

В. Л. МАЛЪЕВЪ,
инженеръ-механикъ, профессоръ и завѣдующій Лабораторіей Тепловыхъ Машинъ
Томскаго Технологическаго Института ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

ИСПЫТАНІЕ ПАРОВЫХЪ ТУРБИНЪ.

ПРИБОРЫ, ПРИСПОСОБЛЕНІЯ И ПРИЕМЫ, ПРИМѢНЯЕМЫЕ
ПРИ ИСПЫТАНІИ И ПОСТОЯННОМЪ НАБЛЮДЕНІИ
ЗА РАБОТОЙ ПАРОВЫХЪ ТУРБИНЪ.

Съ 385 чертежами въ текстѣ.



ТОМСКЪ.

Типо-лит. Сибирскаго Т-ва Печатнаго Дѣла, уг. Дворянской ул. и Ямскаго пер., соб. д
1914.

Печатано по распоряженію Директора Томскаго Технологическаго Института
ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

Всѣ права, въ частности перевода на другіе языки, авторъ сохраняетъ за собой.

Предисловіе.

Въ настоящее время, когда паровыя турбины получаютъ все большее и большее распространіе, когда онѣ завоевали себѣ прочное положеніе въ качествѣ машинъ-двигателей крупныхъ силовыхъ и въ особенности электрическихъ станцій и начинаютъ получать широкое распространіе и на морскихъ судахъ, когда случаи испытаній, приѣмочныхъ, контрольных и другихъ, становятся все чаще и чаще, и необходимость испытаній совершенно очевидна, можно и не доказывать потребности въ руководствѣ по испытанію специально паровыхъ турбинъ и скорѣе, наоборотъ, высказать удивленіе, что такого руководства до сихъ поръ не было ни въ русской, ни даже въ иностранной литературѣ.

Авторъ надѣется восполнить этотъ пробѣлъ и постарался изложить наиболѣе важные приѣмы и описать соотв. приборы и приспособленія, отчасти опираясь на собственный многолѣтній опытъ по испытанію машинъ-двигателей вообще и въ частности паровыхъ турбинъ, отчасти пользуясь матеріаломъ, любезно сообщеннымъ ему соотв. фирмами и заводами, а также, конечно, использовавъ сообщенія другихъ лицъ, разбросанныя по технической литературѣ, хотя далеко не въ столь значительномъ числѣ, какъ вообще свѣдѣнія о производимыхъ испытаніяхъ паровыхъ турбинъ. Нужно замѣтить, что большинство сообщеній о многочисленныхъ испытаніяхъ, попадающихъ въ литературу, къ сожалѣнію, ограничиваются чаще всего краткой сводкой полученныхъ цифръ, рѣже даютъ болѣе подробную картину работы турбины и еще рѣже сообщаютъ о специальныхъ приспособленіяхъ, примѣненныхъ при испытаніи.

Что касается рамокъ изложенія, то несмотря на то, что работа паровой турбины находится въ самой тѣсной связи съ работой котельной установки, и ихъ испытаніе почти всегда ведется одновременно, авторъ рѣшилъ ограничиться лишь вопросами объ испытаніи самихъ турбинъ. Дѣлаетъ онъ это, съ одной стороны, чтобы не затемнять главнаго вопроса, съ другой, имѣя въ виду, что по испытаніямъ котельныхъ установокъ есть достаточное число руководствъ, частью очень обстоятельныхъ, и, наконецъ, потому, что сами испытанія паровыхъ котловъ сравнительно несложны, и соотв. измѣренія немногочисленны.

При описаніи болѣе сложныхъ приборовъ авторъ приводитъ сперва или схематическій чертежъ прибора или вкратцѣ сообщаетъ принципъ его дѣйствія, такъ сказать, его теоретическое обоснованіе, такъ какъ правильно пользоваться приборомъ можно, только представляя себѣ ясно идею его устройства, и только при этомъ условіи возможенъ правильный выборъ прибора, наиболѣе подходящаго для предстоящей задачи.

Кромѣ случаевъ собственно испытанія турбинъ, предлагаемая книга можетъ служить пособіемъ и для контроля за правильностью дѣйствія турбинъ при повседневной работѣ ихъ на станціяхъ.

Дѣло въ томъ, что вопреки заявленіямъ многихъ турбиностроительныхъ заводовъ, расходъ пара турбинъ съ теченіемъ времени возрастаетъ. Причина увеличенія расхода лежитъ въ неизбѣжномъ изнашиваніи лопатокъ. Хотя въ различныхъ системахъ и въ зависимости отъ различныхъ условій срокъ работы лопатокъ, послѣ котораго наступаетъ замѣтное увеличеніе расхода пара, дѣлающее желательнымъ замѣну лопатокъ новыми, довольно различенъ, но въ среднемъ можно считать для него 25000 часовъ *). Во всякомъ случаѣ каждую, сколько-нибудь крупную турбину слѣдуетъ испытывать на расходъ пара по крайней мѣрѣ разъ въ годъ.

Высказывая надежду, что предлагаемая книга окажется полезной, какъ инженеру-практику, имѣющему дѣло съ турбинами на заводахъ и станціяхъ**), такъ равно и студентамъ-механикамъ при занятіяхъ въ инженерныхъ лабораторіяхъ, авторъ считаетъ ее лишь первой попыткой систематизаціи соотв. свѣдѣній и потому приметъ съ благодарностью всякія указанія на возможные недосмотры, пропуски и неясности.

