064 Площади мастерскихъ и ихъ производительность.

Массовая фабрикація.

Качество выполненія.

Выработанность конструкціи.

Значеніе провѣрки работы машины, испытатель-
ная станція.

7072 Конкуренція и состязаніе рекорда – результаты.

Развитіе и положеніе производства въ Германіи.

Условія производства въ Россіи.

6001 Рынокъ - распространеніе с-хоз. локомобилей

6018 Ввозъ иностранныхъ локомобилей.

Начинанія русской промышленности и ихъ
ихъ результаты.

Типы локомобилей*

1) Одноцилиндровые безъ конденсаціи:

5197 англійскаго типа, насыщенный паръ.

$P_k = 10$ at; $D_c = 12 - 12{,}5$ kg. при регулированіи смѣшаннаго

7032 А. О-ва Мальцовскихъ заводовъ.

англійскаго типа R. Garrett. съ перегрѣвомъ

131. англійскаго типа H. Lanz. съ перегрѣвомъ и клапан-
нымъ распредѣленіемъ Lentz.

---

* Примѣчаніе: Цифры расхода пара относятся къ отдѣльнымъ испы-
таніямъ и не характеризуютъ способа составленія
класса или типы локомобилей.

7b

D_e = 8,5 кг. при 270°C

43 немецкого типа R. Wolf съ перегревомъ;

P_k = 12 ат., D_e = 8 - 8,5 кг. при 300°C

2/ Компаундъ съ конденсацией.

5196 Компаундъ А.О-ва Мальцовскихъ Заводовъ:

насыщенный паръ;

D_e = 7,0 кг; P_k = 10 ат.

5 R Wolf - компаундъ, P_k = 12 ат

310°C.; D_e = 5,2 кг.

8 R. Wolf - тандемъ P_k = 12 ат

360°C; D_e = 4,7 кг.

7035, 3793 R. Wolf - тандемъ P_k = 15 ат

340°C; D_e ~ 4 кг.

7008, 3794. R Wolf - компаундъ P_k = 15 ат

отъ 500 до 750 л.с.

805 H. Lanz - компаундъ, клапанный.

2146 " " съ низкимъ ходомъ

360°C; D_e = 4,5 кг

7009, 7010 " " 100 л.с; P_k = 10 ат

380°C; D_e = 4,5 кг; смесь $\frac{H_n}{H_k}$ ~ 1/3.

Англійскіе автомобили

7026 R. Garrett - компаундъ

280°C; D_e = 4,8 кг.

7024, 7025. Ruston. Proctor тандемъ съ перегревомъ.

D_e = 5,1 кг.

3/ Прямоточные

6183. Badenia въ автомобиляхъ конструктивныя трудности чувствуются сильнее, термическія выгоды прямоточныхъ машинъ слабые.

4/ Турбоавтомобиль A.E.G. - перспективы турбинъ въ приложеніи къ автомобилямъ.

77

6191 Съ ступенчатой ръшеткой.

3799. Углубленная съ ступенчатой ръшеткой;
такое же расположеніе могутъ имѣть шахтныя
топки.

7076 Защиты шлаковъ отъ загрязненія - отгородка
топочнаго помѣщенія

6955 Нефтяная топка Л.П.К. - простота, экономичность.
Нефтяныя топки заводовъ для нѣмецкаго типа - неудачны.

7077 Нефтяная топка для англійскаго типа.
Соломотопка Эльворти - неэкономична.

6188 Соломотопка R. Wolf.

Искрогасители и искроловители:

125-124 разные типы:

7112 Перегрѣватель ловитель.
Перегрѣватель въ качествѣ ловителя.
Соединеніе котла съ перегрѣвателемъ.
Нормальный типъ - конечное расположеніе перегрѣ-
вателя.
Низкая температура газовъ, значительность $H_п$..,
обычно $\frac{H_п}{H_к}$ отъ 0,6-1, надежность работы перегрѣ-

5976 вателя, высокая экономичность; ея повышеніе подъ дѣйст-
віемъ перегрѣва. Для котла и перегрѣвателя въ совокуп-
ности $\eta'_к$ - отъ 0,80 до 0,70.

7221 Слабая зависимость $\eta'_к$ отъ нагрузки.
Для перегрѣвателя $k_п$ отъ 20 до 30 cal/m², h 1°C
Загрязненіе перегрѣвателя и очистка.
Примѣры конструкцій.

7035 Спиральный змѣевикъ R. Wolf. - значительность
соединеній, большое сопротивленіе протоку пара.

7079 Кольцевой перегрѣват. H. Lanz изъ змѣевидныхъ трубъ
- свобода доступа къ дымогарнымъ трубкамъ,

очистка, спуск воды.

7011 Коробчатый из плоских золотников – Badenia –
простота выполнения,

6185 Выносной из плоских золотников – главная доступность

Перегревательный промежуточный (H. Zapf).

Подогреватели.

7012 Экономайзер Badenia.

7248 Трубчатый подогреватель R. Wolf
до 40-55°C. при локомобилях с конденсацией

7029 Трубчатый подогреватель R. Garrett – обычно до 70-80°C
при локомобилях без конденсации

Значение подогревателей.

Значение очистки воды,

для экономичности и надежности действия

Б. Главныя особенности машины.

1) Непосредственное сообщение с котлом и малое падение давления.

2) Хороший обогрев цилиндров:

7230 паровая рубашка;

7035 газовая рубашка.

3) Малыя вредныя пространства – 5-6 %

4) Отличное парораспределение – прямые короткие каналы – малое сопротивление несмотря на значительн. скорости

Основные типы:

500 а) плоский золотник с переставным эксцентриком

5997 индикаторныя диаграммы цилиндра и золотниковой коробки, локомобиля с плоским золотником.

7374 б) поршневой золотник с плоским регулятором –

7027 – простота и компактность, приспособленность к

5198 перегреву, чувствительность к регулированию;

79

энергии въ двигателяхъ.

(Французскій типъ)

Примѣръ – нагнетательный генераторъ Rèché – двухтактный съ коксовой шахтой для дожиганія

7389 смолистыхъ продуктовъ.

7388 Общій видъ газопроизводителя.

$\eta_г$ (?) На выставкѣ въ С.-Петербургѣ въ 1910 г.

$\eta_г$ – 0,55 на дровахъ и торфѣ.

$\eta_г$ – 0,47 на подсолнечной лузгѣ

при η_{em} = 0,25 ; $\eta_э$ – 0,14 – 0,12.

B_e = 1,05 кг. торфа съ W = 25–27%

1,2 кг. скопинскаго угля съ W = 25–40%.

Универсальность относительно топлива

Дороговизна.

3/ Непосредственное газообразованіе и полученіе азотистыхъ соединеній съ использованіемъ тепловой энергіи и побочныхъ продуктовъ.

(Способы Mond и Caro – Frank)

Примѣнимо для топлива съ, болѣе или менѣе значительнымъ, содержаніемъ N – смолистый уголь, торфъ.

Газопроизводитель соединяется съ устройствомъ для полученія сѣрнокислаго аммонія.

7385 Схема устройства.

7386 Внѣшній видъ всей установки.

7252 Тепловой балансъ для угольнаго газопроизводителя

$\eta_г$ – 0,58 (Humphrey)

на торфѣ : $\eta_г$ – 0,47 (Kietaibl)

часть газа расходуется на выпариваніе сульфата и на парообразованіе для генераторовъ, остальное остается свободнымъ для двигателя. Изъ статьи Д. В. Яковлева.

√

На т. сухого торфа получается – всего газа 2200 – – 2400 $м^3$, при Qн – 1300 – 1350 $cal/м^3$; для двигателя остается 1200–1400 $м^3$, т.е. отъ 1560 до 1890 k. cal.,

что даетъ приведенный коэффиціентъ генераціи

$$\frac{\eta'}{\eta_д} \text{ отъ } 0,28 \text{ до } 0,33$$

Полученіе $(NH_4)_2SO_4$ – около 4 кг. на 1 кд. содержанія N, отъ 4 до 8 % вѣса сухого торфа, по цѣнѣ отъ 8 до 16 коп. на пудъ сухой массы, отъ 4 до 10 коп. на пудъ рабочаго торфа. Стоимость сульфата покрываетъ почти всѣ эксплоатаціонные расходы станціи. (Труды съѣзда дѣятелей по двигателямъ внутренняго сгоранія въ С.Петербургѣ 1910 г.)

Сложность и дороговизна всей установки. Расширеніе коммерческой стороны сбытности сульфата.

Полная утилизація свойствъ топлива.

Наиболѣе дешевая энергія при широкомъ масштабѣ установокъ въ формѣ центральныхъ районныхъ станцій, расположенныхъ на торфяникахъ.

7405 (XXXVI) Аккумуляторы - принципы действия

(17)

Съ спящей массой воды:

1069 ..... аккумуляторъ Rateau.

7407 ..... другой типъ Moll & C°

7187 Аккумуляторъ съ пластинами Pokorny & Wittekind -

- для поршневого компрессора мятаго пара.

78 Колебанія давленія.

4085 Схема установки.

7413 Турбина мятаго пара.

II) Турбины выхлопа - мятаго пара. -

- для выравниванія мощности при сильно перемѣнномъ расходѣ.

7411	800 л.с. Rateau	$P_1 = 6,5$ at	1,10 at
		$P_2 = 0,04$ at	0,09 at
		на Э.С.Ч D_e - 6,7 kg	- 13,2 kg.

7410 Регулирующее устройство

7408 Діаграмма расхода пара Л.Е.Д.

III) Комбинированныя машинно турбинныя установки.

7403 (XXXIV) Расчетъ схематическій.

7404 (XXXV) Примѣры.

7253 New-York - станція 59 улицы - комбинированная

станція 15000 kw.

7254 ..... результаты испытаній.

Berlin - Moabit - продажа новыхъ машинъ.

Выгоды такихъ установокъ - экономичность, дешевизна, простота перегустройства.

Затрудненія - перегрузка машинъ, стѣсненность дѣйствія, распредѣленія работы, разнотипность установокъ, затрудненія смѣсти, смѣсь въ конденсаторѣ.

V

Тепловыя силовыя станціи.

Лекція VIII

Коммерческая экономичность.

А. Общія соображенія; задачи разсмотрѣнія; анализъ слагаемыхъ стоимости силы; пріемы ихъ опредѣленія; полная стоимость силы; анализъ ея выраженія.

7436 XXXIX Стоимость силы слагаемыя.

7437 XL Рабочее время, мощность, нагрузка, коэффиціенты.

Примѣры эксплоатаціи Ц. Станціи И. Т. У.:

7299 ..... дневныя отдачи;

7300 ..... мѣсячная отдача;

7301 ..... годичная отдача и дневное рабочее время.

7440 XLIII Примѣры коэффиціентовъ эксплоатаціи

Б. Расходъ на топливо.

7438 XLI Выводы - въ отношеніи технической экономичности опираются на II лекцію.

Цѣны топлива:

4324 колебанія цѣнъ топлива въ Москвѣ 1887 - 1906 г.;

5801 сравненіе расположенныхъ русскихъ и нѣмецкихъ цѣнъ.

Значеніе $K_в$ для стоимости пара.

Выборы наивыгоднѣйшаго топлива.

Вліяніе $K_в$ на K_1.

11 ... η_c } Для германскихъ условій

7 ... $K_{1'}$ } съ локомоб.; газовсасывающ. двигатель, машина 3^го расшир.

7439 XLII Примѣры расхода на топливо въ малыхъ электр. станціяхъ.

Общая характеристика K_1 въ отношеніи устойчивости и точности расчетовъ.

(18)

% % на погасительные взносы. Размеры % %, обусловливаемая коммерческим обстоятельством предприятия и обычно $z_1 < z$.

7450 Расчет доли погашения.

7460 Таблица норм t в зависимости от n и z_1.

7451 Нормальные сроки погашения n.

7455 Примеры для n из американских условий.

Соображения о стоимости установок.

$A_o + A_з = A_у$. A_o – стоимость оборудования

$A_з$ – " здания и земли.

$A_у$ – " установки.

I. Стоимость здания:

1) Размеры помещения.

2) Конструкция и отделка.

Грубые соотношения площадей.

а) Дизель 1.

б) Локомобиль 1,1 – 1,3

в) Постоянная паровая установка:

2 – 2,5 с машиной

1,5 с турбиной.

г) Газогенераторная установка 1,7 – 2,5

и до 3-4 при громоздком газопроизводителе.

3496 Помещения для газовсасывающих и Дизеля двигателей: площадь и высота.

Примеры площадей для разных установок.

4323 Стоимость помещений для малых и средних установок. – данные разных авторов.

Стоимость крупных помещений по единичной площадной цене и площади;

единичные цены.

II. Стоимость оборудования.

7456 LIV

1/ Общія выраженія.

Вліяніе стоимости основныхъ элементовъ и вспомогательныхъ устройствъ.

а/ установки цѣльныя - по тѣсной и законченной комбинаціи главныхъ элементовъ ..... } локомобили и двиг. внутр. сг.

б/ установки составныя - по развитой и свободной комбинаціи главныхъ элементовъ и развитіи вспомогательныхъ устройствъ ..... } крупныя — паровыя — установки

7457 LV Доли стоимости вспомогательныхъ устройствъ въ цѣльныхъ установкахъ.

608 Соотношенія между K_3 для цѣльныхъ, некрупныхъ установокъ при нѣмецкихъ условіяхъ.

2/ Разнообразіе соотношеній для составныхъ установокъ - на него вліяютъ:

а/ развитость оборудованія вспомогательныхъ устройствъ.

б/ экономичность комбинированія частей.

Примѣры - американскихъ станцій.

2131 **Отъ 500 до 1000 K.W.**

$A_3 = 35$ дол.		30%	
$A_к + A_э = 18$ дол.	63 дол.	52%	$A_м$ ... съ конденсаціей
$A_м + A_г = 45$ дол.			$A_г$ ... съ возбудителями
$A_в = 22$ дол.		18%	
$A_0 + A_3 = 120$ дол.		$\frac{A_в}{A_к + A_э + A_м + A_г} = 35\%$	

2130 **Отъ 4000 до 5000 K.W.** съ поршневыми машинами.

* $A_3 =$ 13 - 25 дол.		18 - 24 %	
$A_к + A_э = 12{,}25 - 16{,}5$ дол.	64 - 55%		
$A_м + A_г = 33{,}75 - 43$ дол.			
$A_в = 13{,}25 - 22{,}5$ дол.		18 - 21%	
$A_0 + A_3 = 72{,}25 - 107$ д.		$\frac{A_в}{A_к + A_э + A_м + A_г} = 28\% - 38\%$	

* отчасти и $A_м$ - бункеры.

Тепловыя силовыя станціи.

XLVI

Коммерческая экономичность.

Расходъ охлаждающей и питательной воды.

W_o – расходъ охлаждающей воды на Э.С.Ч въ l.

D_e – расходъ пара на Э.С.Ч въ l. (рабочій расходъ одного двигателя)

W_c – случайный расходъ воды въ установкѣ на Э.С.Ч въ l.

$x = \frac{W_o}{D_e}$ ..... (15) – кратность охлажденія.

W_e – полный расходъ воды на Э.С.Ч. установки въ l

$W_e = W_o + D_e + W_c$ ... (16) при конденсаціи и потерь всей воды.

$W_e = W_o + W_c$ ..... (17) при конденсаціи и потерь всей воды кромѣ конденсата пара.

$W_e = 0{,}5 D_e + W_c$ ..... (18) при конденсаціи и обратномъ охлажденіи.

$W_e = D_e + W_c$ ..... (12) безъ конденсаціи, при выпускѣ пара на волю или потерь

$W_e = (1-b) D_e + W_c$ ..... (20) безъ конденсаціи, при использованіи доли b пара и возвратѣ конденсата.

Грубыя данныя для разныхъ родовъ двигателей.

№ №	Роды Двигателей	D_e	x	W_o	W_c	Примѣчанія
1	Паровыя машины безъ конд. экономичн.	12-7	—	—	1-2	При неэкономичн. машины D_e до 20 кд. и выше.
2	Паровыя машины съ конденс. экономичн.	7-5	20	140-100	1-2	При неэкономичн. машины D_e до 12 кд и выше.
3	Паровыя машины съ конденс. экономичн. съ обратнымъ охлажденіемъ.	7-5	30	—	1-2.	
4	Паровыя турбины съ конденсаціей	7-4½	40-60	420-180	1-2	Въ зависимости отъ вакуума при избыткѣ воды держатъ x до 70
5	Паровыя турбины съ конденсаціей и обратнымъ охлажденіемъ.	7-5	60 и выше	—	1-2	
6	Двигатели Дизеля	—	—	12-15	—	При повышеніи т/ры на 30-40°C
7	Двигатели нефтяные безъ вспрыскиванія воды	—	—	20-60	—	
8	Двигатели нефтяные съ вспрыскиваніемъ воды	—	—	12-40	—	Въ зависимости отъ количества вспрыскиваемой воды.
9	Двигатели нефтяные съ непарнительнымъ охлажденіемъ.	—	—	1-1,5	—	
10	Двигатели газовсасывающіе простого дѣйствія	—	—	20-30	10-15	W_c – расходъ на газопроизводитель.
11	Двигатели газовсасывающіе двойного дѣйствія	—	—	35-40	10-15	

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность.

Расходъ на воду.

k_w — стоимость 100 ведеръ въ коп. (при водопроводной водѣ)

K_{2w} k_{2w} — расходъ на воду - годичный на установку въ рублях и на Э.С.Ч. въ копейках.

При оплатѣ доставляемой водопроводомъ воды:

$$K_{2w} = 0{,}008\, k_w \cdot W_e \cdot N_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (21) \text{ въ рублях.}$$

$$k_{2w} = 0{,}0008\, k_w \cdot W_e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (21\,bis) \text{ въ копейках.}$$

При оплатѣ доставки даровой воды:

k_w — манометрическій напоръ въ m - преодолѣваемый при подачѣ воды.