Заканчивая настоящую работу, авторъ позволяетъ себѣ высказать пожеланіе, чтобы она оказала посильную помощь всѣмъ, кто будетъ пользоваться ею, и поспособствовала скорѣйшему накопленію болѣе подробныхъ и надежныхъ данныхъ о работѣ турбинъ, данныхъ, которыя, въ свою очередь, облегчатъ дальнѣйшее усовершенствованіе паровыхъ турбинъ, одного изъ самыхъ юныхъ, но и самыхъ жизнеспособныхъ и многообѣщающихъ дѣтищъ машиностроенія.

Томскъ, мартъ 1914 г.

В. Малъевъ.

*) См., напр., Glückauf, 1912, Nr. 15, или Z. Dampfk. Masch. 1912, S. 296.

**) Между прочимъ авторъ думаетъ, что настоящая книга можетъ быть полезна и для лицъ, имѣющихъ дѣло съ поршневыми паровыми машинами, такъ какъ многіе приборы и методы испытанія у обоихъ родовъ машинъ одинаковы.

Оглавленіе.

Предисловіе	Стр. I.
Оглавленіе	III
Замѣченныя опечатки	XI
Принятые сокращенія и обозначенія	X

ГЛАВА I.

Измѣреніе скорости.

1. Счетчики оборотовъ	1
Включеніе счетчиковъ и приведеніе ихъ въ дѣйствіе	3
2. Тахометры. Общія указанія	5
3. Тахометры постоянные	6
Тахометры съ грузами	6
Тахометры съ жидкостями	9
Магнитно-электрическіе тахометры	12
Электрическіе тахометры	13
Резонансъ-тахометры	13
Заключеніе. Сравненіе различныхъ системъ	16
Тахометръ, основанный на треніи воздуха	297
4. Обращеніе съ тахометрами	18
Приведеніе въ дѣйствіе постоянныхъ тахометровъ	18
Провѣрка тахометровъ	18
5. Ручные тахометры	19
Тахометры съ маятниками	19
Особое присоединеніе (электро-магнитное)	22
Другіе ручные тахометры	22
6. Тахографы	23
Тахометры съ записью	24
Тахографъ Горна	25
Провѣрка тахографа Горна	28
Указанія для пользованія	28
Прочность прибора	29
Образцы тахограммъ	29
Тахограмма дѣйствія предохранительнаго регулятора	297

ГЛАВА II.

Измѣреніе работы.

	Стр.
7. Работа турбинъ и ея измѣреніе	34
8. Измѣреніе и поглощеніе электрической энергіи	35
Нагрузочныя сопротивленія	37
Металлическія сопротивленія	38
Водяныя сопротивленія	39
Опредѣленіе размѣровъ электродовъ	40
Водяное сопротивленіе для малой нагрузки	300
9. Тормоза съ колодками	43
Тормоза простые. Расчетъ ихъ	43
Ленточный тормозъ для малой мощности	46
Тормозъ Ольдена	300
10. Водяные тормоза	47
Тормозъ Штумпфа	47 и 301
Тормозъ Ливиттъ	51
Тормозъ Эйермана	52
Тормозъ Фроуда	54
Тормоза Рато	56
Тормозъ Феттингера	301
Тормозъ Вестингауза	60
11. Индикаторы крученія. Общія указанія	62
12. Механическіе индикаторы	64
Индикаторъ Колли	64
Индикаторъ Феттингера	65 и 303
Индикаторъ Денни-Эджкомба	69
13. Оптическіе индикаторы	71
Индикаторъ Бевисъ-Джибсона (осевой)	71
Индикаторъ Бевисъ-Джибсона (радіальный)	73
Индикаторы Амслеръ-Лаффона	74
Индикаторъ Гопкинсонъ-Срингъ	76
Индикаторъ Фрама	79
Индикаторъ Сайехиро	80
14. Электрическіе индикаторы	82
Индикаторъ Денни-Джонсона	82
Индикаторъ Рамбаля	84
Индикаторъ Фридриха Люксъ	86
Индикаторъ Джонсона	89
15. Калибровка и провѣрка индикаторовъ крученія	93
Приспособленіе Феттингера	93
Приспособленіе Джибсона	94
Вывѣрка 0 шкалы	95
Общая провѣрка индикаторовъ крученія	96
16. Самозаписывающій показатель нагрузки	96

ГЛАВА III.

Измѣреніе температуръ.