η_w — коэффиціентъ полезнаго дѣйствія насосной установки (при центробѣжномъ насосѣ съ электромоторомъ въ зависимости отъ величины и качества η_u отъ 0,4 до 0,7)

N_w — работа водоподъемной установки въ Э.Л.С.

k'_o — стоимость одного силочаса водоподъемной установки въ коп.

$$N_w = \frac{k_w \cdot W_e \cdot N_{pc}}{\eta_w \cdot 270000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

$$\frac{N_w}{N_{pc}} = \frac{k_w \cdot W_e}{270000\, \eta_w} = w \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

{ относительная работа водоснабженія силовой установки

$$K'_{2w} = \frac{k'_o \cdot N_w \cdot n}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (24) \text{ въ рублях}$$

$$k'_{2w} = k'_o \cdot w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (24\,bis) \text{ въ копейках.}$$

Примѣры: 1) Паровая машина безъ конденсаціи: $k_w = 12$ коп.; $D_e = 15$ кг.; $W_e = 17\,l$; $k_{2w} = 0{,}16$ коп.

2) Турбина съ конденсаціей: $k_w = 0$; $k_w = 8\,m$; $\eta_w = 0{,}6$; $W_e = 320\,l$; $w = 1{,}2\,\%$; $k'_o = 1{,}5$ коп; $k'_{2w} = 0{,}018$ коп.

3) Машина съ конденсаціей и обратнымъ охлажденіемъ: $k_w = 12$ коп, $W_e = 3{,}5\,l$; $W_o = 140\,l$; $k_w = 6\,m$; $\eta_w = 0{,}6$; $k'_o = 2{,}0$ коп. $w = 0{,}5\,\%$; $k_{2w} = 0{,}0008 \cdot 12 \cdot 3{,}5 + 2 \cdot 0{,}005 = 0{,}043$ коп.

4) Нефтяной двигатель съ потерей воды. $k_w = 12$ коп; $W_o = 20\,l$; $k_{2w} = 0{,}19$ к.

XLIX

Тепловая силовая станция.

Коммерческая экономичность.

Сводка расходовъ на поддержаніе, $к_2$ K_2.

$$K_2 = K_{2s} + K_{2w} + K_{2p} + K_{2r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28) \text{ въ рублях.}$$

$$K_{2s} = \frac{s.б.N_н n}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (13);$$

$$K_{2w} = 0{,}008\, к_w . W_c N_г + \frac{к_0' h_w W_c N_б}{27000\, \eta_w} \quad \ldots\ldots \text{ изъ уравн. (21) и (24).}$$

$$K_{2p} = \frac{P. N_н . n}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26);$$

$$K_{2r} = r_0 A_0 + r_3 A_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

Примѣчаніе — въ ур (28) слѣдуетъ включить еще членъ K_{2t} - на уплату налоговъ, страховку и проч., приблизительно отъ ½ % до 1% отъ $(A_0 + A_3)$; при сравненіи K_2 для разныхъ двигателей членъ K_{2t} можно исключить, какъ мало измѣняющійся въ зависимости отъ рода двигателей.

$$K_2 = K_{2s} + K_{2w} + K_{2p} + K_{2t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28 \text{ bis}) \text{ въ копѣйкахъ.}$$

$$K_2 = \frac{1}{f}\left[s.б + \left(0{,}0008\, к_w W_c + к_0' w\right) f + P + \left(r_0 a_0 + r_3 a_3\right)\frac{100}{n} \right] \quad \ldots\ldots (29)$$

дѣли r_0 и r_3 находятся въ нѣкоторой прямой зависимости, болѣе слабой, чѣмъ прямая пропорціональность, отъ n и f;

отсюда:

K_2 - стоитъ въ обратной зависимости, болѣе слабой чѣмъ обратная пропорціональность, отъ коэффиціента нагрузки установки и отъ числа годичныхъ рабочихъ часовъ.

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность.

Капитализаціонные расходы, $K_з$, к.

Z - годичная сумма % на капиталъ.

T - годичная сумма погашенія капитала.

$$K_з = Z + T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (30)$$

z' = % на капиталъ основной.

$z = \frac{z'}{100}$ ..... (31) доля %% на основной капиталъ.

$Z = z(A_o + A_з)$ ..... (32) A_o - стоимость оборудованія; $A_з$ - стоимость зданій и земли

$T = t_o A_o + t_з A_з$ ..... (33) t_o - доля погашенія оборудованія; $t_з$ - доля погашенія зданій.

Расчетъ доли погашенія.

A - погашаемый капиталъ.

m - число лѣтъ условленнаго погашенія

$(1-O)$ - доля капитала условленная къ погашенію за m лѣтъ.

O - доля капитала, остающаяся чрезъ m лѣтъ (доля конечной стоимости)

z_1 - доля %% на капиталъ погашенія;

$z_1 \leqslant z$, иногда полагаютъ $z_1 = 0$.

t доля ежегоднаго погашенія.

при $z_1 = 0$; $t = \frac{1-O}{m}$ ..... (34), $t = \frac{1}{m}$ ..... (34 bis) при $O = 0$

при $z_1 > 0$; $t = \frac{(1-O)z_1}{(1+z_1)^m - 1}$ ... (35), $t = \frac{z_1}{(1+z_1)^m - 1}$ ..... (35 bis) при $O = 0$

$$m = \frac{lg\left[1 + (1-O)\frac{z_1}{t}\right]}{lg(1+z_1)} \quad \ldots\ldots\ldots (36)$$

по уравненіямъ (34) - (35 bis) находятся t_o и $t_з$

Для грубыхъ расчетовъ и избѣжанія алгорифмированія ур. (35 bis)

$$t = \left[\frac{1 - 0{,}5 z_1}{m} - 0{,}25 z_1 - \frac{0{,}65}{100}\right] \quad \ldots\ldots (37)$$

при каждомъ данномъ z_1 - уравненіе (37) - строится какъ равносторная гипербола съ относомъ оси - вычитаніемъ изъ t - $(0{,}25 z_1 - \frac{0{,}65}{100})$.

Техническая сторона станции.

Коммерческая экономичность.

Нормальные сроки погашения т - зависят от:

1) действительного изнашивания - от рода элементов, их рабочего процесса и его напряженности;

2) технического усовершенствования двигателей в отношении экономичности;

3) возрастания емкости установки, обусловливающего потребность увеличения размеров единиц.

(1) - можно, более судимо с технической стороны на основе действительности,

(2) и (3) могут быть судимо на основе будущей вероятности преимущественно с коммерческой стороны. - широкая свобода для произвольности и гадательности оценки.

В промышленных предприятиях обычные сроки т - в пределах от 8 до 15 лет для оборудования.

Для зависимости т от действительного изнашивания грубо можно положить: $m = \frac{m_0}{1+e+f}$ ..... (38) где m_0 срок погашения придельный при $m_0 = 30$

$e = \frac{n}{8760}$; $f = \frac{c\sqrt{p_z}}{c\sqrt{H}}$.

$e = 1$; $f = 1$; $m = 10$

$e = 0,5$; $f = 1$; $m = 12$

$e = 0,25$; $f = 0,75$; $m = 15$

} соответствуют в общем принятым для двигателей срокам.

Капитализационные расходы.

$K_3 = (z+t_0) A_0 + (z+t_3) A_3$ ..... (39) в рублях.

$k_3 = \frac{K_3}{10 N_2} = \frac{100 K_1}{n \cdot N_{pc}} = \frac{(z+t_0) a_0 + (z+t_3) a_3}{87,6\ c\sqrt{f}} = \frac{(z+t_0) a_0 + (z+t_3) a_3}{87,6\ \eta}$ .... (39 bis)

t_0 - число в первой обратной зависимости от e и f

K_3 - число в обратной зависимости, близкой к обратной пропорциональности от коэффициента экономичности η.

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность.

Сроки существованія T_0 и нормы погашенія разныхъ частей паровыхъ установокъ (американскія данныя).

№№.	Родъ частей установки	T_0	$t\frac{b}{2}\%$
1	Зданія кирпичныя или бетонныя	50	
2	Зданія деревянныя или съ желѣзной обшивкой	15	
3	Дымовыя трубы кирпичныя	50	
4	" " стальныя безъ растяжекъ	25	
5	" " желѣзныя съ растяжками	10	
6	Котлы водотрубные	25	3,5
7	Котлы съ дымогарными трубками	15	10(?)
8	Машины тихоходныя коромысловыя	25	3-5
9	Машины быстроходныя	15	5-10
10	Паровыя турбины	25	
11	Электрическіе генераторы постояннаго тока.	25	5
12	" " перемѣннаго "	30	
13	Моторы электрическіе	20	
14	Насосы	25	5
15	Конденсаторы впрыскивательные	35	
16	" поверхностные	20	
17	Подогреватели смѣшивательные	30	3
18	" поверхностные	20	6-10
19	Экономайзеры	20	
20	Трубопроводы обыкновенные	12	
21	" первоклассные	20	3,5
22	Угольные конвойеры	15	6
23	" ленточные транспортеры	10	
24	Транспортеры для золы	—	8
25	Мостовые краны	—	2
26	Распредѣлительный щитъ и счетъ	—	2.

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность

Расходъ на персоналъ - раздѣляется на:

а/ расходъ на рабочій персоналъ, непосредственно обслуживающій установку;

б/ расходъ на техническій и ремонтный персоналъ - по общему техническому надзору и по ремонту установокъ; кромѣ того въ крупныхъ предпріятіяхъ:

в/ коммерческій персоналъ - по учету эксплоатаціи, а въ электрическихъ предпріятіяхъ:

г/ персоналъ по смѣнѣ.

Для сопоставленія двигателей завода группа (а)

K_{zp} - годичный расходъ на рабочій персоналъ установки въ рубляхъ исчисляется по комплекту сооруженія и по окладамъ; комплектъ устанавливается составомъ и числомъ смѣнъ; составъ смѣны или число рабочихъ часовъ персонала въ смѣну - S_1 опредѣляется родомъ двигателя и характеромъ установки. По Гюльднеру: для свѣтильно-газовыхъ и лучшихъ нефтяныхъ двигателей: $S_1 = 0{,}25\sqrt{N_n}$ ..... [25]; для газовсасывающихъ двигателей: $S_1 = 1{,}25\sqrt{N_n}$ ..... [25 bis] - скупо на 10 часовъ.

$$K_{zp} = \sum P_i = \frac{p \cdot n \cdot N_n}{100} \quad \ldots\ldots\ldots (26)$$

$$K_{zp} = \frac{K_{zp}}{10 N_z} = \frac{100 K_{zp}}{n \cdot N_{p.c.}} = p\frac{N_n}{N_{pc}} = \frac{p}{f} \quad \ldots (26\ bis)$$

P_i - окладъ рабочаго персонала.

p - коэффиціентъ затраты на персоналъ въ коп.

Примѣры:

1/ Паровая фабричная установка: дровяное отопленіе; машина 3600 И.л.с.; 18 час въ день; 290 час. работы персонала или 16 час. на 1 часъ работы двигателя; $p \sim 0{,}08$ коп.

2/ Паровая электрическая установка: нефтяное отопленіе; 4 турб. по 3000 К.В; 20 час. въ день: 360 час. работы персонала или 18 часовъ на 1 часъ работы двигателей; $p' \sim 0{,}35$ коп (К.В)

N.N.	Электрическія станціи 1907 – 1908 г.	Весь персоналъ группы: а-б-в-г на К.В.Ч – коп.	$K'_{zp.}$
1	Essen a R – съ турбогенераторами и газовыми машинами ...	К.В. ...22400...	0,30
2	Hamburg – съ поршневыми машинами	К.В. ..22700...	1,37
3	Mannheim – съ турбогенераторами и машинами	К.В. ....4396...	0,81
4	Königsberg – съ смѣшанными машинами	К.В. ....3082...	1,72
5	Москва – трамвайн. эл. ст. / только группа а/	К.В. ..12000..	0,08
6	Birmingham – съ поршневыми машинами	Э.Л.С. .25000..	0,43

92

Тепловыя силовыя станціи.

XLVIII

Коммерческая экономичность.

Расходъ на ремонтъ зависитъ отъ:

1) размѣра и стоимости установки;
2) характера и количества изнашивающихся частей;
3) напряженности работы - отъ коэффиціентовъ e и f;
4) качества элементовъ и ихъ сочетанія въ установку;
5) качества ухода и техническаго надзора;
6) возраста установки и ея элементовъ;
7) цѣнъ ремонтныхъ работъ и матеріаловъ;
8) разнотипности частей установки.

K_{zr} – годичный расходъ на ремонтъ въ рублях.
A_o, A_3 – стоимость оборудованія и зданій установки въ рублях.
r_o, r_3 – доля стоимости, выражающая ежегодный расходъ на ремонтъ.

$$K_{zr} = r_o . A_o + r_3 . A_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

$$K_{zr} = \frac{r_o A_o + r_3 . A_3}{10 N_z} = \frac{100 (r_o A_o + r_3 A_3)}{n N_{p.c.}} = (r_o a_o + r_3 a_3) \frac{100}{n.f} \quad \ldots (27\ bis)$$

стоимости на одну силу: $a_o = \frac{A_o}{N_H}$, $a_3 = \frac{A_3}{N_H}$

Зависимость K_{zr} отъ (1) учитывается выраженіемъ K_{zr} по уравненію (27) – опредѣленныхъ % отъ стоимости установки.

Зависимость K_{zr} отъ (2) - (8) - отчасти случайна и не можетъ быть представлена рационально, учитывается измѣненіемъ %.

Здавіе - достаточно надежно – $r_3 = 0,01$

Оборудованіе: 1) паровыя раздѣльныя и газовсасывающія установки. } $r_o = 0,02 - 0,03$
2) локомобили и двигат. Дизеля. → $r_o = 0,01 - 0,02$
} въ зависимости отъ e и f и прог.

при спеціальныхъ устройствахъ, требующихъ значительнаго ремонта, какъ нѣкоторыя топки, можно добавить – 0,005 до 0,01; при невыгодныхъ условіяхъ (4) - (8) r_o – можетъ значительно возрасти.

№№	Примѣры электрическ. станцій		тыс. К.В.Ч.	на К.В.Ч. отдачи		
				Стоимость A коп.	Ремонтъ K'_{zr} коп.	$r = \frac{K'_{zr}}{A}$
1	Essen a. R.: $A_o + A_3$	= 11,8 милл. марокъ	50712	10,5	0,10	0,010
2	Hamburg: $A_o + A_3$	= 24,8 " "	33427	34,0	0,43	0,013
3	Mannheim: $A_o + A_3$	= 4,5 " "	8972	24,5	0,24	0,010
4	Königsberg: $A_o + A_3$	= 1,9 " "	4689	19,0	1,04	0,055
5	Birmingham: ΣA.	= 1,309 милл. фунт.	24406	*26,5	0,57	0,021

$A_o + A_3$ – составляютъ – земля, зданія, машинное оборудованіе, аккумуляторы; ремонтъ включаетъ въ себя расходы на смазку, счетчики, домовыя устройства и прч.

* (50% отъ общей стоимости)

От 4000 до 5000 К.W со турбинами.

* A_3 = 12 - 17,5 дол. ..... 18-18 %

$A_к + A_э$ = 12,5 - 16,75 дол. } ..... 62-57 %

** $A_м + A_г$ = 29,75 - 36 дол. }

$A_в$ = 13,25 - 23,75 дол. 20-25%

$A_0 + A_3$ = 67,5 - 94 дол. $\frac{A_в}{A_к + A_э + A_м + A_г}$ = 29 % - 44 %

* отдастся и $A_м$ - бункера

** теперь дешевле $A_м$.

Во каждомъ частномъ случаѣ - индексы, по выяснніи стоимости главныхъ элементовъ, получивъ опыты и на вспомогательное оборудованіе.

3) Стоимость главныхъ элементовъ.

а) Соотношеній между русской и заграничной стоимостью:

провозъ и пошлины отъ 35 до 50% заграничной стоимости;

- въ зависимости отъ покупной цѣны и доли частей, изготовленныхъ въ Россіи.

б) Общій законъ стоимости.

$A = A_0 + \varepsilon.a$ - законъ прямой.

- приблизительно вѣренъ для двигателей.

в) Вліяніе времени - общее понижеріе стоимости.

1576 ..... Паровые котлы 1908 г.

6345 ..... " " 1910 г.

1581 ..... Двигатели внутренняго сгоранія

Измѣненіе стоимости двигателей Дизеля (неустановившееся состояніе цѣнъ.)

7222 ..... Нефтяные двигатели.

г) Паровыя машины:

1578; 1580 ..... Вліяніе системы на цѣну

1579 ..... Вліяніе давленія пара и числа оборотовъ.

Теперь отъ 45 до 35 руб. Э.Л.С (полной мощности)

Примѣры колебаній цѣнъ на паровыя машины.

V

924

g) Постановившееся состояніе цѣны на паровыя турбины: 60-50 р. К.И° при мощности 3000 К.И° и выше;
до 65 р. 1. К.И° " " до 1000 К.И°.

606 e) Вліяніе оцѣнки номинальной мощности на стоимость установки.

III) Общая стоимость установки.

1583 Примѣры A_0 отъ 10 до 400 Л.С. для московскаго района 1908 г.

Измѣненія за 1908-1911 г.	1908 г		1911 г.
Оборудованіе локомобильное	21000	–	18750 р
Дизель	28300	–	25150 р.

7114 Таблица стоимости оборудованія германскихъ электрическихъ станцій.

3495 Діаграмма стоимости оборудованія крупныхъ германскихъ станцій.

E. Полная стоимость силы.

7452 LVI Полныя выраженія стоимости силы.

Важнѣйшіе факторы: ясность ихъ вліянія въ K_0 и скрытость въ K_0.