	Стр.
17. Ртутные термометры. Типы термометровъ	98
Обращеніе съ термометрами	100
Разрывъ ртутнаго столбика	101
Поправки. Выступающій столбикъ ртути	102
Вліяніе давленія	103
Перемѣщеніе 0° шкалы. Проверка 0° и 100°	104
18. Термоэлементы. Общія указанія.	105
Выборъ термонаръ	106
Способы измѣренія	107
Поправки на сопротивленіе цѣпи	108
Вліяніе холодныхъ спаевъ	109
Вліяніе температуры помѣщенія	110
19. Конструкція и принадлежности термоэлементовъ	110
Соединеніе концовъ. Оправа и изоляція термоэлементовъ	111
Послѣдовательное соединеніе нѣсколькихъ элементовъ	113
Холодные спаи	113
Компенсаторъ Бристоля. Компенсаціонное приспособленіе Шварца	114
Милливольтметры	115
Самозаписывающій приборъ	118
Включатели и переключатели	118
20. Термометры-сопротивленія. Общія указанія	119
Способы измѣренія	120
Источники ошибокъ и ихъ устраненіе	122
21. Конструкціи термометровъ-сопротивленій	124
Приборъ Шульца для способа 2	124
Приборы Брауна для способа 3	124
Приборы Гартманнъ и Браунъ	125
Приборы Герэусъ изъ кварцеваго стекла	126
Приборъ Кембриджской К-и для способа 4	127
Наборъ Уипшля	127
22. Измѣреніе температуръ у турбинъ	128
Температуры пара	128
Вліяніе скорости пара	130
Температуры воды.	132

ГЛАВА IV.

Измѣреніе давленій.

23. Манометры пружинные	133
Манометръ Дюкомэ (Шеффера)	134
Манометръ Шинца (Бурдона)	135
Контрольные манометры	136

Самозаписывающіе манометры	138
Присоединеніе манометровъ	139
24. Ртутные манометры	141
Дифференціальный манометръ	143
Самозаписывающій ртутный манометръ	143
25. Вакууметры	144
Металлическіе вакууметры	144
Баро-вакууметры	146
Ртутные вакууметры	147
Присоединеніе вакууметровъ	150
26. Повѣрка манометровъ и вакууметровъ	150
Повѣрка сличеніемъ	151
Повѣрка водянымъ давленіемъ. Повѣрка давленіемъ пара	152
Повѣрка нагрузкой	154
Повѣрка вакууметровъ	155
27. Индикаторы	156
Индикаторъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроонъ	156
Индикаторъ Майхака	158
Индикаторъ Вагенера	159
Приборъ Мато	160
28. Измѣреніе давленій у турбинъ. Мѣста измѣреній	161
Кранъ для переключенія манометра	162
Кранъ для переключенія индикатора	163
Присоединеніе манометровъ	164
Запись давленія. Образцы діаграммъ	165
29. Барометры	167
Требованія, предъявляемыя къ барометрамъ	167
Барометръ-гипсометръ	168

ГЛАВА V.

Опредѣленіе влажности пара.

30. Общія указанія	168
Калориметры-холодильники	169
Другіе приборы: съ нагреваніемъ, мятіемъ и выдѣленіемъ воды	170
Взятіе пробы пара	170
Взятіе пробы пара низкаго давленія	304
31. Дроссель-калориметры	172
Калориметръ Карпентера	172
Калориметръ Баруса	173
Калориметръ Стоттъ и Пиготтъ для пара низкаго давленія	304
Калориметръ Зендтнера	174
32. Калориметръ-водоотдѣлитель	175
Поправки при работѣ	176

ГЛАВА VI.

Измѣреніе расхода пара и воды.

	Стр.
33. Паромѣры. Принципъ дѣйствія	177
Паромѣръ завода Бейеръ и К-ія	179
Паромѣръ завода Ренанія	180
Паромѣръ Гэре	181
Паромѣръ Экардта	184
Общія указанія	185
Измѣреніе пара тонкими діафрагмами	305
34. Водомѣры	187
Скоростные водомѣры: водомѣръ съ вертушкой Вольтмана	188
Водомѣръ Сименсъ и Гальске	189
Водомѣръ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроонъ	190
Приборъ Людвигъ Грефе	191
Водомѣръ Вентури	306
Приборъ Кюттерса „Рота“-измѣритель	192
Поршневые водомѣры: водомѣръ Кеннеди	192
Водомѣръ Шмида	192
Дисковый водомѣръ Томсона	192
Открытые водомѣры: приборы съ неподвижными баками:	
Водомѣръ Рейхлинга	195
Водомѣръ Шильде	196
Водомѣръ Торентъ	196
Водомѣръ Экардта	197
Приборы съ качающимися баками:	
Водомѣръ Экардта	198
Водомѣръ Лейнерта. Водомѣръ Штейнмюллера	198
Водомѣръ братьевъ Сименсъ	201
Общія замѣчанія объ открытыхъ водомѣрахъ	202
Проверка водомѣровъ	202
35. Другіе способы измѣренія воды	202
Вѣсовые приборы	203
Объемные способы	204
Данайды	207
Градуированіе сопелъ. Измѣреніе расхода при переменномъ h	209
Учетъ измѣненія температуры воды	211
Водомѣръ-данаида Зульцеръ	212
Данаида для измѣренія конденсата на миноносцѣ	307
Выборъ соотв. способа	213
36. Измѣреніе расхода пара и воды у турбинъ	213
Расходъ рабочаго пара. Опредѣлен. количества питательной воды	213
Расходъ пара по объему, поступающему въ турбину	215
Утечки сквозь неплотности въ паровомъ котлѣ	309

	Стр.
Измѣреніе количества конденсата	216
Провѣрка плотности поверхностнаго холодильника	217
Расходъ пара по тепловому балансу холодильника	310
Измѣреніе расхода охлаждающей воды	218

ГЛАВА VII.

Смазка.

37. Изслѣдованіе основныхъ свойствъ	218
Требованія, предъявляемыя къ турбиннымъ масламъ	218
Выборъ сорта масла на практикѣ. Удельный вѣсъ	219
Содержаніе кислотъ	220
Отсутствіе смолистыхъ примѣсей, Содержаніе золы	221
Температура вспышки	222
Вязкость масла. Вискозиметръ Энглера	226
38. Опредѣленіе коэффициента тренія масла. Приборъ Вилькенса	227
Приборъ Деттмара	229
39. Наблюденія за смазкой. Давленіе	232
Температура. Расходъ смазки	233
Побочныя измѣренія	233

ГЛАВА VIII.

Особыя измѣренія у турбинъ.

40. Измѣреніе потерь пара	234
Измѣреніе утечки запорнаго пара	235
Утечка пара въ турбинѣ Эйермана	238
Утечка пара черезъ разгрузочныя поршни Парсонса	239
41. Измѣреніе потери тепла лучеиспусканіемъ. Постановка опыта	242
Относительная величина потери	244
42. Измѣреніе механическихъ потерь	245
Опыты съ замедленнымъ вращеніемъ	246
Разбивка момента сопротивленія на составныя части	247
Механическая отдача турбины	250
Опыты съ вращеніемъ турбины отъ динамо	251
43. Дополнительные замѣчанія. Построеніе кривой n	251
Построеніе дифференціальной кривой $\frac{dn}{dt}$	252
Зеркальная линейка	253
Зеркальный дериваторъ Вагенера	254
Нахожденіе момента инерціи вращающихся частей турбодинамо	255
Нахожденіе момента инерціи одной турбины	257
44. Мелкія измѣренія. Моментъ тренія покоя	259
Осевое давленіе. Приборъ Този для измѣренія осевого давленія	260
Приборъ для измѣренія осевого давленія на валъ	310
Измѣреніе величины зазоровъ	261

	Стр.
Приспособленіе Кертиса для измѣренія осевого зазора.....	262
Измѣреніе сотрясеній. Сейсмографъ	263
Приборъ бр. Сименсъ и К-и	264
Приборъ академика Б. В. Голицына	265
Приборъ профессора Грунмахъ	266
Измѣдованіе шума. Детекторфонъ. Приборъ Больтэ	268
Упрощенный „стетоскопъ“	269
Приборъ для выясненія колебаній, передаваемыхъ воздухомъ	269
45. Изслѣдованія научно-техническаго характера	269
Движеніе пара по сопламъ	270
Движеніе пара по направляющему прибору	271
Движеніе пара по рабочимъ лопаткамъ	271
Вліяніе бандажей и разстоянія между лопатками	271
Величина вентиляціонныхъ сопротивленій	271
Опыты съ диффузорами	271
Утечка черезъ сальники-лабиринты	272
Испытаніе матеріаловъ и отдѣльныхъ деталей	272
Испытаніе всей турбины	272
Заводскія лабораторіи	273

ГЛАВА IX.

Производство испытаній.

46. Производство отчетовъ. Начало отчетовъ	273
Промежутки между отчетами. Продолжительность испытанія ..	274
Образцы журналовъ	274
47. Обработка опытнаго матеріала. Нахожденіе среднихъ величинъ	279
Точность и ея нахожденіе. Критика и исправленіе записей ..	280
Поправки отъ приборовъ	282
48. Расходъ пара.	282
Приведеніе величинъ D	283
Вліяніе начальнаго давленія пара, температуры перегрѣва ..	283
Вліяніе влажности пара, давленія въ холодильникѣ	284
Сводка вліянія различныхъ условій работы	286
Нахожденіе поправки ΔD опытнымъ путемъ	287
Нормальныя условія	287
Вліяніе нагрузки	288
Учетъ вліянія нагрузки	291
Величина расхода D	291
49. Полученіе общихъ выводовъ. Бычисленіе отдачи.	292
Опредѣленіе отдачи отдѣльныхъ ступеней	293
Вліяніе неполнаго соблюденія установившагося состоянія	293
Графическое изображеніе результатовъ. Примѣры	295
Сводка результатовъ	297
Добавленія (разнесены въ соотв. §§).	297

Приложение 1: правила для испытанія паровыхъ турбинъ	312
Приложение 2: таблица 17—списокъ фирмъ, поставляющихъ различные измѣрительные приборы для испытанія турбинъ	320
таблица 18—списокъ приборовъ, применяемыхъ при испы- таніи турбинъ, ихъ стоимости съ указаніемъ поставщи- ковъ	322
Приложение 3: предметный и именной указатель	326

Замѣченныя опечатки.