7453 LVII Анализъ выраженія стоимости силочасс.

7462 Вліяніе η на K_0 – американское соотношеній.

7454 LVIII Предѣльныя условія выгодности дешевыхъ и экономичныхъ установокъ.

Правило: $\frac{K_1 + K_2}{\quad}$ при этомъ дѣйствіи дѣлительная установка явно убыточна!

K_0... дешевая устан.
K_0'... экономич. устан.

7459 Примѣры расчета стоимости устройства и эксплоатаціи, при хорошихъ условіяхъ эксплоатаціи, для локомобилей, двигателей: Дизеля и газогенераторныхъ 120 – 150 Л.С.

95

Б. Расходы на поддержание.

7441 XLIV — Расходъ на смазку, набивку и проч..

Примѣры крупныхъ установокъ.

Набивочный матеріалъ - въ ремонтѣ-поотдѣльности.

7321. Колебанія расхода на смазку —

— Данныя Вегнеръ для машинъ отъ 200 до 500 Л.С.

4319 Данныя разныхъ авторовъ по расходу на смазку.

7442 XLV Расходъ на воду: данныя для W_e

7443 XLVI " " " данныя для K_{zw}

7447 XLVII Расходъ на персоналъ данныя и примѣры крупныхъ установокъ

615 Число часовъ ухода и опыта персонала по Ирвану.

4320 Данныя разныхъ авторовъ.

7448 XLVIII Расходъ на ремонтъ - выводъ и примѣры.

4321 Данныя разныхъ авторовъ.

7449 XLIX Сводка расходовъ на поддержаніе.

4322 Данныя разныхъ авторовъ.

7116 Сводка изъ электрическихъ станцій.

3493 (верхъ) $\frac{K_2}{K_1 + K_2}$ Доля некрупныхъ установокъ въ германскихъ условіяхъ

Г. Суммы эксплоатаціонныхъ расходовъ. —

3493 (низъ) — для некрупныхъ установокъ въ германскихъ условіяхъ

Сумма эксплоатаціонныхъ расходовъ, въ германскихъ условіяхъ, для паровыхъ установокъ - некрупныхъ.:

(Данныя Josse)

3486 Стоимостныя примѣры: для поршневыхъ машинъ;

348⁴/₇ ..... для турбинъ и локомобилей.

3488 Діаграммы расходовъ.

7115 Данныя для крупныхъ установокъ - отдача отъ 1 до 13 тыс. К.В.А. въ годъ - Слабая зависимость отъ величины.

9b

7458 Данныя А. Е. Д для бытовых Берлинских станцій 1904 - 1910:

Сумма эксплоатационных расходовъ для двигателей Дизеля и газовосбивающихъ - для техническихъ целей. Отдельныя примеры и діаграммы расходовъ:

3491-3492 Бытовой Дизель

3489-3490 Бытовой газовосбивающій.

Общая характеристика - суммы эксплоатационныхъ расходовъ - преобладающая роль K_1, при суточной работе, или при дорогомъ топливе и дневной работе, - при непрерывныхъ движеніяхъ - всегда.

7450  Капитализаціонные расходы.

Выводъ основной.

Два пріема расчета погашенія:

а/ отчисленія абсолютно одинаковыя по годамъ - въ % отъ первоначальной стоимости установки;

амортизація первоначальной инвентарной стоимости;

б/ отчисленія относительно одинаковыя по годамъ - въ % отъ текущей инвентарной стоимости установки;

амортизація балансовой инвентарной стоимости;

ихъ разница и вліяніе на бытовыя предпріятія.

Em. Schiff. Die Wärmeindustrien an Verbrennungsmotoren (примеры стр. 46-48 при большихъ т/

2136 Для силовыхъ установокъ съ отчисленіемъ т - разницу ихъ вліяніе. Діаграммы

Рационально пригоднымъ способа а съ точкой

Тепловыя силовыя станціи

Паровыя машины

Данныя по экономичности и мощности прямоточныхъ машинъ

XIX

Расходъ пара D_0': $P_1 = 13\,at$; $t_1 = 300°C$; $P_0 = 0{,}05\,at$; для 10% наполненія и $\varepsilon = 1{,}5\%$ $E = \frac{101{,}5}{11{,}5} = 8{,}9$; $D_0' = 3{,}97$ кг (см. примѣръ XVI)

Гарантія завода А — 1200 И.Л.С.; $P_1 = 13\,at.$; $t_1 = 300°C$; $D_i = 4{,}5$ кг. при 12% наполненія; $\eta_g \sim 0{,}88$

Гарантія завода Б. — 1130 И.Л.С.; $P_1 = 13\,at$; $t_1 = 325°C$; $D_i = 4{,}3$ кг. при 12% наполненія; $D_i = 4{,}6$ кг. при 20% наполненія. $\eta_g \sim 0{,}89$.

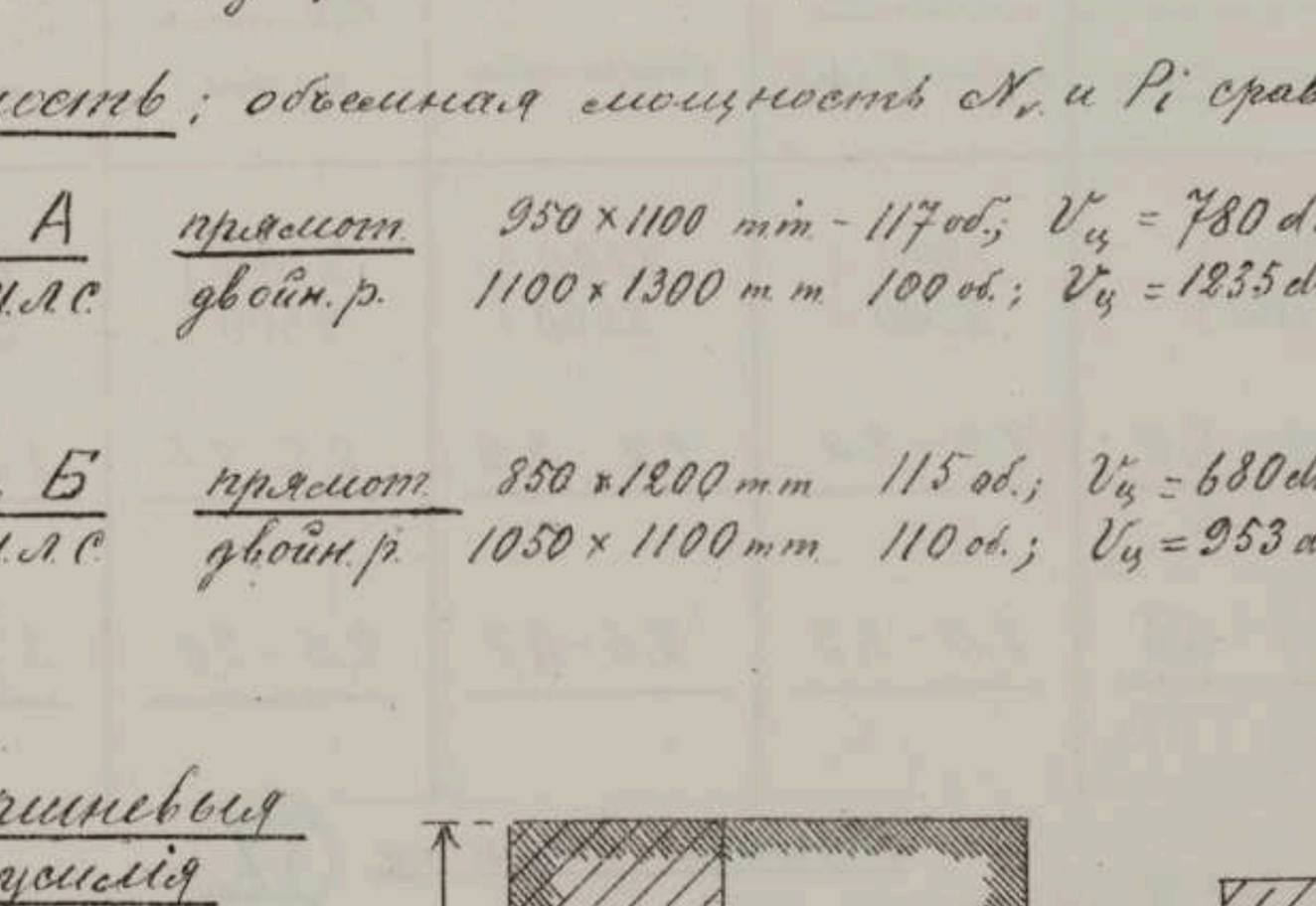
Опыты проф. Grossmann на заводѣ R Wolf.

	200°C	300°C	400°C	
прямоточная	5,80 кг.	4,80 кг	4,20 кг	D_i
двойного расш.	5,35 кг	4,40 кг	3,60 кг	
экономія дв. р.	7%	15%	18%	

Мощность; объемная мощность N_v и P_i сравнительно съ машинами дв. р.

Заводъ А 1200 И.Л.С.	прямоот.	950 × 1100 m/m	117 об.;	$V_u = 780\,dm^3$;	$N_v = 1{,}54$; $P_i = 2{,}96\,at.$
	двойн. р.	1100 × 1300 m/m	100 об.;	$V_u = 1235\,dm^3$;	$N_v = 0{,}97$; $P_i = 2{,}18\,at.$
Заводъ Б 1138 И.Л.С.	прямоот.	850 × 1200 m/m	115 об.;	$V_u = 680\,dm^3$;	$N_v = 1{,}67$; $P_i = 3{,}26\,at.$
	двойн. р.	1050 × 1100 m/m	110 об.;	$V_u = 953\,dm^3$;	$N_v = 1{,}19$; $P_i = 2{,}43\,at.$

Поршневыя усилія



площади дающія поршневыя усилія машины двойн. р.

Ограниченная такъ площадь даетъ поршневое усиліе прямоточн. машины

Измѣненія максимальныхъ давленій инерціонными приняты относительно одинаковыми въ обѣихъ машинахъ.

Тепловыя силовыя станціи

(XX)

Двигатели внутренняго сгоранія

А. Сопоставленіе вѣсовой и тепловой стоимости топлива

Роды топлива	нефтяное топливо					Спиртъ денатур. 90%	Свѣтильн. газъ	Антрацитъ отборн.	Торфъ съ 40% влажности
	Сырая нефть	Моторное топливо	Бѣлая нефть	Керосинъ	Бензинъ				
Стоимость вѣсовая	42 к. пуд.	44 к. пуд.	115 к. пуд.	150 к. пуд.	310 к. пуд	180 к. ведр.	225 к. тысяч куб. фут.	98 к. пуд.	5 к. пуд.
Теплопроизводительность низшая.	10.150	10.150	10.200	10.300	10.500	5.600	4.500 (m³)	7800	2600
Стоимость тепловая коп. к(тысячу) cal.	0,25	0,26	0,69	0,89	1,80	3,25	1,78	0,22	0,12

Примѣрныя цѣны Центральнаго Промышленнаго района.

Б. Рабочій расходъ тепла въ двигателяхъ внутренняго сгоранія.

Роды двигателей	нефтян./керосин. процессъ Отто.	нефтяные процесса Дизеля.	Стартовые.	Свѣтильно газовые	Газогенераторные.
паразитный расходъ q_e	3.000 } 4.500 }	1800 } 2100 }	2100 } 3000 }	2100 } 2500 }	2500 } 3200 }
рабочій расходъ въ k.cal при непрерывн. полной нагрузкѣ	3,3 – 5,0	1,9 – 2,0	2,2 – 3,2	2,2 – 2,6	3,0 – 3,8.
рабочій расходъ въ k.cal при колеблющейся дневной нагрузкѣ	3,7 – 5,6	2,0 – 2,3	2,6 – 3,7	2,5 – 3,0	3,7 – 4,8.

Прибавки взяты по (IX).

K_1 – стоимость топлива на Э.С.Ч въ коп.;

q_e'' – расходъ тепла въ k.cal. на Э.С.Ч рабочій;

K_e – тепловая стоимость коп/k.cal.

$K_1 = q_e'' \cdot K_e$ ..... (1)

Примѣръ: нефтяной двигатель Отто: $K_1 = (3,7 \text{ до } 5,6) \times 0,25$ отъ 0,9 до 1,4 коп.; спиртовой двигатель $K_1 = (2,6 \text{ до } 3,7) \times 3,25$ – отъ 8,4 до 12 коп.; свѣтильно газовый: $K_1 = (2,5 \text{ до } 3,0) \times 1,78$ – отъ 4,55 до 5,34 коп.; Дизель: $K_1 = (2,0 \text{ до } 2,3) \times 0,25 = 0,5 \text{ до } 0,58$ коп.: газовсасывающій на антрацитѣ: $K_1 = (3,7 \text{ до } 4,8)\ 0,22 = 0,8 \text{ до } 1,05$ коп.; на торфѣ $K_1 = 0,4 \text{ до } 0,5$

Тепловыя силовыя станціи.

XV

Паровыя машины

Рабочія давленія и температуры перегрѣва.

P_1, t_1 – давленіе и температура пара передъ машиной;

P_2 – давленіе пара за машиной.

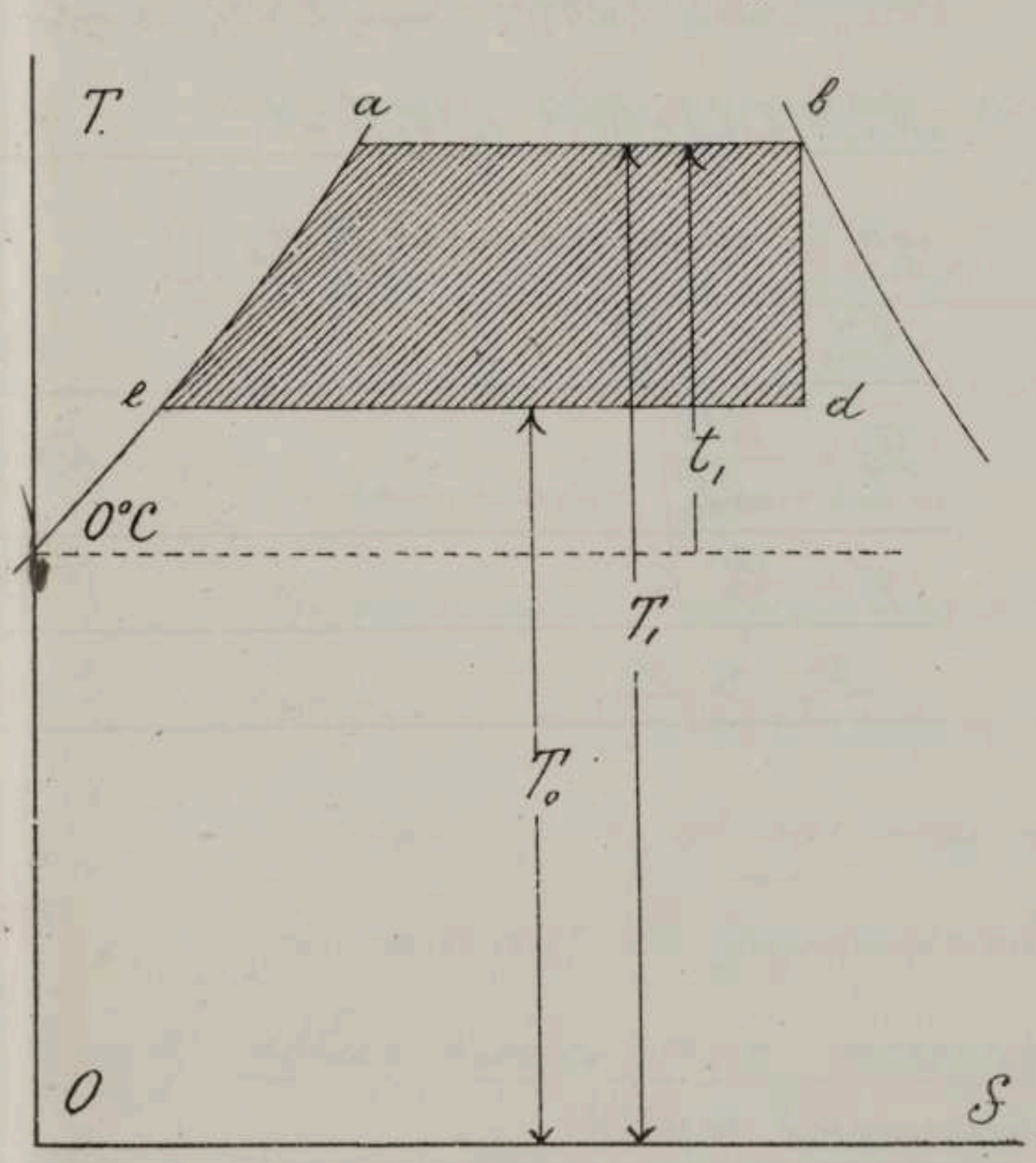
Машины простого расширенія: P_1 – 8 до 12 at; t_1 – 300 до 350°C.

Машины двойного расширенія: P_1 – 10 до 14 at; t_1 – 300 до 350°C.

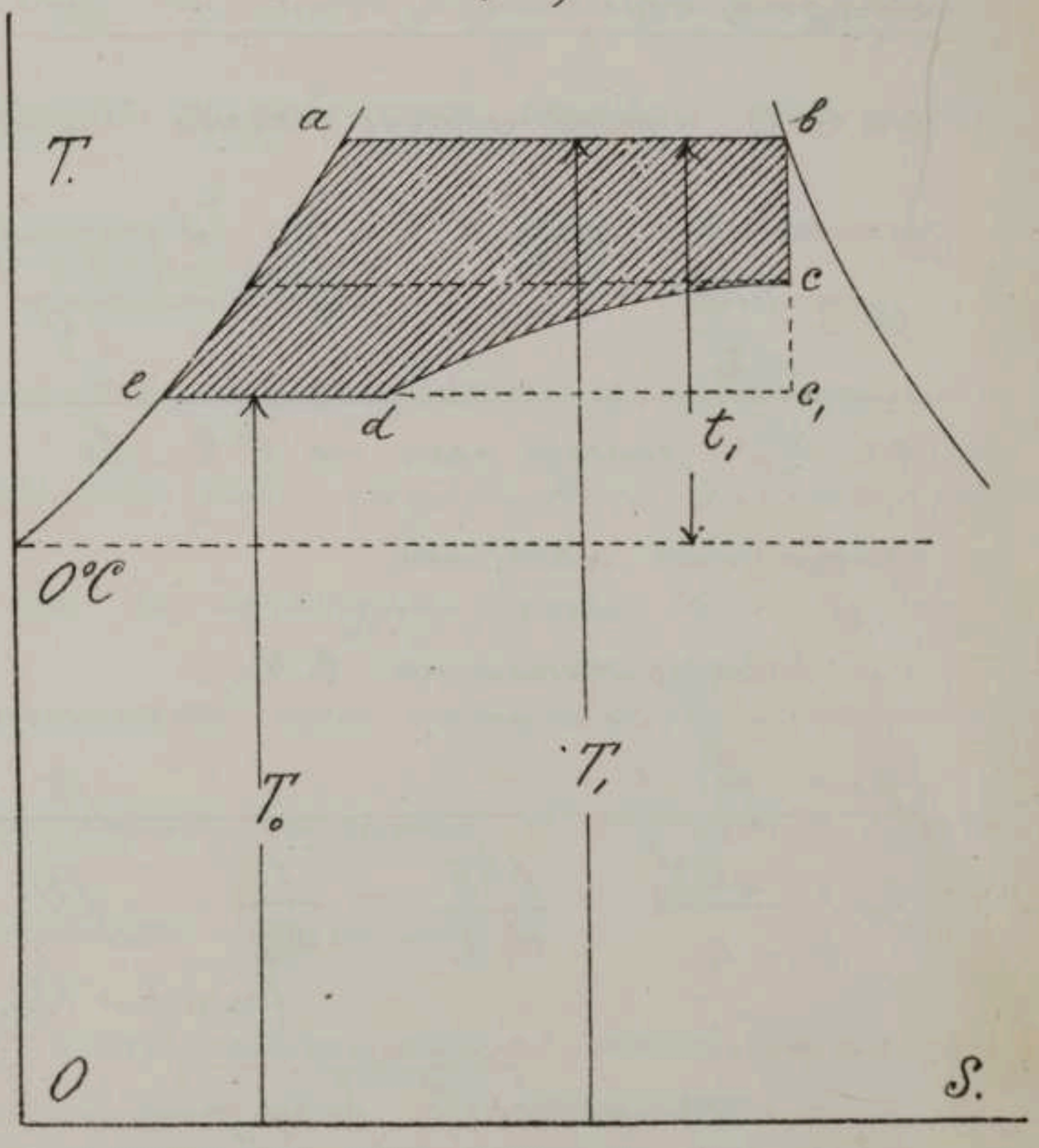
Машины съ конденсаціей; $P_2 \geqslant 0{,}15$ at; понижение P_2 за предѣлъ 0,15 at (85 % вакуума) безполезно кромѣ прямоточныхъ машинъ.

Идеальный процессъ – 2 типа.

съ полнымъ расширеніемъ (Clausius – Rankine)



съ ограниченнымъ расширеніемъ V. d. I. (E. Meyer)



ab – изотерма давленія P_1

bd – адіабата расширенія

de – изотерма давленія P_0

ea – нижняя пограничная кривая.

Объемъ 1 kg въ b – v_1

Объемъ 1 kg въ c – v_2

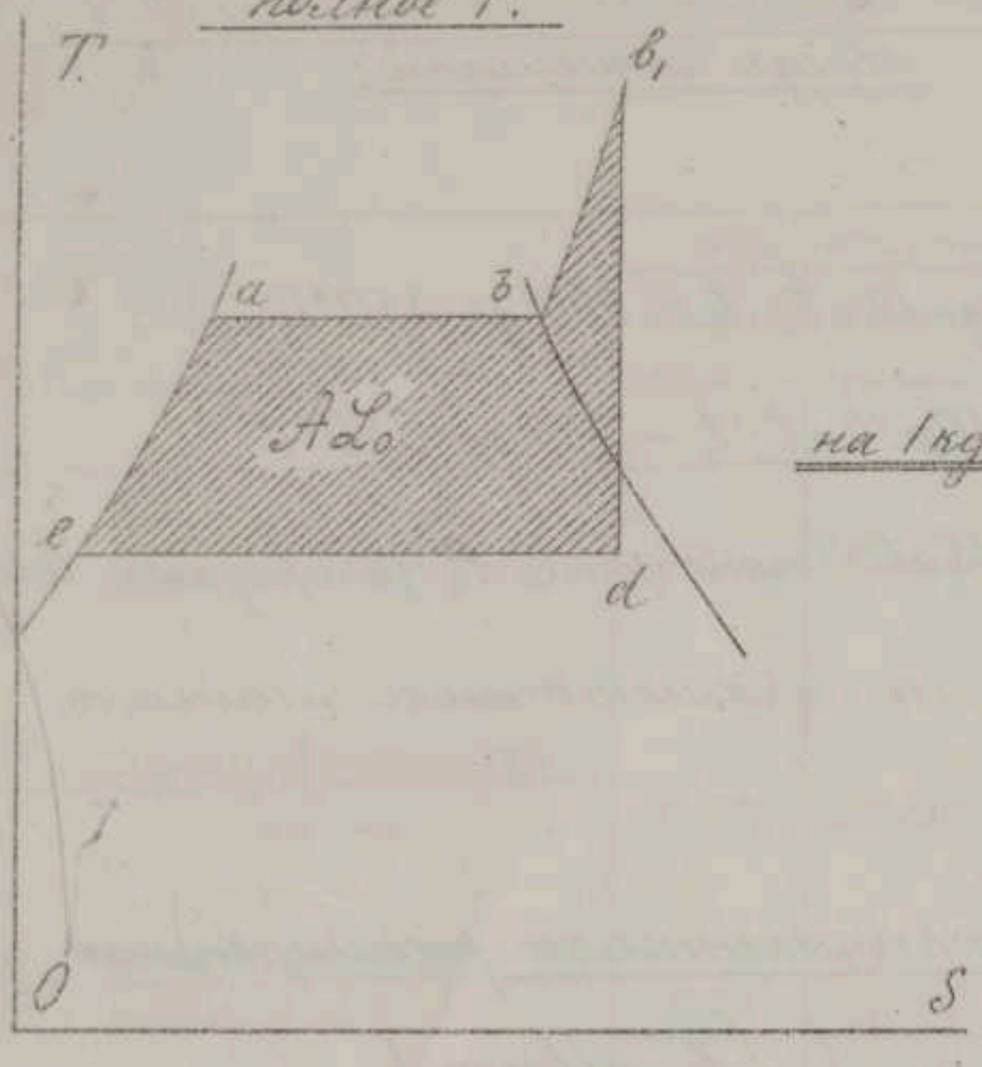
условіе: $v_2 = E \cdot v_1$ .....(1)

гдѣ E степень расширенія въ дѣйствительной машинѣ.

Паровыя машины

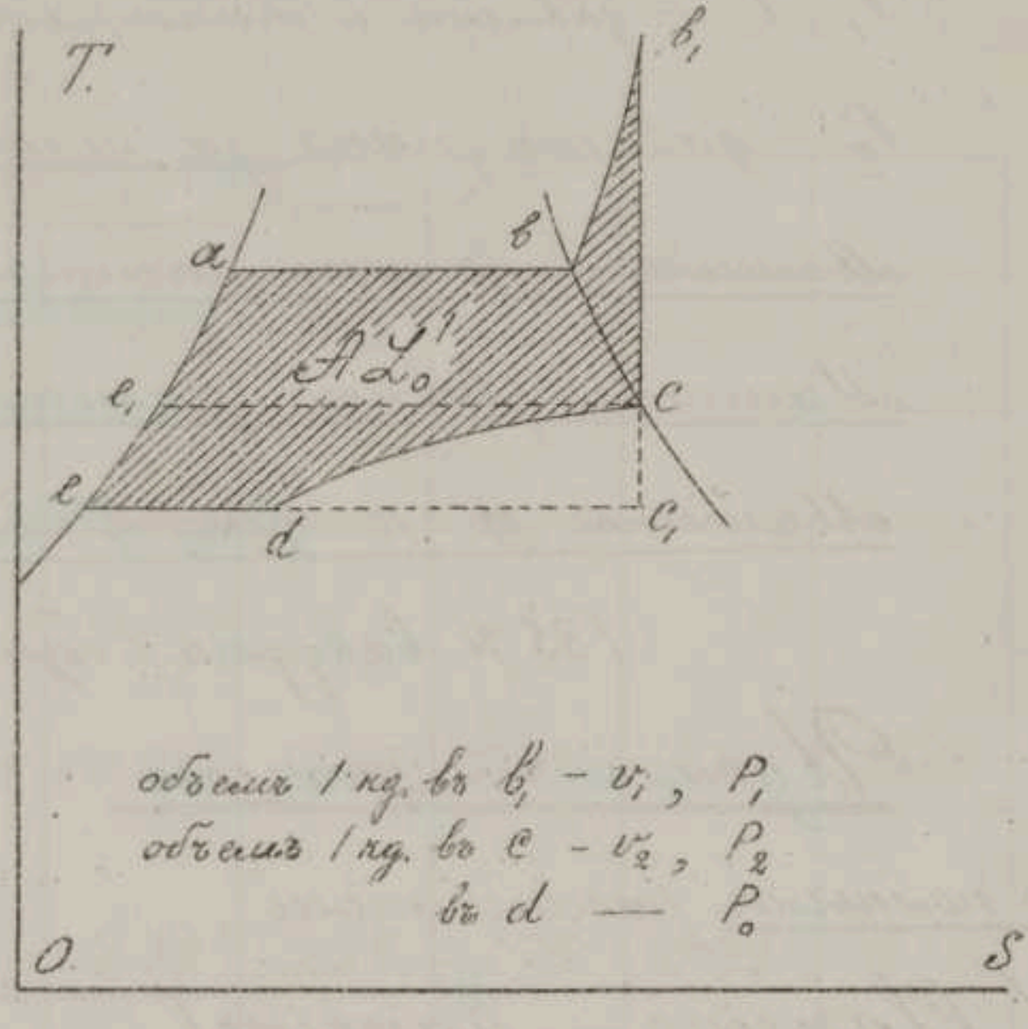
Коэффиціенты полезнаго дѣйствія идеальнаго процесса

полное P.



на 1 kg. пара

ограниченное P.



объемъ 1 kg. въ b_1 – v_1, P_1
объемъ 1 kg. въ c – v_2, P_2
въ d — P_0

$A L_0 = i_1 - i_0$ ..... (2)

гдѣ $i_1 - i_0$ - адіабатическое паденіе тепло-содержанія между P_1, t_1 и P_0 (TS діаграмм)

$D_0 = \frac{632}{A L_0}$ ..... (5)

гдѣ D_0 – расходъ пара на С. Ч. въ идеальномъ процессѣ.

q_0 - расходъ тепла на С. Ч.

$q_0 = D_0 \cdot i_1$ ..... (6)

$\eta_m = \frac{A L_0}{i_1} = \frac{632}{D_0 i_1} \sim \frac{1}{D_0}$ ..... (7)

(если $i_1 \sim 632$.)

η_m - термическій коэффиціентъ, отнесенный къ 0° C

если взять вмѣсто $i_1 - \underline{i_1 - t_0}$, то $\eta_m' = \frac{A L_0}{i_1 - t_0}$ – термическій коэффиціентъ, отнесенный къ температурѣ питательной воды.

$A L_0' <$ площ. $e_1 a b b_1 c e_1$ + площ $e_1 c d e e_1$ въ kg/m².

$A L_0' = (i_1 - i_2) + A(P_2 - P_0) v_2$ (въ m³) ..... (3)

гдѣ i_2 теплосодержаніе въ c;

$A L_0' < A L_0$ ..... (4)

$D_0' = \frac{632}{A L_0'}$ ..... (5 bis)

$q_0' = D_0' \cdot i_1$ ..... (6 bis)

$D_0' > D_0$ ..... (8)

Примѣръ:

$P_1 = 13$ at; $t_1 = 300°$ C; $P_0 = 0{,}05$ at.; $A L_0 = 219$ cal; $D_0 = 2{,}88$ kg

$\frac{v_2}{v_1} = 8{,}9 = \frac{100 + 1{,}5}{10 + 1{,}5}$

$A L_0' = 159$ Cal; $D_0' = 3{,}97$ kg.

Тепловыя силовыя станціи

XI

Мощность двигателей

А. Употребительныя обозначенія:

Номинальная (Nennleistung).

Нормальная (Normalleistung).

Максимальная.

Максимальная длительная (Maximal-Dauerleistung).

Максимальная кратковременная (Momentane Maximalleistung, vorübergehende Höchstleistung и т. д.)

Б. Ясности и обычность обозначений – отсутствіе общепринятыхъ техническихъ опредѣленій этихъ понятій, общепризнанныхъ, однообразныхъ терминовъ; непредѣленность отношеній величинъ различныхъ ступеней мощности. Практическія затрудненія и невыгоды такого положенія.

В. Предлагаемыя рациональныя обозначенія.

1) Полная мощность – наибольшая, выдерживаемая двигателемъ неограниченно длительно безъ ущерба для надежности дѣйствія и съ сохраненіемъ опредѣленнаго запаса на перегрузку (напр. 10–15 %). – практически равноцѣнна номинальной или нормальной мощности большинства двигателей внутренняго сгоранія и паровыхъ турбинъ, максимальной длительной паровыхъ машинъ.

2) Максимальная мощность (иначе перегрузочная) – наибольшая, выдерживаемая двигателемъ кратковременно безъ ущерба для надежности дѣйствія и съ сохраненіемъ регулированія скорости. – практически равноцѣнна максимальной мощности двигателей внутренняго сгоранія и паровыхъ турбинъ и максимальной кратковременной паровыхъ машинъ.

Тепловыя силовыя станціи.

XII

Надежность дѣйствія.

Характеръ разстройства дѣйствія и факторы противодѣйствующіе.

1) Разстройство органовъ подъ вліяніемъ рабочаго процесса:

а) поверхностныя поврежденія органовъ – износъ; ..... правильная смазка; малыя удѣльныя давленія на трущихся поверхностяхъ; малыя скорости (малая работа давленія); точная пригонка, соотвѣтственный матеріалъ; полировка.

б) внутреннія поврежденія: измѣненія структуры, трещины, поломки; ..... ослабленіе вредныхъ дѣйствій ударовъ; перемѣнныхъ и неравномѣрныхъ температуръ; подборъ матеріаловъ; термическая обработка; конструкція.

в) образованіе неплотностей - слѣдствіе износа и взаимодѣйствія между рабочимъ тѣломъ и поверхностью органовъ; ..... всѣ факторы пункта А; подборъ, сопротивляющагося воздѣйствію рабочаго тѣла, матеріала; ослабленіе вредныхъ свойствъ рабочаго тѣла.

г) кинематическія неправильности – развязка движенія органовъ; ..... всѣ факторы пункта А; принужденное движеніе важнѣйшихъ органовъ; надежность силового замыканія относительно случайныхъ силъ; правильный уходъ и своевременный ремонтъ.

д) физическія неправильности (водянымъ охлажденіемъ, запасомъ) ..... контролируемость физическихъ процессовъ; доступность исправленій нарушеній (очистка, поддержаніе изоляціи).

2) Разстройство рабочаго процесса подъ вліяніемъ разстройства органовъ: разсмотрѣно въ усудшеніи работы VII и VIII – вліяетъ на надежность въ двухъ направленіяхъ:

а) усиленіемъ разстройства органовъ подъ вліяніемъ разстроеннаго рабочаго процесса;

б) паденіемъ производительности или мощности какихъ либо частей рабочаго процесса установки до несоотвѣтствія съ ея нагрузкой.

Въ конечномъ счетѣ разстройства органовъ и процесса могутъ имѣть результатомъ прекращеніе дѣйствія – остановку хода или разрушеніе установки, въ цѣломъ или въ частяхъ.

№3

.фабрикаціи.

Значеній патентовъ.

Нормальный типъ

современное повышеніе числа оборотовъ.

2077 М.А.N – основной типъ

4996 Gebr. Sulzer. - автоматичность дѣйствія крупныхъ двига-

телей; водяное охлажденій поршней.

7006 Голландскій типъ - ползуны, водяное охлажденіе поршней.

7234 Гюльднеръ – компрессоръ; распредѣленіе

Быстроходный закрытый типъ

– ограниченій применяемости.

1506 М.А.N.

4995 Gebr. Sulzer. - стальные литые станины горизонт. компрессора

7199. Diesel & Co — 5. Л.С. двигатель.

Горизонтальные двигатели

7304. М.А.N – по типу газовыхъ съ вертикальной осью цилиндр.

7208 Gebr Körting – съ горизонтальн. осью цилиндровъ.

Крупные двигатели Дизеля

2хт тактный типъ - простота частей; компактность;

удобство ухода; пока меньшая экономичность.

6213 Разрѣзъ 2хт тактн. двигателя Sulzer.

7111 2хт тактный 4хц цилиндровый двигатель

Gebr. Sulzer. 1400 л.с.

Горизонтальный двойного дѣйствія

7186 М.А.N – разрѣзъ;

7303 внѣшній видъ (пока до 1600 л.с.)

Двигатель проф. Юнкерс

кинематически – тандемъ – Oechelhäuser.

4 поршня – 2 рабочихъ цилиндра

7228 частичное уравновѣшеній инерціонныхъ усилій. –

1627

разгрузка рамы.-облегчен фундамента; длина машины; доступ к средним поршням.