Стран.	строка	напечатано:	должно быть:
12	1 сверху	e	е
13	19 "	электрически	эмпирически
19	13 "	вала съ	вала, съ
22	8 "	слушкомъ	слишкомъ
"	13 снизу	творцѣ	торцѣ
24	14 "	отвѣрстіемъ	отверстіемъ
25	7 сверху	бѣжнымъ	бѣжными
29	6 снизу	тый	той
40	19 "	электроводы	электроды
41	4 сверху	листъ	листы
43	9 "	конструкци	конструкціи
"	13 "	друге	другіе
45	19 "	и можно	и, можно
"	20 "	сѣченіе	сѣченіе
49	7 "	ариковыми	шариковыми
"	9 снизу	перпендикулярно- сти оси	перпендикулярно- сти къ оси
51	3 "	Ольдена	Ливиттъ
54	подпись подъ чертежами повернуть на 180° и перевести на наружный край страницы.		
56	11 снизу	по двумъ	по двумъ
"	7 "	луковочные	лировочные
58	5 сверху	„Фуртъ“	„Фуршъ“
60	22 "	кондек-	конден-
64	1 снизу	Eng.	Engng.
66	13 "	поняты	понятны
70	10 "	вколачиваемаго	вколачиваемаго
71	10 "	фонарь съ	фонарь с съ
"	1 "	Engng. 1908, p. 197;	Engng 1908, LXXXV, p., 197;
"	6 сверху	контрактовъ	контактовъ
75	7 "	работа дисковъ	работа тренія о воздухъ дисковъ
76			
80	9 снизу	къ ваку	къ валу
86	9 "	прикладки	приладки
89	5 сверху	r^2	r_2
105	13 снизу	излишнее	излишно
128	18 "	измѣренія, ничѣмъ	измѣренія ничѣмъ

Стран.	строка	напечатано:	должно быть:
135	7 снизу	эллипсъ.	эллипсъ <i>f</i> , черт. 187.
136	8 „	опрѣленную	опредѣленную
140	—	клише черт. 202 повернуть на 180°.	
142	7 снизу	ся манометръ	ся въ манометръ
144	18 „	210	211
„	16 „	211	210
146	7 „	въ соотв.	съ соотв.
147	14 сверху	сообщеніи съ	сообщеніи обоихъ колѣвъ съ
148	15 снизу	понима-	понижа-
150	25 „	нелосипеднымъ	велосипеднымъ
„	20 „	давленій.	давленія.
155	6 сверху	уничтожаетъ	уменьшаетъ
156	15 снизу	необходимыя	необходимыя
166	—	Черт. 482.	Черт. 248.
168	12 сверху	опрѣляютъ	опредѣляютъ
174	3 снизу	желѣза-константана	желѣза-константана
176	14 сверху	отклоненія барометръ	отклоненія барометра
179	14 „	черт. 258.	черт. 258
184	6 „	висящемъ	висящимъ
186	10 снизу	регулируемыхъ	регулируемыхъ
197	12 сверху	перескакивающимъ	перескакивающимъ
198	клише	черт. 292 и 293 перемѣнить мѣстами.	
203	6 сверху	ванныя	ванные
„	7 „	женныя	женные
207	7 снизу	черт. 310,	черт. 309,
215	2 „	Wasseidampf.	Wasserdampf.
217	3 „	$\pm 1,7\%$	$\pm 0,7\%$
219	3 „	трубкой <i>d</i>	трубкой <i>b</i>
220	11 „	дистиллированную	дистиллированную
225	15 „	даметрѣ;	діаметръ;
„	10 „	въ нея	въ нее
230	1 сверху	секлѣ	стеклѣ
230	1 снизу	3 гкр./см. ²	3 кгр./см. ²
238	13 „	$p_2 = B - h_2/737,4,$	$p_2 = (B - h_2)/737,4,$
265	9 „	массира <i>a</i>	пружины <i>b</i>
271	18 „	Парсона	Парсонса
272	17 „	Парсонсъ	Парсонса
282	1 „	$D_c = 0,736\eta \cdot D_k;$	$D_c = 0,736\eta \cdot D_k;$
288	на черт. 355	перемѣнить обозначенія D_1, D_2 и D_3 вмѣсто G_1, G и G_3 , и наоборотъ.	D_1, D_2 и D_3 вмѣсто G_1, G
291	13 сверху	7,0 кгр./клев. ч..	7,0 кгр./клев. ч., а въ 2000 клев. съ перегрѣтымъ паромъ даже всего 5,6 кгр./клев. ч..
301	10 „	черт. 366,	черт. 365,
„	16 „	158)	168)
304	14 „	удѣльныя вѣса	удѣльные вѣса
„	5 снизу	комбинированномъ	комбинированнымъ,

Принятые сокращения и обозначения.

Сокращения наименований:

абс.—абсолютный,
мм., мм.², мм.³—миллиметры квадр. мм.,
кубическіе мм.,
см. (см.², см.³)—сантиметры (квдр.,
куб.),
м. (м.², м.³)—метры (квдр., куб.),
лтр.—литры,
гр.—граммы,
кгр.—килограммы,
сек. (сек.)—секунды,
мин. (мин.)—минуты,
ч.—часы,
обор./мин.—число оборотовъ въ 1 ми-
нуту,
л. с.—лошадиныя силы;
д. л. с.—дѣйствительныя л. с. (тормоз-
ныя или полезныя),
квл.—киловатты,
влт.—вольты,
амп.—амперы,
атм.—атмосфера=1 кгр./см.²=737,4 мм.
рт. ст.,
рт. ст. высота ртутнаго столба (мм. или см.),
в. ст.— » водяного » » »
т. ед.—тепловыя единицы (кгр.-кало-
ріи).
—, : , / — знаки дѣленія.