Видоизменение процесса Дизеля. -

- двигатели Лицендейер, Бронс и др.-

ограниченное значение.

Г. Газовые двигатели.

Условия применения в России.

Вытеснение светильно-газовых двигателей нефтяными.

Специальное значение доменно-газовых и коксовально-газовых двигателей.

Ограниченное значение газовсасывающих двигателей для дешевого топлива - конкуренция двигателей Дизеля по расходу на топливо и по прочим условиям эксплоатации.

Неразработанность вопроса использования дешевого топлива и конкуренция паровых двигателей в этой области - по надежности действия и удобствам эксплоатации с малой разницей расхода на топливо. Трудности этого рода установок - неполнота топлива и рабочего процесса, трудности загрязнения.

Общий вывод - настоящее положение газовых двигателей неточно - оно создалось: а) патентными ограничениями производства двигателей Дизеля; б) господством на рынке иностранного машиностроения, поставляющего на 1/6 всю газовых двигателей; в) недостаточностью русского машиностроения и эксплоатационной техники.

Типы газовых двигателей

простого действия - возврат машиностроения

Двигатели внутренняго сгоранія

A. Общіе пункты оцѣнки.

— XX *Экономичность* – практическая связь технической и коммерческой экономичности въ связи съ тепловой разноцѣнностью топлива.

Мощность – неоднаковость оцѣнки полной (номинальной) мощности у разныхъ типовъ и фирмъ. Практическія слѣдствія для потребителей и строителей.

— XXI Пріемъ грубой оцѣнки мощности по размѣрамъ двигателей.

Надежность дѣйствія – кромѣ общихъ условій

XIII – вліяніе основныхъ конструктивныхъ элементовъ и условій.

7000 1) *Поршень и клапана.* – выгораніе – температуры, – охлажденіе.

2) *Цилиндръ и головка* – наиболѣе чувствительная часть – свобода температурныхъ деформацій – охлажденіе – доступность частей.

254 Обыкновенная конструкція цилиндра простого дѣйствія.

247 Конструкція Reichenbach.

7117 3) *Рама и передаточный механизмъ* – сопоставленіе усилій въ двигателяхъ внутренняго сгоранія и локомобиляхъ.

791 Англійскій типъ рамы – цилиндръ на вѣсу – косой ползунъ подшипниковъ; – большой эксцентриситетъ, – (многія заводы перѣшли на нѣмецкій типъ, особенно въ крупныхъ двигателяхъ).

256 Германскій типъ – полная поддержка цилиндра, малый эксцентриситетъ.

106

4/ Распределительный и регулирующий механизмы:

254 — Золотниковое газовое двигателей - сложный по конструкции

1237 — трубчатый,

тарельчатый (Gebr. F. Deutz) и фирм заводов, русских -

конструкции и т. д.

Двухтактный нефтяной двигатель.

простота;

7995 — тяжесть и громоздкость.

Дизель компрессор, нефтяной тяж. и громоздкий —

сложность, точность функционирования.

5/ Водяное охлаждение, запалы, мелкие детали,

применяющіяся при неправильности устройства,

сильно осложнят эксплоатацію и уменьшат

первоначальное вліяніе на надежность дѣйствія.

Неудачный запалы часто слѣдно испортить —

охлажденіе предупредить трудно!

6/ Газопроводимый: грязнится, очистка цилиндр,

испарителя и очистителя.

Приспособленность к условіям назначенія

Общія условія XIV

6995 — Равномѣрность хода - вѣс маховика, зависимость

1504 — отъ типа и числа рабочихъ цилиндровъ.

Предѣлы мощности для одного цилиндра сравнительны. Средства повышенія мощности:

XXII — а/ сочетаніе цилиндровъ;

б/ двухтактность - только для жидкаго топлива.

в/ двойное дѣйствіе - для крупныхъ мощностей у

границы простого дѣйствія и выше.

форсировка - повышеніе n ← ограниченное вѣсомъ;

повышеніе P_i - затруднительно или возможно чрезъ η_3

107

Тепловыя силовыя станціи

Лекція IV

Прямоточная машина.

Stumpf и его предшественники: Англійскій патентъ L. Todd. – 1886 г.; бельгійскій патентъ Prateau – 1895 г.; опытъ W. Schmidt – въ 1886 г.; попытки Gräbener – распредѣленіе поршнемъ. Причины успѣха Stumpf – оцѣнка техническихъ преимуществъ и преодолѣніе конструктивныхъ трудностей.

5201
7378

Принципъ работы.

Попытка представленія измѣненій состоянія пара въ цилиндрѣ – предъвпускная паросодержаніе въ концѣ расширенія и начало выпуска.

6195

Индикаторная діаграмма сравнительно съ машиной двойного расширенія.

Термодинамическія преимущества:

а/ минимумъ вреднаго пространства по объему поверхности.

[По приближенному подсчету сравнительно холодная поверхность поршня ~ 1,6 F, гдѣ F – площадь поршня, а горячая поверхность крышки и впускного клапана ~ 2F – всего 3,6 F при объемѣ вреднаго пространства до 1½ – 2 %. Въ нормальныхъ машинахъ поверхность достигаетъ 6 – 8 F и болѣе, главнымъ образомъ развитіемъ холодныхъ поверхностей выпускныхъ каналовъ и органовъ, а объемъ достигаетъ 6 – 10 % и болѣе. Машины съ распредѣлительными органами въ крышкахъ (напримѣръ: van der Kerchove) занимаютъ средне мѣсто, приближаясь къ прямоточнымъ.]

б/ сильный обогрев крышек;

в/ выгодное распределение температур стенок рабочего пространства относительно температур пара, благодаря малым отсчкам и длинному ходу;

г/ прямой ток пара и возможное его влияние на теплообмен.-(ограниченное);

д/ ослабление потерь впуска и выпуска,— весьма чувствительных в современных машинах, особенно многократного расширения;

е/ улучшение сжатия;

ж/. влияние неплотностей? безусловно отрицательный фактор;

з/ увеличение неполноты расширения (уменьшение объема цилиндра сравнительно с Ц. Н. Д. машины двойного расширения)

7379 Расход пара и тепла в прямоточной машине, данные Штумпфа.

Сомнительность столь сильного влияния добавочной рубашки.

Сопоставление с идеальным процессом ограниченного расширения.

При $P_i = 2,4$ at; $D_0' = 4,63$ кг. при насыщенном паре;

$D_0' = 3,83$ кг. при $t_1 = 325°C$

$\eta_g = \frac{4,63}{5,03} = 0,92$ при насыщенном паре и

$\eta_g = \frac{3,83}{4,21} = 0,91$ при $t_1 = 325°C$ (?!)

7375 XVIII Сопоставление с экономичными, нормальными машинами.

7376 XIX Данные по экономичности прямоточных машин.

619 Результаты испытаний, прямоточной машины Д. М. А. Недостаточная выясненность вопроса; отсутствие разъясняющих его калориметрических исследований

109

в/ Нормальные поршни современных машин:

7119 гиведский типъ;

7120 возможно малый вѣсъ;

7122 2-3 кольца - для цилиндра высокаго давленія - менѣе относитель-
ный вырѣзъ кольца, чѣмъ для цилиндра низкаго давленія - часто
Посадка на скалку.

7373 Поддержки:- рабочая поверхность цилиндра; скалки; ползуны;
подушки

Сальники: нафсисъ; подтяжка; подвижность;

7319 а/ камерная набивка Zentz.

580 б/ камерная нажимная набивка Pröll - Schwabe;

576 новый типъ

4892 в/ сегментная набивка съ радіальнымъ и осевымъ нажимомъ.

701 у мягкія набивки - сегментныя набивки безъ упругаго нажима.

Распредѣлительные органы и механизмъ.

Скорости пара при впускѣ 40-60 m/sec.; минимумъ периметръ
- для уменьшенія неплотностей; уравновѣшеній давленій -
- разгрузка рабочихъ поверхностей; поршневые золотники
и кольцевые выполняютъ плоскіе золотники и краны.

Конструктивныя средства для уплотненія.

Золотниковыя распредѣленія

Стремленія къ упрощенію формъ и повышенію плотности.

Устраненіе двойныхъ золотниковъ. Двухкамерныя распредѣленія.

575 Dörfel - безъ набивки

5588 Фидеръ М.А.М.

Переходъ къ простымъ золотникамъ - (въ локомобиляхъ)

1150 Золотники съ ненафсатымъ разрѣзнымъ кольцомъ.

1141 Старый типъ поршневого золотника.

7374 Новый типъ поршневого золотника. (R. Wolf).

Сложныя формы золотниковъ - теряютъ значеніе.

462 Дублированіе впуска и выпуска (увеличеніе периметровъ для

110

неплотностей).

473 Золотникъ Hochwaldt – цилиндрический

490 Искаженій діаграммы при слабой неплотности.

705 Золотникъ Stein

704 Золотниковая діаграмма

Клапаны

720 Типы клапановъ – Lentz

5028 " " Jacobi

582 Четырехъопорный – Sulzer.

Индикаторныя діаграммы клапанныхъ машинъ:

475 а) при малой скорости поршня – 2 m/sec.

51 б) при большой скорости поршня. – 4,2 m/sec.

Клапанные механизмы

5587 Съ расцѣпкой.

566 Рычажные съ принужденнымъ движеніемъ.

493 Кулачные:

5585 упрощенія конструкціи;

569 уменьшенія силъ при возрастаніи ускореній;

710 отчетливость діаграммы.

720 Lentz основной наиболѣе распространенный типъ

Pröll-Schwabe (устраненіе бокового давленія на цилиндель.)

Специальные типы распредѣленій.

5203 Trikart – съ половинной скоростью (Е.М.А.Д)

5204 Кинематическая схема.

5205 Индикаторныя діаграммы.

602 Van der. Kerchove – уменьшеніе вредныхъ пространствъ – – прямой проходъ пара – обогревъ крышекъ – (преимущества ряда преимуществъ прямоточныхъ машинъ)

5208 Затрудненія доступа къ поршню

Брюссельская выставка показала цѣлый рядъ конструкцій, преслѣдующихъ такія цѣли..

17

Тепловыя силовыя станціи

VII

111

Техническая экономичность.

Ухудшеніе работы

А Факторы ухудшенія въ котельной

1) ухудшеніе теплопроизводительности топлива;	контроль $Q_в$ или $W_o A$.
2) увеличеніе избытка воздуха α;	контроль CO_2
3) увеличеніе неполноты сгоранія и провала;	провѣрка плотности обмуровки; правильное веденіе топки; конструкція
4) загрязненіе поверхности нагрѣва изнутри и снаружи.	очистка воды, очистка поверхности нагрѣва; конструкція.
5) неплотности.	

Иѕвнѣ считаетъ на 2 и 3 – 8%, на 4 - 9%; при хорошей эксплоатаціи можно считать – 5 – 10 %; при плохой – предѣлъ растяжимъ

Б. Факторы ухудшенія въ машинной

1) паденіе давленія и перегрѣва пара $p_к$ и $t_п$; (чувствительность сильная, чѣмъ въ идеальн. процессѣ).	работоспособность котла, правильный уходъ; конструкція.
2) пониженіе вакуума или повышеніе противодавленія; (высшая чувствительность турбинъ, слабая чувствительность машинъ)	температура холодной воды, количество, ослабленіе просасыванія воздуха; конструкція; конструкція; правильный уходъ; ремонтъ; простота; точность выполненія; контроль. контроль смазки; правильная сборка; солидный фундаментъ.
3) неплотности: сильны въ машинахъ; слабо въ крупныхъ турбинахъ	
4) развѣрка распредѣленія;	
5) ухудшеніе механическаго коэффиціента сравнительно слабо.	

при хорошей эксплоатаціи можно считать 5-10% для машины; для турбины - немного менѣе; при плохой – предѣлъ растяжимъ.

V

Тепловыя силовыя станціи

VIII

Техническая экономичность

Ухудшеніе работы

В Факторы ухудшенія въ газовысасывающей установкѣ:

1) ухудшеніе теплопроизводительности топлива;
2) горячій ходъ генератора - увеличеніе CO_2 и потери въ скруббере;
3) увеличеніе потери въ шлакѣ;
4) ухудшеніе сгоранія въ двигателѣ;
5) уменьшеніе сжатія;
6) развѣрка распредѣленія и запаловъ - первое возможно въ слабой степени; второе - весьма часто и сильно вліяетъ;
7) ухудшеніе механическаго коэффициента Ичвакт - 2 и 3 - 8%;

При хорошей эксплоатаціи можно считать 10-15% для всей установки; при плохой - предѣлъ растяжимъ.

контроль Qв или W и A. правильный уходъ; сортировка топлива; конструкція; правильный уходъ; сжатое A; конструкція - правильная регулировка газа и воздуха; запалы; конструкція: правильная регулировка; плотность поршня; правильные трубопроводы, конструкція; правильный уходъ; ремонтъ; контроль; контроль смазки; водяное охлажденіе; правильная сборка; солидный фундаментъ.

Въ нефтяныхъ двигателяхъ процесса Отто - предѣлъ растяжимъ главное вліяніе имѣютъ (4) и (5) отчасти развѣрка распредѣленія и (7)

Въ нефтяныхъ двигателяхъ процесса Дизеля предѣлъ ограниченъ; можно считать до 5%; при плохой эксплоатаціи вліяніе имѣютъ (4), (5) отчасти развѣрка распредѣленія и (7).

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность

III

Парадный и рабочій расходы тепла.

q_e – парадный расходъ тепла.

q_e' – рабочій расходъ тепла.

$\alpha = \frac{q_e'}{q_e}$ ..... (14) – коэффиціентъ рабочаго расхода; $\alpha > 1$

$\alpha = 1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4$ .... (15);

Δ_1 – прибавокъ на растопку
Δ_2 – прибавокъ на служебный расходъ.
Δ_3 – прибавокъ на нагрузку
Δ_4 – прибавокъ на ухудшеніе.

Расходъ на растопку

Рационально – по закону внѣшней потери при остываніи и по учету нагрѣва воды при полной растопкѣ и на продувку.

n – число рабочихъ часовъ въ годъ.

u – число полныхъ растопокъ въ годъ.

$\Delta_1 = \left(\frac{8760}{n} - 1\right) \cdot \zeta_5' + \frac{u}{n} \cdot \frac{V_e}{D_k}$ ..... (16)

$\zeta_5' \leqq \zeta_5$ Относительная внѣшняя потеря котла въ работѣ

ζ_5 отъ 8-10% для к. жар. тр.; отъ 5 до 12% для водотр. к.

при рыночной обмуровкѣ; 4% и 3-5% при рациональной обмур.

V_e – объемъ воды въ l на 1 m² поверхности нагрѣва; отъ 150 до 90 l.

D_k – паропроизводительность 1 m²; $1 \sim \frac{\text{нагрѣвъ воды и кладки}}{\text{парообразованіе}}$

Эмпирически По ф. Магдебургскаго Р. О-ва

$\Delta_1 = \frac{14}{D_k} \cdot \left(\frac{365 + 3u}{n} - \frac{1}{24}\right)$ .... (17)

принято – 24 часа остыванія = 2 kg. угля / m² поверхности нагрѣва;
полная растопка = 3 сутками остыванія; испарительность = 7;

[Годичный расходъ на растопку: $B' = 2 \cdot H_k \cdot \left\{ (365 - t) + \left(1 - \frac{s}{24}\right) t + 3u \right\}$
(s – число дневныхъ)
H_k – пов. нагрѣва; t – число рабочихъ дней;
рабочихъ часовъ; рабочій расходъ годичный $B = \frac{H_k \cdot D_k}{7} \cdot s \cdot t$;
$s \cdot t = n$; $\Delta_1 = \frac{B'}{B}$.] .

Тепловыя силовыя станціи

Техническая экономичность

IV

Примѣры расчета расхода на растопку.

Непрерывная работа: $\zeta'_5 = 4\%$ - въ зависимости отъ плотности регистра и теплостойкости обмуровки.

$n = 8000$; $u = 4$; $v_6 = 40$; $D_k = 40$.

по уравненію ....(16): $\Delta_1 = 0{,}2\%$.

по уравненію ....(17): $\Delta_1 \sim 0{,}2\%$

Періодическая слабая работа: $\zeta'_5 = 8\%$; $n = 2000$; $u = 12$; $v_6 = 40$.

$D_k = 10$; по уравненію...(16): $\Delta_1 = 28\%$; по уравненію..(17): $\Delta_1 \sim 22\%$.

Нормальная дневная работа: $\zeta'_5 = 6\%$; $n = 2800$; $u = 6$; $v_6 = 40$; $D_k = 20$.;

по уравненію....(16): $\Delta_1 = 12\%$; по уравненію...(17): $\Delta_1 \sim 7\%$.

Расходъ на прогаръ генератора.

$$\Delta_1 = \left(\frac{8760}{n} - 1\right)\zeta'_5 + \frac{u \cdot v_2}{n} \quad \ldots\ldots (18).$$

ζ'_5 - относительный часовой расходъ на прогаръ;

v_2 - объемъ генератора относительно полнаго часового расхода топлива;

v_2 - отъ 10 до 18;

u - число полныхъ загрузокъ свѣжимъ топливомъ.

ζ'_5 - отъ 2 до 10% и болѣе - въ зависимости отъ ухода и конструкціи.

Примѣры расчета расхода на прогаръ.

Періодическая слабая работа;

$\zeta'_5 = 15\%$; $n = 2000$; $u = 4$; $v_2 = 15$;

по уравненію ...(18): $\Delta_1 = 53\%$

Нормальная дневная работа;

$\zeta'_5 = 10\%$; $n = 2800$; $u = 4$; $v_2 = 10$;

по уравненію....(18): $\Delta_1 = 22\%$

Расходъ на прогрѣвъ калоризатора

Въ нефтяныхъ и керосиновыхъ двигателяхъ на каждый пускъ въ ходъ расходъ керосина на лампу.