Обозначения:

t^0 —температура въ ° Ц.,
 $T^0 = t^0 + 273$ » » абс. градусахъ,
 ϑ^0 —температура влажнаго пара,
 c —теплоемкость,
 Q —теплота въ т. ед.
 p —давленіе въ кгр./см.².
 B —барометрическое давленіе въ мм.
рт. ст.,

B_n —нормальное баром. давленіе=737,4 мм.,
 l, L —длина (мм. или м.),
 D —діаметръ въ мм. или м., а также
расходъ пара въ кгр. на 1 мощ-
ности въ 1 часъ,
 f, F —площадь (мм.² или м.²),
 v —удѣльный объемъ въ м.³/кгр.,
 V —объемъ въ м.³,
 N —работа въ л. с.,
 N_e — » » д. л. с.
 N_k —(KW) работа въ квл.
 n —обор./мин.
 η —отдача (въ %).

Сокращения литературы.

C. r.—Comptes rendus de l'Academie
des sciences (Paris).
Eng.—The Engineer.
Engng.—Engineering.
Forsch.—Mitteilungen über Forschungs-
arbeiten aus dem Gebiete des In-
genieurwesens.
Proc. Am. Inst. El. Eng.—Proceedings
of the Amerikan Institute of Elect-
rical Engineers.
Rev. Méc.—Revue de Mecanique.
Techn. u. Wirtsch.—Technik u. Wirt-
schaft, herausgegeben vom Verein
deutscher Ingenieure.
T. Nav Arch.—Transactions of the In-
stitution of Naval Architects.
Turb.—Die Turbine.
Z. Turb.—Zeitschrift für das gesammte
Turbinenwesen.
Z. Dampfk. Masch.—Zeitschrift für
Dampfkessel und Maschinenbetrieb.
Z. V. d. I.—Zeitschrift des Vereines
deutscher Ingenieure.

ГЛАВА I.

Измѣреніе скорости.

1. Счетчики оборотовъ.—Постоянные счетчики оборотовъ, такъ назыв. суммирующіе, почти не употребляются при паровыхъ турбинахъ. Объясняется это слѣдующими обстоятельствами:

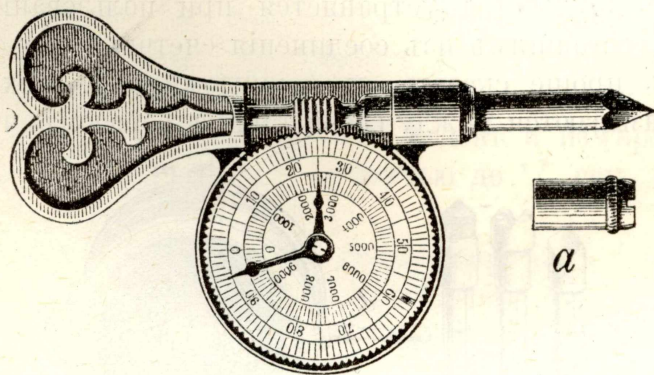
1) въ отличіе отъ поршневыхъ машинъ точное измѣреніе числа оборотовъ турбины въ большинствѣ случаевъ, когда турбина непосредственно соединена съ генераторомъ электрической энергіи или центробѣжнымъ воздушнымъ компрессоромъ, не представляется необходимымъ, такъ какъ 1 оборотъ не является какимъ-либо законченнымъ рабочимъ періодомъ;

2) въ виду значительнаго обычнаго числа оборотовъ турбинъ, отъ 1000 до 3000 въ минуту, суммирующій счетчикъ долженъ имѣть значительное число знаковъ на шкалѣ, такъ какъ долженъ, напр., за 1 часъ отсчитать отъ 60000 до 180000 обор.; такіе счетчики довольно громоздки и поглощаютъ сравнительно много работы;

3) только очень немногія конструкции счетчиковъ годятся для столь значительныхъ чиселъ оборотовъ, да и тѣ подвергаются черезчуръ быстрому изнашиванію.

Для точнаго измѣренія числа оборотовъ пользуются обычно ручными счетчиками, или состоящими изъ червяка съ парой червячныхъ колесъ или изъ системы зубчатыхъ, вѣрнѣе, цѣвочныхъ колесъ.

Дѣйствіе счетчика перваго типа, черт. 1, основано на относитель-



Черт. 1.

номъ движеніи двухъ червячныхъ колесъ, имѣющихъ общую ось, изъ которыхъ верхнее, съ циферблатомъ, имѣетъ 100 зубцовъ, нижнее—101. На внѣшній циферблатъ указываетъ большая, неподвижная стрѣлка,

на внутренней-малая стрѣлка, соединенная съ втулкой нижняго колеса. Оба колеса сцѣплены съ червякомъ. При каждомъ полномъ оборотѣ верхняго колеса, соответствующемъ 100 оборотамъ червяка, нижнее отстаетъ на $1/100$ оборота, и его стрѣлка показываетъ такимъ образомъ сотни и тысячи оборотовъ.

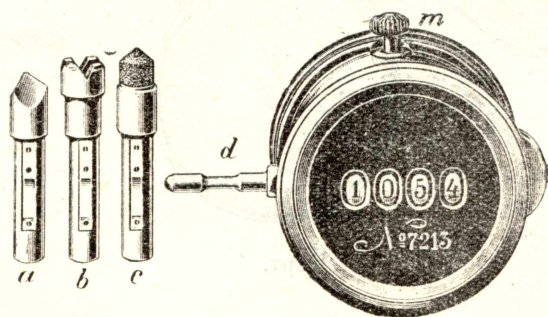
Чтобы при нажатіи трехграннаго конца въ углубленіе въ центрѣ вала, дѣлающаго большое число оборотовъ, онъ не скользилъ и не давалъ преуменьшенныхъ показаній, въ углубленіи полезно сдѣлать зубиломъ нѣсколько насѣчекъ.