Расходъ топлива на компрессоръ пусковой.

Трудности объективной оцѣнки.

Бѣдность систематизированнаго матеріала.

Положительное и отрицательное значеніе статистическаго метода.

Нивеллированіе къ посредственности, запаздываніе выводовъ при современномъ быстромъ прогрессѣ техники.

7349 (XII) Характеръ разстройства дѣйствія и факторы противодѣйствующіе.

7350 (XIII) Общія условія надежности дѣйствія.

1298 Нѣкоторыя иллюстраціи – исторія и анализъ болѣзни газоваго двигателя.

7000 Температуры горшня и клапановъ газоваго двигателя въ 40 л.с. (опыты Hopkinson); – выводы для двигателя Дизеля.

7117 Сопоставленіе условій работы поршневыхъ двигателей по p_i и T_{max}.

К. Приспособленность къ условіямъ назначенія.

Широта и конкретность задачи оцѣнки приспособленности въ каждомъ частномъ случаѣ.

7351 (XIV) Сопоставленіе различныхъ сторонъ оцѣнки.

Практическое значеніе оцѣнки.

Нѣкоторыя частности.

Равномѣрность хода.

2075 Степени неравномѣрности для разныхъ случаевъ соединенія съ динамо.

499 Распредѣленіе импульсовъ въ паровыхъ машинахъ и двигателяхъ внутренняго сгоранія по времени.

96 Сопоставленіе діаграммъ тангенціальныхъ усилій въ паровыхъ машинахъ и четырехтактн. двигателяхъ

Предѣлы размѣровъ.

97 Сопоставленіе поршневыхъ усилій, какъ предѣла для размѣра поршневыхъ двигателей – Riedler Grossgas maschinen.

16

Примеры максимальных поршневых усилий от поименованных машин.

1) 2-хкр кривошипная; 4-хц цилиндровая
машина 3-го расширения В.Е.W- 6500 и.л.с.
- 5800 э.л.с, 83об; 80 тн.

2) 4-хкр кривошипная; 6-тиц цилиндровая.
машина 4-го расширения
парохода. „Deutschland" - 18000 и.л.с.
- 16800 э.л.с, 76 об; 120 тн.

3) 4-хкр кривошипный, 4-хц цилиндровый
двигатель Дизеля простого действия;
ф= 600 мм. Pmax - 35 at;
880 э.л.с. 140 об..... 100 тн.

4) 2-хкр кривошипный доменногазовый двигатель
тандем двойного действия
ф= 1100 мм. Pmax = 28 at
4400 э.л.с ... 94 об. 220 тн.

7342 (V) Служебный расходъ пара.

6998 Примѣръ распредѣленія служебнаго расхода по времени въ электр. станц. 2300 К.И.

6. Зависимость расхода топлива и пара отъ нагрузки.

1584. Діаграмма экономичности по нагрузкѣ - ея свойства и примѣненіе

Характеристика разныхъ двигателей:

1) паровая машина - взаимное уравновѣшеніе потерь при разныхъ нагрузкахъ:

4. примѣръ - 250 Л.С. машина тандемъ van den Kerchove;

104. примѣры машинъ М.А.К. - постоянная экономичность.

2) Паровыя турбины - вліяніе регулированія соплами и мятіемъ.

При регулированіи мятіемъ, термическій идеальный коэффиціентъ η_t, съ уменьшеніемъ давленія, падаетъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ меньшіе

5011 предѣлы давленія используетъ турбина.

Малыя американскія неэкономичныя турбины безъ конденсаціи -

6408 расходъ пара при разныхъ нагрузкахъ.

Зависимость расхода пара отъ нагрузки - въ экономичной турбинѣ

7291 съ регулированіемъ мятіемъ (Zölly - 4000 К.И.)

Зависимость расхода пара отъ нагрузки при регулированіи

6407 соплами (Curtis 9000. К.И.).

7336 Примѣры экономичности по нагрузкѣ для турбинъ небольшой мощности 200-300 К.И.

7337 Примѣры экономичности по нагрузкѣ для крупныхъ турбинъ отъ 1000 до 4000 К.И.

3) Паровые локомобили - благодаря совокупному вліянію котла и маши-

7334 ны и дѣйствію перегрѣва - даютъ почти постоянную экономичность по нагрузкѣ.

$\eta_e = 25$

4) Газовсасывающіе двигатели даютъ самую невыгодную зависи-мость, благодаря добавочному ухудшенію со стороны генератора, невыгодной вообще экономичности по нагрузкѣ для двигателей внутренняго сгоранія.

246 Діаграмма B_e для газовсасывающаго двигателя Mees въ 25 Э.Л.С. при количественномъ и комбинированномъ регулированіи.

84 Діаграмма экономичности по нагрузкѣ газовсасывающаго двигателя (системы Koerting)

136 Расходъ газа для двигателя Швейцарскаго локомотивнаго завода въ 125 Э.Л.С.

5) Доменно-газовые двигатели - благопріятные - газовсасывающихъ.

259 Діаграммы испытаній двигателя М.А.Н. - Нюрнберг 1200 Э.Л.С.

3528 Сопоставленіе расходовъ газа для крупныхъ газовыхъ двигателей.

б) Нефтяные двигатели процесса Отто. благодаря готовому топливу, благопріятные газовсасывающихъ.

Вліяніе неполноты сгоранія при максимальной нагрузкѣ.

7) Двигатели Дизеля, благодаря термодинамической особенности рабочаго процесса (увеличеніе η_m съ уменьшеніемъ нагрузки и готовому топливу, даютъ наименьшую изъ всѣхъ двигателей внутренняго сгоранія, зависимость экономичности отъ нагрузки,

84 Сопоставленіе двигателей Дизеля съ газовсасывающими.

— Діаграммы экономичности двигателей Дизеля.

8) Сопоставленіе двигателей.

103 Сопоставленіе расхода тепла на Э.С.Ч. въ паровыхъ, доменно-газовыхъ и Дизеля, двигателяхъ.

3481 Сопоставленіе газовсасывающаго двигателя и Дизеля.

3485 Сопоставленіе относительныхъ измѣненій расхода тепла на Э.С.Ч въ паровыхъ локомобиляхъ, газовсасывающихъ и Дизеля двигателяхъ.

7343 (VI) Расчетъ прибавки расхода по нагрузкѣ.

Выводъ - практически важно не максимальная экономичность двигателя, а экономичность соотвѣтственная дѣйствительной нагрузкѣ, поэтому зависимость экономичности отъ нагрузки имѣетъ первостепенное, хотя практикой и часто недооцѣниваемое значеніе.

Г. Прибавокъ на ухудшеніе работы

7344 (VII) Факторы ухудшенія въ котельной и машинной.

Въ современной котельной, при большомъ экономайзерѣ, вліяніе ухудшенія ослабляется.

6403 Вліяніе ухудшенія вакуума на турбину значительно.

Вліяніе ухудшенія перегрѣва значительно для турбины и машины.

4/ Несостоятельность русскаго производства – неодинакова относительно разныхъ родовъ машинъ. Котлы, двигатели Дизеля, прочіе двигатели внутренняго сгоранія, паровыя машины и турбины. Различныя причины несостоятельности. Таможенная охрана. Емкость рынка. Общія условія развитія промышленности. Историческая и культурная основа развитія современнаго машиностроенія.

5/ Отсутствіе систематизированныхъ и провѣренныхъ техническихъ и экономическихъ данныхъ изъ русской эксплоатаціонной практики въ литературѣ и трудность добыванія ихъ изъ практики.

а/ Данныя по рынку топлива.

б/ Данныя по рынку машинъ.

в/ Техническія данныя по устройству русскихъ силовыхъ станцій.

г/ Экономическія и техническія эксплоатаціонныя данныя.

Роль техниковъ и предпринимателей въ этомъ отношеніи. Положеніе техническаго и экономическаго учета силовыхъ установокъ.

Примѣры.

6/ „Моды" на двигатели и недостаточно критическое отношеніе русскихъ техниковъ и предпринимателей къ задачѣ

Выводъ изъ всего предыдущаго анализа положенія дѣлаетъ такое отношеніе неизбѣжнымъ слѣдствіемъ. Примѣры. Новѣйшія моды. Сопоставленіе съ Германіей.

7/ Роль хозяйственно-техническихъ обществъ, научно-техническихъ обществъ, литературы и высшихъ школъ въ этой области.

Нерѣшенными остаются задачи очень важныя и сложныя, только объединенныя и планомѣрныя усилія могутъ серьезно поднять продуктивность использованія средствъ въ этой области.

Роль хозяйственно-техническихъ обществъ – по надзору за котлами; роль научно-техническихъ обществъ роль литературы;

120

7327; 7328

роль высшей школы; примѣръ: современное положеніе отдѣла тепловой техники въ Р. П. У.

предприятия Gutehoffnungshütte (Германия) производство чугуна: 1880/81 — 123. тыс. tn. 1890/91 — 233 тыс. tn. 1900/01 — 371 тыс. tn. 1908/09 — 510 тыс. tn.

в. Машиностроение, текстильная промышленность.

Масштаб предприятий и их силовых станций увеличивается слабые, чьим в предыдущих отраслях, но вставки значительно.

Рост производства органически выросшего завода - (Бр. Зульцеръ.)

7131 Производительность Л. С. двигателей (одна из отраслей производства).

7137 Число рабочих

2) Конструктивная выработка и техника выполнения

Иллюстрация примерами.

7130 Первая горизонтальная клапанная машина Бр. Зульцеръ 1866 г.

375 × 900 mm; – 50 об.; P_k = 5 at ; 32 И. Л. С.

Последняя по размеру клапанная машина Бр. Зульцеръ 1903 г.

$\frac{1030 + 1525 + 2 \times 1850}{1700}$ m.m. 83 об. P_k = 12 at, 300°C ; 6500 И.С.

48 Внешний видъ.

47 Разрезы { шейки вала 620 × 1150 mm. Индукторъ 110 tn. / валъ подъ маховикомъ ф 850 mm. Рама стального литья.

7128 Цилиндръ 1900 пуд. 1850 × 1700 m.m.

Роторъ турбина „Mauretania" т. н. д.

4 турбины – 68000 Л. С. n = 190

2059 Діаметръ барабана – 3560 m.m.; длина 560 m.m.

ф вала т. н. д. во втулке – 1320 m.m.

Полный вѣсъ ротора въ сборѣ – 126 tn.

Выходитъ по размерамъ изъ предѣловъ габарита и до судна былъ доставленъ съ завода на повозкѣ.

5213 Газовый двигатель Отто 1878 г.

Первый крупный двухтактный Дизель – Зульцеръ; Центральная станция Аачан 1909 г. 750 Э. Л. С 3 × 500 × 720 mm. при 145 об.

Горизонтальный четырехтактный сдвоенный тандемъ, Дизель

7303 М. А. Н – 1600 Э. Л. С – центральная станция. Halle

7292

5212 Рама газоваго двигателя Allis-Chalmers Co
1118 x 1372 mm; 94 об.; вѣсъ 90 tn. = 5500 пуд.

Части газоваго двигателя двойного дѣйствія Нюрнбергскаго
5207 типа, завода Koniel & Lang

6007 Пріемы массовой фабрикаціи - ихъ значеніе для стоимости и
точности выполненія.

6011 Обработка локомобильнаго цилиндра на Мальцовскомъ заводѣ.

Контральная станція для частей паровыхъ машинъ на Швейцарск.
7317 заводѣ машинъ Ленца.

Качества матеріаловъ - чугунъ въ двс. до 250 kg/cm²;
допускаемое напряженіе на изгибъ и разрывъ. Сталь никкелевая
съ коэф. крѣпости до 7500 kg/cm². Высокопрочные сплавы и сталь.
Общій выводъ относительно современной техники выполне-
нія и конструктивной выработанности.

3) Экспериментальное изслѣдованіе.

Значеніе для изученія рабочаго процесса тепловыхъ двигателей.
Роль лабораторій научнаго характера. Роль заводскихъ изслѣдо-
ваній и испытательныхъ станцій. Изслѣдованія, связанныя
съ контролемъ эксплоатаціи. Примѣры.

4) Взаимная конкуренція разныхъ родовъ двигателей.

Повышеніе экономичности всѣхъ тепловыхъ двигателей; —
5200 діаграмма технической экономичности.
Вліяніе конкуренціи на экономичность одного рода двигателей
- расходъ тепла на Э.С.Ч. паровыхъ локомобилей - конкуренція
5945 фирмъ и другихъ родовъ двигателей.
Повышеніе компактности поршневыхъ тепловыхъ двигателей
подъ вліяніемъ конкуренціи взаимной и со стороны турбинъ.
7223 Разница въ напряженности работы между двигателями
современными и предыдущихъ эпохъ.

5. Эволюція задачи выбора тепловыхъ двигателей и рациональ-
наго устройства теплового хозяйства.

горизонтальныя и вертикальныя, часто клапанныя; германовій тип рѣшительно одерживаетъ верхъ конструктивной выработанностью и экономичностью. Серьезные практическіе успѣхи перегрѣва; вниманіе къ нему техники; первые шаги сильнаго перегрѣва;

4) Начало распространенія экономическихъ паровыхъ локомобилей въ промышленности.

5) Паровыя турбины - первые серьезные шаги примѣненія паровыхъ турбинъ малой мощности.

6) Нефтяные двигатели - первые попытки примѣненія.

7) Газовые и керосиновые двигатели - нѣкоторое распространеніе въ мелкихъ установкахъ; примѣненіе генераторнаго газа.

8) Начало практическаго выполненія двигателя Дизеля въ Аугсбургѣ

9) Мощность установокъ возростаетъ; размѣры единицъ до 1000 л.с - въ машинныхъ передачахъ; число единицъ въ электрическихъ станціяхъ измѣряется 2-5 и болѣе; въ фабричныхъ установкахъ работа преимущественно на приводъ; центральныя электрическія станціи ограничены по числу и размѣрамъ.

10) Экономичность: $\eta_и$ = 10-12% для паровыхъ установокъ; экономическая сторона эксплоатаціи съ ослабленіемъ техническихъ трудностей и увеличеніемъ размѣровъ установокъ пріобрѣтаетъ бо́льшее значеніе.

11) Паровая техника рѣшительно господствуетъ въ крупныхъ установкахъ - безъ исключенія; паровая машина - въ громадномъ бо́льшинствѣ случаевъ преобладающій двигатель. Типы становятся разнообразные; увеличивается конкуренція фирмъ.

12) Прочіе двигатели еще не вышли изъ періода опытовъ, малаго масштаба установокъ и проч., но почти все, стоящее въ центрѣ вниманія современныхъ тепловыхъ техниковъ въ той или иной степени тогда уже обозначилось.

13) Малая связь тепловыхъ двигателей съ нагрѣвательными установками. Отсутствіе единства теплового промышлен-

наго хозяйства.

14) Рациональные пріемы контроля теплового хозяйства и его учета лишь начинаютъ серьезно распространяться.

1910 г (Современная эпоха).

1) Котлы - водотрубные преобладаютъ; котлы большого объема удерживаютъ опредѣленное мѣсто; форсировка котла на первый планъ; улучшеніе топокъ.

2) Вспомогательныя устройства - ихъ выработанность, сложность и важность, неотъемлемость для раціональной постановки парового хозяйства: водоочистители, подогреватели, механическое снабженіе топливомъ, трубо-проводы; тяговыя устройства.

3) Паровыя машины въ новыхъ установкахъ съ сильнымъ перегревомъ; большей частью машины двойного расширенія, простого расширенія (прямоточныя) - вытѣсняютъ машины тройного расширенія; быстроходность и компактность; удешевленіе; чрезвычайная конструктивная выработанность.

4) Паровые локомобили съ сильнымъ перегревомъ; чрезвычайная экономичность; мощность до 500 л.с. и выше; самая серьезная конкуренція ихъ съ паровыми машинами и двигателями внутренняго сгоранія; громадное развитіе и усовершенствованіе ихъ производства въ Германіи.

5) Паровыя турбины - широкое распространеніе и рѣшительная побѣда на электрическихъ станціяхъ большой мощности; экономическое превосходство; удобство соединенія съ генераторами; надежность и компактность; связь ихъ производства съ электро-технической промышленностью и крупные размѣры предпріятій

6) Конденсаціонныя устройства въ связи съ развитіемъ турбинъ и крупныхъ паровыхъ станцій вообще; улучшеніе дѣйствія холодильниковъ; переворотъ въ устройствѣ насосовъ; развитіе обратнаго охлажденія; введеніе маслоотдѣлителей.

7) Нефтяные двигатели Отто и Дизеля - серьезное распространеніе въ малыхъ и среднихъ установкахъ; первые шаги двигателей Дизеля въ крупныхъ установкахъ; начало свободнаго конструктивнаго

Тепловыя силовыя станціи

LIV

Коммерческая экономичность

Стоимость оборудованія:

A_o - полная стоимость оборудованія;

$A_{см}$ - стоимость машины (двигателя);

$A_к$ - стоимость котловъ;

$A_э$ - стоимость экономайзеровъ;

$A_т$ - стоимость специальнаго топливнаго оборудованія; (механическія топки, транспортеры, оборудованіе складовъ и пр.)

$A_в$ - стоимость вспомогательныхъ устройствъ; (кромѣ $A_э$, $A_т$, $A_ф$)

$A_ф$ - стоимость фундаментовъ, доставки и монтажа;

$A_д$ - стоимость добавочныхъ частей по основной смѣтѣ - условно; (по существу включается или въ $A_{см}$ - $A_т$ или входитъ въ $A_в$)

$A_в$ и $A_ф$ можно отнести долями $q_{см}$, $q_к$ и т. д. на соотвѣтственныя части основного оборудованія.