Во избѣжаніе быстрого срабатыванія червякъ и зубцы колесъ, а также всѣ оси вращенія прибора надо хорошенько смазывать вазелиновымъ или деревяннымъ масломъ.

Счетчики болѣе сложной конструкціи, но съ болѣе удобнымъ отчетомъ по цифрамъ, показывающимся въ окошечкахъ, состоятъ изъ системы цѣпочныхъ колесъ, изъ которыхъ каждое послѣдующее дѣлаетъ $1/10$ оборота на 1 оборотъ предыдущаго. Въ ручныхъ счетчикахъ берутъ обыкновенно 4 послѣдовательныхъ колеса, не считая сидящаго на валу счетчика, такъ что счетчикъ показываетъ до 9999, а затѣмъ показываются 0000, и счетъ идетъ снова. Цифры ставятся прямо на цилиндрической поверхности колесъ.

При пользованіи указанными ручными счетчиками надо одновременно слѣдить и за секундной стрѣлкой часовъ, чтобы прижимать счетчикъ въ теченіе опредѣленнаго, точно замѣченнаго промежутка времени, обыкновенно въ теченіе 60 сек., и за своевременнымъ и правильнымъ нажатіемъ счетчика во время отчета. Дѣло это требуетъ большого вниманія и навыка, такъ какъ ошибка въ 1 сек. составляетъ на 60 сек. почти 2%, на ту же величину получится невѣрнымъ и измѣренное число оборотовъ.

Указанное неудобство устраняется при пользованіи такъ назыв. тахоскопомъ, состоящимъ изъ соединенія счетчика оборотовъ съ хронометромъ, или, проще сказать, съ секундомѣромъ. Механизмы обоихъ приборовъ связываются между собой такимъ образомъ, что при нажатіи



Черт. 2.

конца оси *d*, черт. 2, на центръ вращающагося вала, пускается въ ходъ и секундомѣръ, расположенный позади счетчика. Когда ось счетчика

отнимаютъ отъ вала, вмѣстѣ съ счетчикомъ останавливается и секундомѣръ. Нажатіемъ на собачку, не показанную на черт. 2, стрѣлки секундомѣра возвращаются на 0. Пуговка *m* служитъ для завода механизма секундомѣра. Слева показаны различные наконечники: *a* трехгранный стальной, *b* стальной же, но съ углубленіемъ, если торецъ вала имѣетъ въ центрѣ выступъ, *c*—резиновый наконечникъ, пригодный однако лишь для умеренныхъ чиселъ оборотовъ, не свыше 200—300 въ мин.; при большихъ числахъ онъ скользитъ и самъ быстро истирается.

Тахоскопъ довольно компактный приборъ, на черт. 2 онъ изображенъ примѣрно въ $\frac{3}{5}$ натур. вел., примѣнимъ до 6000 обор./мин.. Часовой механизмъ сдѣланъ нечувствительнымъ къ электромагнитному дѣйствію, такъ что имъ можно пользоваться даже вблизи большихъ машинъ постоянного тока.

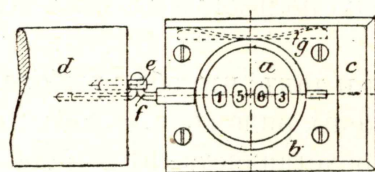
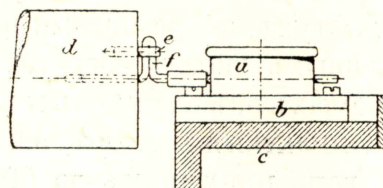
Тахоскопы дѣлаются и такъ, что оба прибора—счетчикъ оборотовъ и секундомѣръ расположены рядомъ, т. е. оба циферблата видны сразу. При пользованіи это представляетъ нѣкоторое удобство, но зато приборъ получается болѣе громоздкій. Кромѣ того, механизмъ счетчика оборота другой, со стрѣлками, не допускающій пользованіе прибора при свыше 2000 обор./мин..

Если у турбины есть валъ, дѣлающій меньшее число оборотовъ, но соединенный съ ней при помощи жесткой, зубчатой передачи, напр. валъ насоса для смазки, то иногда бываетъ удобнѣе присоединять счетчикъ оборотовъ къ этому валу, умножая его показанія на точно установленное передаточное число между валами.

Иногда число оборотовъ турбины приходится и удается измѣрять даже и совсѣмъ безъ счетчика, если у турбины есть какая-нибудь деталь, дѣлающая сравнительно медленныя колебательныя движенія по 1 на нѣкоторое, строго опредѣленное число оборотовъ турбины, напр. поршневой воздушный или масляный насосъ, связанный съ валомъ турбины жесткой передачей, или рычагъ въ регулирующемъ приборѣ, качающійся отъ эксцентрика или кулака, и т. п. Въ этомъ случаѣ можно, отсчитывая на глазъ напр. 100 ходовъ и измѣривъ при помощи секундомѣра соотв. время съ точностью до $\frac{1}{5}$ сек., вычислить число обор./мин. турбины.