Полная паровая установка:

$$A_o = A_{см}(1+q_{см}) + A_к(1+q_к) + A_э(1+q_э) + A_т(1+q_т) \quad \ldots\ldots (47)$$

Упрощенная паровая установка:

$$A_o = A_{см}(1+q_{см}) + A_к(1+q_к) \quad \ldots\ldots (48)$$

Установка локомобильная или двигателя внутр. сгоранія:

$$A_o = A_м(1+q_{см})$$

Стоимость зданія

$A_з = a_з N_п$ ..... (49) въ малыхъ установкахъ.

$A_з = F_1 . a'_f + F_2 . a''_f$ ... (50) въ крупныхъ установкахъ.

F_1 - F_2 - площади котельной (генераторной) и машинной въ кв. саж.

a'_f, a''_f - стоимость квадратной сажени зданія.

Тепловыя силовыя станціи.

Коммерческая экономичность.

Доли стоимости вспомогательныхъ устройствъ въ установкахъ локомобилей и двигателей внутренняго сгоранія

№№	Роды вспомогательныхъ и добавочныхъ устройствъ	локомобил. безъ конденсаціи	локомобил. съ конденсац.	газосилов.-торные двигатели	нефтяные двигатели (Дизеля).
1	Фундаменты нормальные	1-1,5%	1-2 %	5-8 %	4-6 %
2	Доставка и монтажъ (съ вагона).....	2-3 %	3-5 %	10-12 %	6-8 %
3	Дымовая труба	3-5 %	3-5 %	——	——
4	Трубопроводы и баки	1-1,5%	2-3 %	8-12 %	4-5 %
5	Топливныя устройства..... (складъ, приспособленія для доставки)	1-4 %	2-4 %	2-3 %	1-2 %.
6	Водоочистители	——	4-6%	——	——
	Итого, нормально.....	8-15 %	15-25%	25-35%	15-21 %
7	Обратное охлажденіе.....	——	4-5 %	2-3 %	1-3 %
8	Специальная топка ..... (шахтная, ступенчатая, пародутьвая и т.п. - добавокъ)	4-6 %	3-5 %	——	——
9	Специальный газогенераторъ (для минеральнаго топлива - добавокъ)	——	——	10-20 %	——

Примѣчанія. При плохомъ грунтѣ расходъ на фундаментъ повышается. При дальней и трудной доставкѣ съ вагона и неудобныхъ условіяхъ монтажа - расходъ повышается. Въ (4) подразумѣваются нормальныя условія - близость источника воды и удобство удаленія; при уклоненіи - устройствѣ специальнаго водоснабженія съ насосами, колодцевъ питательныхъ и поглотительныхъ расходъ повышается. Въ (5) подразумѣваются самыя простыя, неавтоматическія устройства на ограниченный запасъ топлива (2-4 недѣли).

Тепловыя силовыя станціи

Коммерческая экономичность

Предѣльныя условія выгодности дешевыхъ и экономическихъ установокъ.

дешевая установка: $K_0 = K_1 + K_2 + K_3 = (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3) K_0$ ..... (43)

экономичная установки: $K_0' = K_1' + K_2' + K_3' = (\Lambda_1' + \Lambda_2' + \Lambda_3') K_0'$ ..... (43 bis)

обычно $K_2 \sim K_2'$;

$K_0' - K_0 \sim (K_1' - K_1) + (K_3' - K_3) = \Delta K_1 + \Delta K_3$ ..... (44.)

если ΔK_1 *и* ΔK_3 *имѣютъ одинаковые знаки, то при всякихъ* $K_в$ *или* g *выгодные одна изъ установокъ - пока теоретическій случай.*

обычно $\eta_э/\alpha$ *и* $v a_0$ *- стоятъ въ взаимной прямой зависимости.*

$K_1 = \frac{0{,}632\ \alpha . K_в}{\eta_э}$; $K_3 = \frac{v . a_0 (z + t_0)}{87{,}6\ g}$; $K_1' = \frac{0{,}632\ \alpha' K_в'}{\eta_э'}$; $K_3' = \frac{v . a_0' (z + t_0)}{87{,}6 . g}$

поэтому обычно ΔK_1 *и* ΔK_3 *имѣютъ разные знаки.*

$K_0' - K_0 > 0$ *при* $K_3 \left(K_0'/K_3 - 1 \right) > K_1 \left(1 - K_1'/K_1 \right)$ + *дешевая установка.*

$K_0' - K_0 < 0$ *при* $K_3 \left(K_3'/K_3 - 1 \right) < K_1 \left(1 - K_1'/K_1 \right)$ + *экономическая установка.*

Условіе выгодности дешевой установки:

$$\frac{v a_0 (z + t_0)}{55\ \alpha K_в} \frac{\eta_э}{g} \left(\frac{v a_0'}{v a_0} - 1 \right) > \left(1 - \frac{\alpha' K_в' \eta_э}{\alpha . K_в \eta_э'} \right)$$

$$g < \frac{(v' a_0' - v a_0)(z + t_0)}{55 \left(\frac{\alpha . K_в}{\eta_э} - \frac{\alpha' K_в'}{\eta_э'} \right)} \quad \ldots\ldots (45)$$

въ зависимости отъ коэффиціента эксплоатаціи.

если $K_в = K_в'$, *то:*

$$g < \frac{(v' a_0' - v a_0)(z + t_0)}{55 \left(\alpha/\eta_э - \alpha'/\eta_э' \right)} \quad \ldots\ldots (45\ bis)$$

при неудовлетвореніи условій (45) и (45 bis) выгодны - экономическая установка.

Условіе выгодности дешевой установки:

$$\frac{K_в}{K_в'} < \frac{(v' a_0' - v a_0)(z + t_0)}{55\ g . K_в' . \frac{\alpha}{\eta_э}} + \frac{\alpha'}{\eta_э'} \frac{\eta_э}{\alpha} \quad \ldots\ldots (46)$$

въ зависимости отъ относительной дешевизны топлива.

128

Тепловыя силовыя станціи

LIX

Устройство тепловыхъ станцій

Общая схема задачи.

I. Задание и разработка технических и экономических условій.

1) условія отдачи работы и типа.

2) условія полученія топлива - топливо.

3) прочія технические и экономические условія въ зависимости отъ производства и мѣстныхъ условій.

II Выборъ типа и мѣста станціи - задача сподчиненная слѣдующимъ.

1) способы передачи механической энергіи.

2) способы передачи тепловой энергіи

3) родъ и размѣры двигателей.

4) мѣстныя условія - доставка воды и топлива, удаленіе отбросовъ, стоимость земли, родъ грунта, мѣсто для расширенія и т.д

III Выборъ оборудованія станціи - задача сподчиненная предыдущей и отчасти слѣдующей.

1) предметы выбора: двигатели, генераторы, вспомогательныя устройства, устройства для использованія типа, устройства для передачи энергіи.

2) предварительный выборъ: - въ послѣдовательности: родъ двигателей, размѣры и число - тоже для генераторовъ - въ зависимости отъ этого вспомогательнаго устройства цѣльное или смѣшанное оборудованіе.

3) ограниченіе комбинацій условіями большей экономичности, надежности и приспособленности; исключеніе негодныхъ или сомнительныхъ изъ разработки.

4) разработка наиболѣе подходящихъ варіантовъ: - запросы смѣты, эксплоатаціонные планы, предварительные проекты установокъ и т.д.; учетъ измѣненія цѣнъ топлива и капитала.

IV Выборъ расположенія станціи и оборудованія - задача сподчиненная предыдущимъ

1. предметы выбора:
   а) число единицъ - одноединичныя, многоединичныя станціи - связь съ (2-4) III.
   б) относительное расположеніе частей - генераторовъ, двигателей и вспомогательныхъ устройствъ.
   в) расширяемость - законченная, свободная къ развитію комбинація.
   г) устройства доставки топлива и воды - ихъ расположеніе.
   д) устройство отвода энергіи - механической, электрической, тепловой - ихъ расположеніе.

2) ограниченіе комбинацій:
   а) условія экономичности, надежности и приспособленности комбинаціи;
   б) мѣстныя условія - геометрическаго характера.
   в) технические свойства главныхъ элементовъ установокъ.
   г) слѣдованіе выработаннымъ шаблонамъ - наиболѣе частое и легкое - тормазъ прогресса.

3) разработка наиболѣе подходящихъ варіантовъ:
   а) только расположенія при законченномъ выборѣ оборудованія - главныхъ элементовъ и вспомогательныхъ устройствъ, простоты и дешевизны зданій.
   б) расположенія оборудованія и зданій - при сложныхъ вспомогательныхъ устройствахъ и дорогихъ зданіяхъ въ многоединичныхъ установкахъ.
   анализъ варіантовъ и выборъ наивыгоднѣйшаго.

V Разработка проектовъ и смѣтъ.

VI Выполненіе станціи.

1) заказъ главныхъ элементовъ оборудованія

2) заказъ или выполненіе вспомогательныхъ устройствъ.

3) строительныя работы - основанія, зданія, фундаменты оборудованія, каналы и пр.

4) монтажъ оборудованія.

VII Пускъ въ ходъ, наладка эксплоатаціи, отчетъ.

Устройство тепловыхъ станцій.

Техническій контроль эксплоатаціи - базисъ для экономическаго учета.

1). Парадныя испытанія - характеристика установки самой по себѣ; (пріемочныя испытанія).

2). Рабочія испытанія въ типичныхъ условіяхъ производства - характеристика экономичности установки и условій работы всѣхъ частей въ дѣйствительной нормальной обстановкѣ производства.

3). Періодическій контроль частей рабочаго процесса наиболѣе чувствительныхъ къ разстройствамъ и важныхъ для экономичности; иногда автоматическій или полуавтоматическій контроль.

4). Спеціальныя провѣрки рабочаго процесса полными или частичными испытаніями въ случаѣ обнаруженныхъ учетомъ ненормальностей.

5). Періодическія измѣренія или непрерывная регистрація нагрузки установки; автоматичность въ электрическихъ станціяхъ.

6). Постоянный учетъ расхода топлива, раздѣленный по днямъ, роду топлива и предмету расхода съ немедленной регистраціей.

7). Періодическое опредѣленіе качествъ топлива - Контроль при пріемкѣ партій, анализы, калориметрированіе.

8). Регистрація расхода носителя тепла - въ тепловой нагрѣвательной установкѣ - парометры, учетъ конденсата и т. д.

9). Періодическій контроль состоянія рабочихъ органовъ установки, подвергающихся изнашиванію и вліяющихъ на безопасность работы.

10). Спеціальныя провѣрки состоянія рабочихъ органовъ установки въ случаяхъ обнаруженныхъ общихъ ненормальностей работы.

11). Постоянный контроль наиболѣе отвѣтственныхъ частей установки въ случаяхъ перегруженности или ненадежности работы.

12). Регистрація всѣхъ поврежденій и простоевъ установки съ указаніемъ установленныхъ причинъ, характера и продолжительности.

13). Регистрація всѣхъ ремонтовъ и измѣненій установки.

14). Регистрація работы персонала - журналъ или табель.

Тепловыя силовыя станціи

LXIII

Устройство тепловыхъ станцій.

Экономическій учетъ эксплоатаціи.

А. Пункты учета:

1/ расходъ на топливо – иногда затрудненія въ выдѣленіи расхода на силовую установку изъ общаго, если не ведется соотвѣтственнаго техническаго учета.

2/ расходъ на смазку – – требуетъ учета смазки.

3/ расходъ на персоналъ – – иногда расходъ на технический персоналъ общій для производства трудно правильно выдѣлить на силовую установку – условность

4/ расходъ на ремонтъ: – – иногда трудно выдѣлить изъ общихъ расходовъ на все производство.

Б. Способы учета.

1/ Учетъ годичнаго расхода на эксплоатацію имѣетъ большое коммерческаго значенія для всего производства чѣмъ для установки. На основаніи пунктовъ 1-4 учета и расчета капитализаціонныхъ расходовъ.

2/ Учетъ расхода на единицу выработаннаго товара – весьма употребительно и коммерчески важно для учета производства; для оцѣнки работы установки имѣетъ ограниченное значеніе въ зависимости отъ неодинаковости расхода механической и тепловой энергіи на единицу товара при измѣненіи его качества или способовъ производства. На основаніи пунктовъ 1-4 учета и учета выработки годичной; употребитель учетъ расхода топлива на единицу выработки за краткіе періоды: дня, недѣли, мѣсяца и т.п.

3/ Учетъ расхода на единицу отданной энергіи – для установки самое важное и цѣнное; цѣлесообразно и для производства; выполняется далеко не всегда кромѣ электрическихъ станцій, гдѣ по существу относится къ способу $\frac{2}{1}$.

На основаніи учета нагрузки, учета расхода топлива, учета расхода пара въ нагрѣвательной установкѣ.

Тепловыя силовыя станціи

LX

131

Устройство тепловыхъ станцій

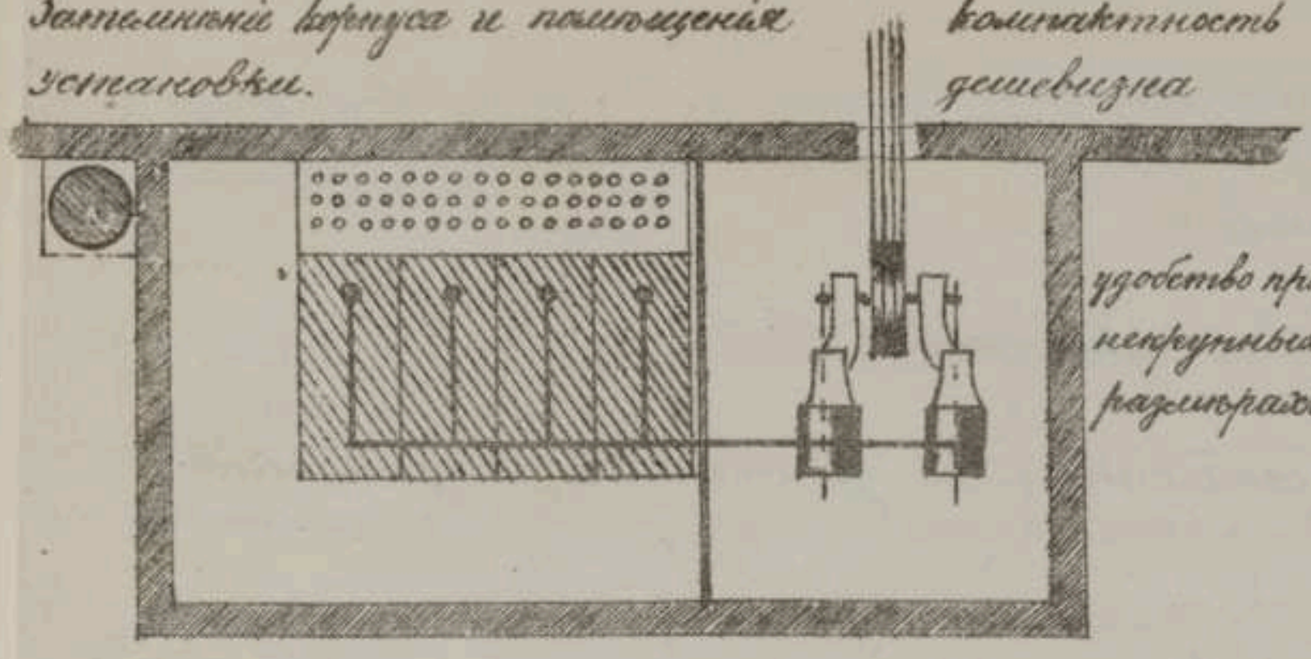
Схемы расположенія небольшихъ фабричныхъ станцій

I Продольная пристройка

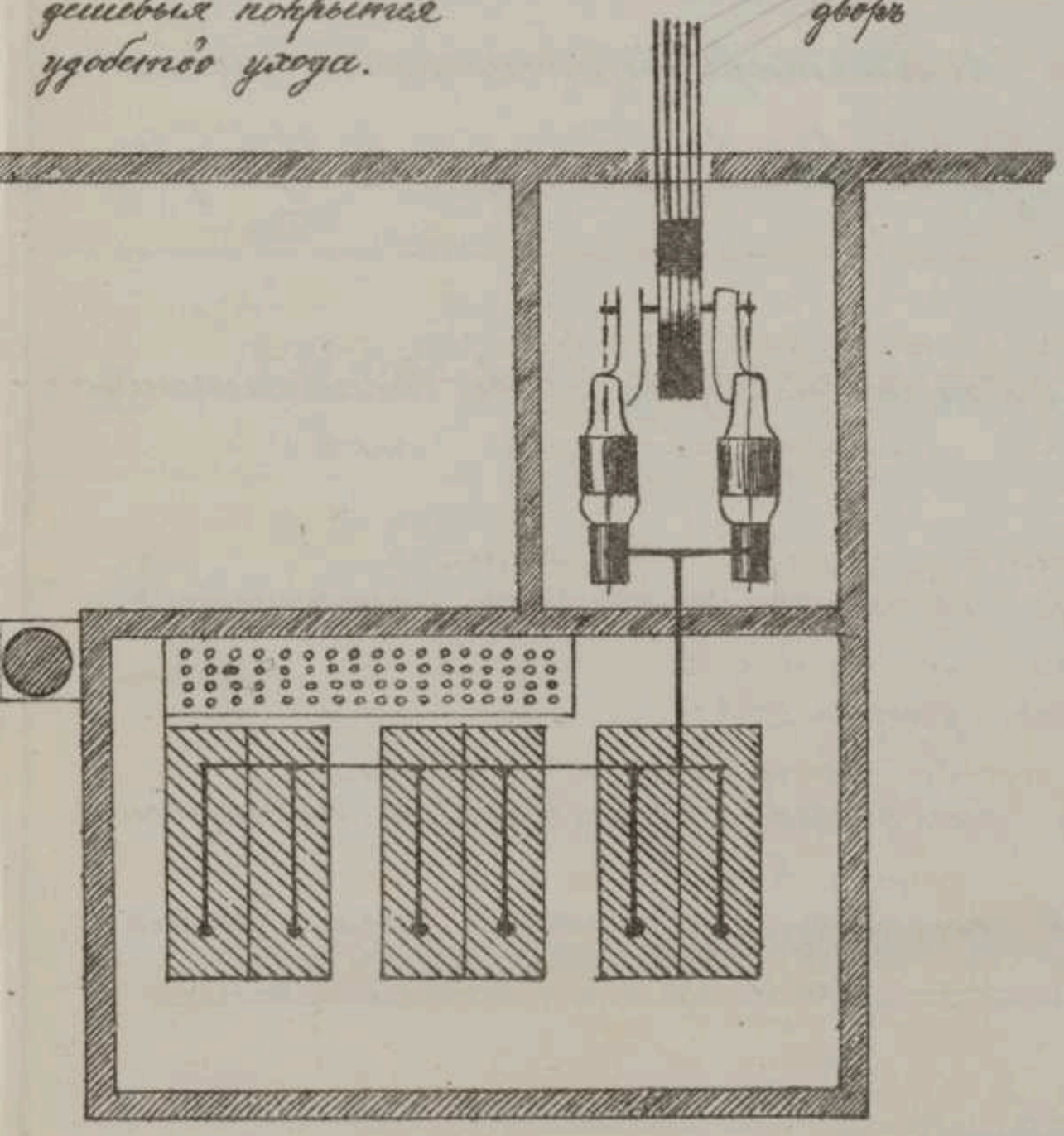
Запаленіе корпуса и помещенія установки.

компактность дешевизна

удобство при некрупныхъ размерахъ.



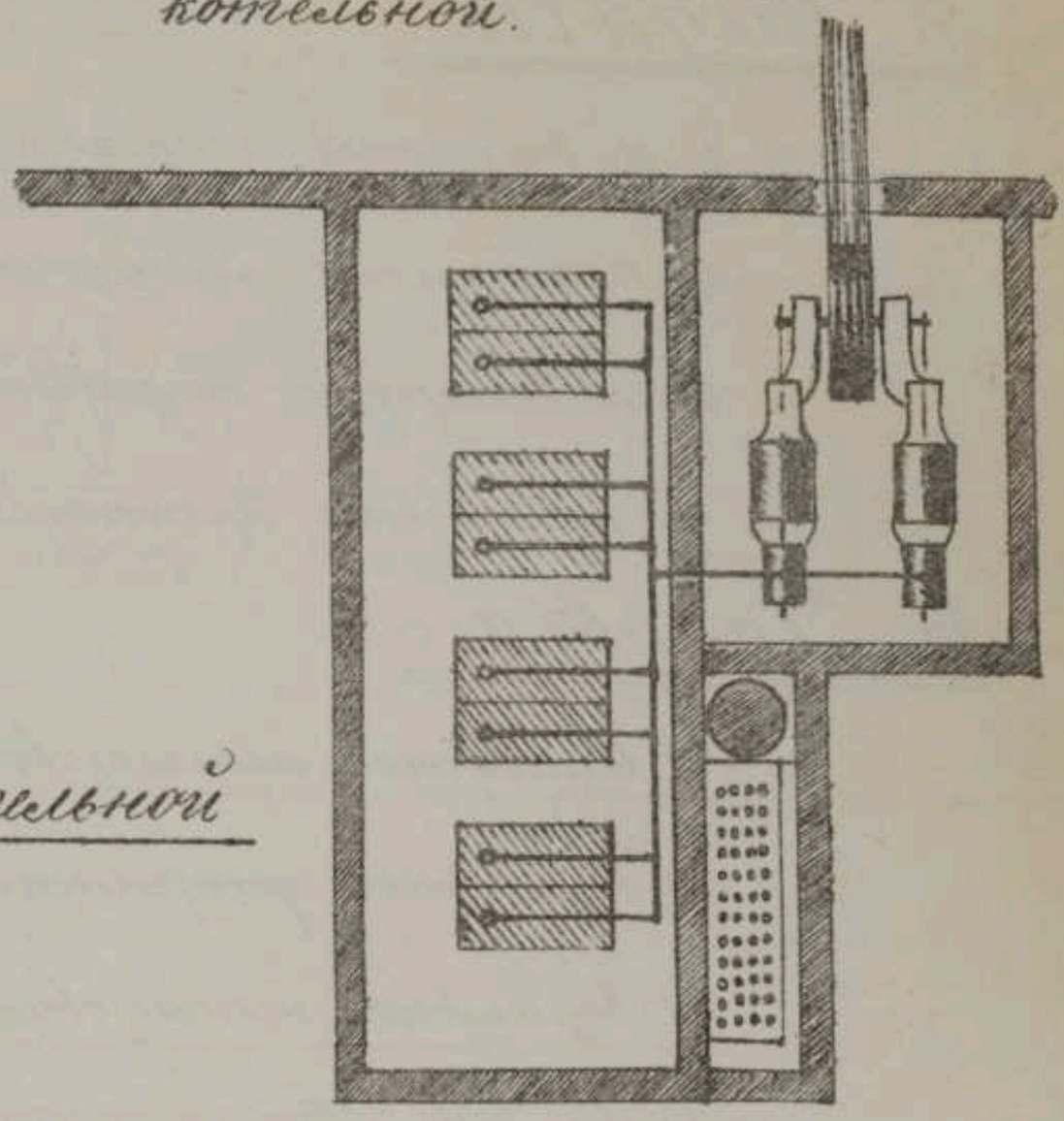
II Пристройка съ отходящей котельной



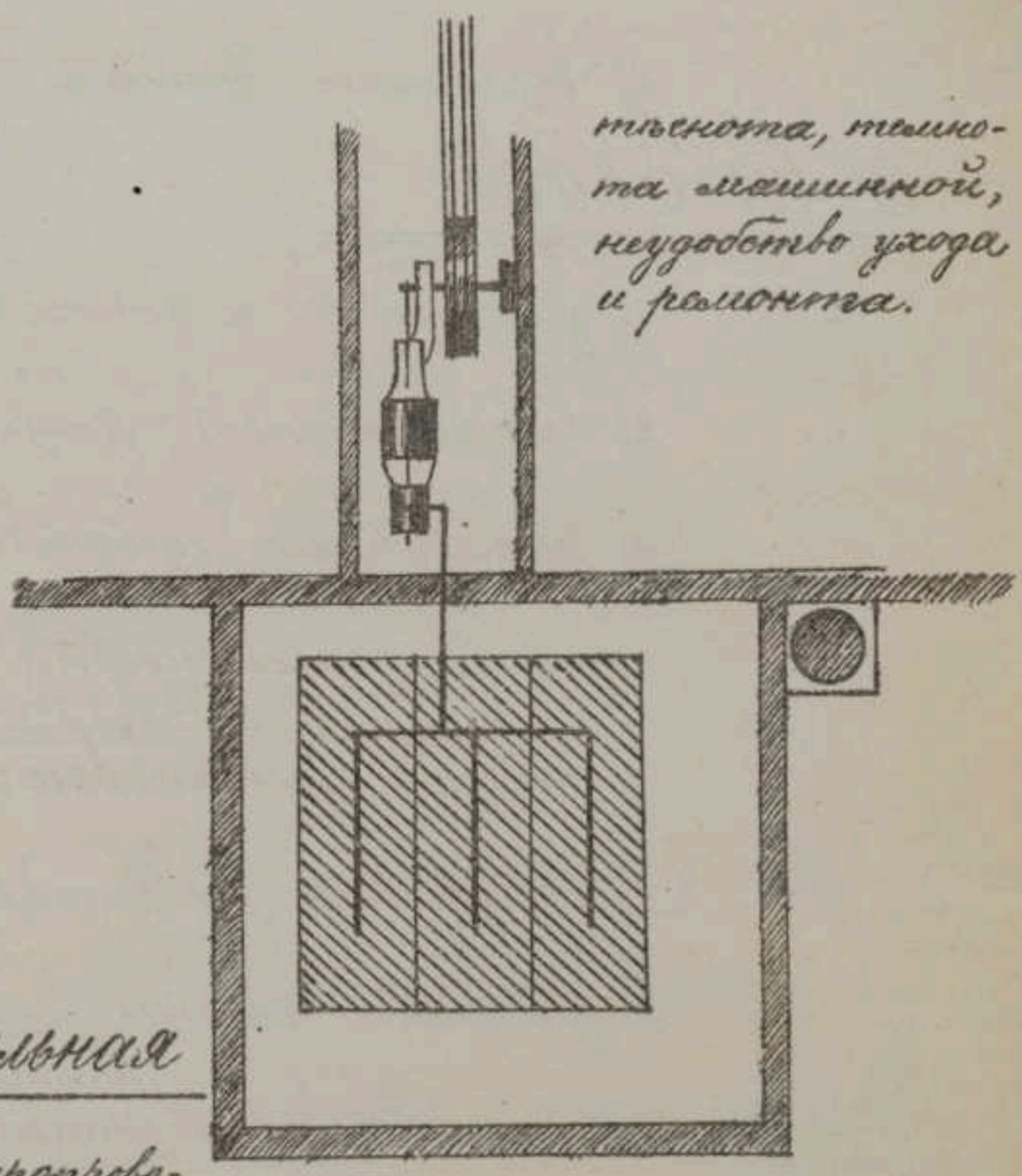
свѣтлыя помѣщенія
дешевыя покрытія
удобство ухода.

отъединеніе двора

III Угловое расположеніе котельной.

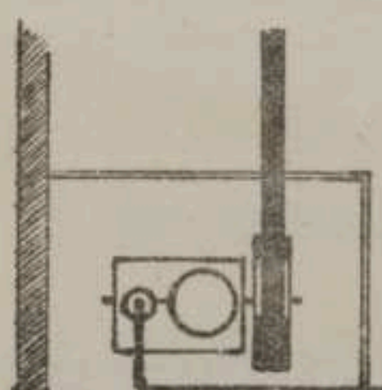


IV Машинная въ корпусѣ

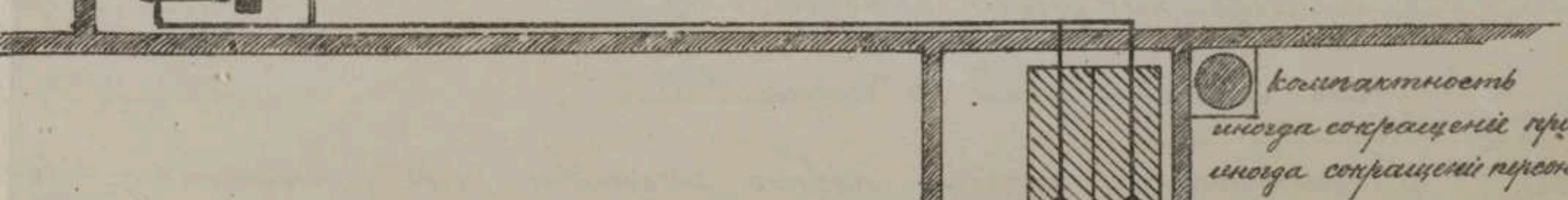


тѣснота, темнота машинной, неудобство ухода и ремонта.

V Отдѣленная котельная



неудобство конденсаціи, паропроводовъ. Необходимость огражденія.



компактность
иногда сокращеній приводовъ
иногда сокращеній персонала.

Расположеніе двигателя въ корпусѣ

больше удобно при двигателяхъ готовая топлива.

LXI

Тепловыя силовыя станціи

Устройство тепловыхъ станцій.

Переустройство станціи

А. Задачи:

1). повышеніе экономичности;

2). повышеніе мощности;

3) повышеніе надежности дѣйствія;

4). повышеніе приспособленности къ условіямъ назначенія.

Б. Условія:

1). возможное использованіе наличнаго оборудованія;

2) возможное устраненіе нарушенія хода производства;

3) возможное использованіе наличныхъ помѣщеній и мѣста;

4) возможный учетъ новыхъ конъюнктуръ относительно топлива, прогресса тепловыхъ двигателей, расширенія производства и т. п.;

5). возможное внесеніе цѣлесообразности и порядка въ эксплоатацію.

В. Способы:

1). улучшеніе и дополненіе вспомогательныхъ устройствъ;

2). капитальный ремонтъ установки;

3). расширеніе предѣловъ рабочаго процесса и повышеніе его интенсивности съ соотвѣтственными измѣненіями частей установки;

4). добавленіе новыхъ единицъ;

5). замѣна части основныхъ элементовъ болѣе мощными или болѣе экономическими;

6). переходъ на другой родъ тепловыхъ двигателей;

7). переходъ на другіе способы передачи и использованія энергіи механической и тепловой.

8) пріобрѣтеніе энергіи извнѣ частью или полностью - въ предѣлѣ уничтоженіе собственной тепловой станціи.

Тепловыя силовыя станціи.

(LVI)

Коммерческая экономичность

Полныя выраженія стоимости силы.

$K_0 = K_1 + K_2 + K_3$ ..... (40) K_1 изъ уравн. 10 (XLI); K_2 изъ ур. 28 (XLIX); K_3 изъ ур. 39 (LI).

$$K_0 = \frac{a\, q_e\, k_s}{1000} + \frac{1}{f}\left[5.6 + \left(0{,}0008\, k_w\, W_0^2 + k_0' w\right) f + p + \frac{a_0 z_0 + a_3 z_3}{87{,}6\, e}\right] + \frac{a_0(z+t_0) + a_3(z+t_3)}{87{,}6\, g} \quad \text{..... (40 bis)}$$

- слишкомъ громоздко раскрытіемъ члена K_2; иначе:

$$K_0 = \frac{a\, q_e\, k_s}{1000} + K_2 + \frac{a_0(z+t_0) + a_3(z+t_3)}{87{,}6\, g} \quad \text{..... (41)}$$

$$K_0 = \frac{0{,}632\, a.k_s}{\eta_3} + K_2 + \frac{a_0(z+t_0) + a_3(z+t_3)}{87{,}6\, g} \quad \text{..... (41 bis)}$$

съ раскрытіемъ члена K_2 и введеніемъ зависимости отъ f и g:

$$K_0 = \frac{a\, q_e\, k_s}{1000} + K_{2w} + \frac{5.6 + p}{f} + \frac{v\, a_0(z+t_0+z_0)}{87{,}6\, g} \quad \text{..... (42)}$$

$$K_0 = \frac{0{,}632\, a.k_s}{\eta_3} + K_{2w} + \frac{5.6 + p}{f} + \frac{v.a_0(z+t_0+z_0)}{87{,}6\, g} \quad \text{..... (42 bis)}$$

$v = 1 + \dfrac{a_3(z+t_3+z_3)}{a_0(z+t_0+z_0)}$ ..... (43) относительный добавокъ на эксплоатаціонную стоимость помѣщенія; обычно v отъ 1,1 до 1,4.

Важнѣйшіе факторы стоимости силы.

1) тепловая стоимость топлива k_s - въ K_1 - явно прямо пропорціон.

2) рабочая экономичность двигателя $\frac{\eta_3}{a}$ въ K_1 - явно обр. пропорціон.

въ K_3 - чрезъ A_0 - скрыто прямая зависимость.

3) единичная стоимость установки vA_0 - въ K_3 - явно - прямая пропорціональность.

4) норма капитализаціи - $(z+t_0)$ - въ K_3 - явно прямая пропорціональность.

5) коэффиціентъ эксплоатаціи - g въ K_3 - явно обратная зависимость или обратная пропорціональность.

въ K_1 чрезъ a - скрыто - слабая обратная зависимость.

Тепловыя силовыя станціи

LVIII

Коммерческая экономичность.

Анализъ выраженія стоимости сооруженія:

$$K_o = \frac{0{,}632\,\alpha\,K_6}{\eta_э} + K_{2w} + \frac{S.6 + P}{f} + \frac{v.a_o\,(z + t_o + \tau_o)}{87{,}6\,g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (42\ bis)$$

Удешевляющіе силу факторы: $\frac{\eta_э}{\alpha}$ и g.

Удорожающіе силу факторы: K_6, va_o и $(z + t_o)$

Взаимно компенсирующіеся факторы.

$\frac{\eta_э}{\alpha}$ и $K_в$ ..... повышеніе цѣны топлива компенсируется возрастаніемъ экономичности двигателя и наоборотъ.

$\frac{\eta_э}{\alpha}$ и va_o ..... повышеніе единичной стоимости установки компенсируется возрастаніемъ экономичности двигателя и наоборотъ.

$\frac{\eta_э}{\alpha}$ и $(z + t_o)$ ..... повышеніе нормы капитализаціи компенсируется возрастаніемъ экономичности двигателя и наоборотъ.

g и $K_в$ ..... повышеніе цѣны топлива компенсируется возрастаніемъ коэффиціента эксплоатаціи и наоборотъ.

g и va_o ..... повышеніе единичной стоимости установки компенсируется возрастаніемъ коэффиціента эксплоатаціи и наоборотъ.

g и $(z + t_o)$ ..... повышеніе нормы капитализаціи компенсируется возрастаніемъ коэффиціента эксплоатаціи и наоборотъ.

МОСКОВСКОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХН. УЧИЛИЩЕ БИБЛИОТЕКА

Одинаково направленные факторы.

$K_в$ и va_o ..... высокія цѣны топлива относительно менѣе чувствительны при высокой единичной стоимости установки и наоборотъ (Россія!)

$K_в$ и $(z + t_o)$ ..... высокія цѣны топлива относительно менѣе чувствительны при высокой нормѣ капитализаціи и наоборотъ (Россія!)

va_o и $(z + t_o)$ ..... высокая единичная стоимость установки относительно болѣе чувствительна при высокой нормѣ капитализаціи и наоборотъ.

$\frac{\eta_э}{\alpha}$ и g ..... низкій коэффиціентъ эксплоатаціи относительно болѣе чувствителенъ при высокой экономичности двигателя и наоборотъ.