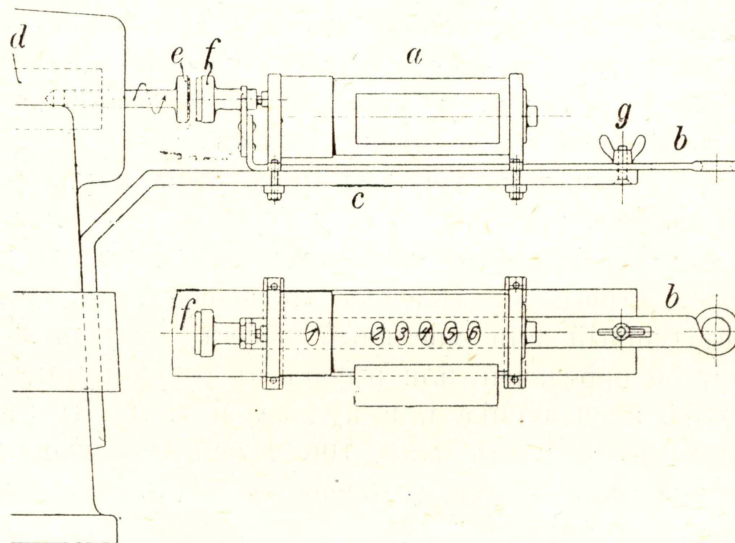
При особенно точныхъ опытахъ число оборотовъ полезно измѣрять не періодически, какъ это дѣлается обыкновенно при помощи ручныхъ счетчиковъ, а въ теченіе всего опыта, длящагося обыкновенно около 1 часа. Въ такомъ случаѣ можно пользоваться слѣдующимъ приспособленіемъ, чертежъ 3 и 4, стр. 4: наконечникъ *f* счетчика *a* входитъ въ отверстіе, высверленное въ центрѣ вала *d* турбины; за изгибъ наконечника въ видѣ калѣна зацѣпляется шпилька *e*, ввернутая въ торецъ вала *d*, и приводитъ счетчикъ во вращеніе. Счетчикъ прикрѣпленъ къ дощечкѣ *b*, которая можетъ перемѣщаться по подставкѣ *c* съ закраинами съ трехъ сторонъ, приближая счетчикъ къ машинѣ или

удалая его. Если счетчикъ отодвинуть вправо, шпилька *e* перестанетъ касаться колѣна *f*, и счетчикъ остановится. Пружинка *g* удерживаетъ счетчикъ, несмотря на неизбежное дрожаніе его, въ томъ положеніи, въ которое онъ поставленъ.



Черт. 3 и 4.

Другое приспособленіе для болѣе крупнаго счетчика, изображено на черт. 5 и 6¹⁾; счетчикъ *a* прикрѣпленъ неподвижно къ кронштейну

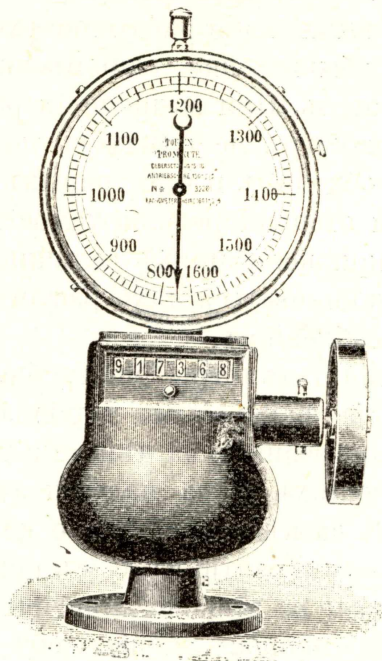


Черт. 5 и 6.

c; подъ счетчикомъ можетъ перемѣщаться рейка *b*, при чемъ лѣвый загнутый конецъ ея передвигаетъ муфточку *f*; торецъ послѣдней снабженъ резиновой наклейкой, прижимаемой къ рифленной радіальными бороздками поверхности фланца *e*, ввернутаго въ центръ вала турбины. Съ осью счетчика муфта *f* соединяется шплинтомъ и прорѣзью, позволяющей перемѣщать муфту вдоль оси счетчика. Барашекъ *g* служитъ для закрѣпленія рейки *b*, когда счетчикъ включается на болѣе продолжительное время.

¹⁾ Forsch. H. 12, S. 10.

Затѣмъ можно упомянуть еще объ одномъ способѣ приведенія въ дѣйствиіе счетчиковъ оборотовъ—при помощи ременной передачи, при чемъ счетчикъ обыкновенно соединяется въ одинъ механизмъ съ тахометромъ, черт. 7. Достоинство этого способа—простота его, но онъ,



Черт. 7.

конечно, не можетъ считаться вполне надежнымъ при точныхъ опытахъ.

Наконецъ, нѣкоторые заводы снабжаютъ свои турбины счетчиками оборотовъ, соединенными въ одинъ механизмъ съ тахометромъ, но приводимыми въ дѣйствиіе отъ вала турбины при помощи зубчатой передачи. Противъ этого можно сдѣлать лишь слѣдующее возраженіе: если приборъ будетъ постоянно въ дѣйствиіи, онъ износится сравнительно скоро; если включать его лишь временами, а для выключенія снимать одну изъ шестеренъ, то онъ не будетъ достигать своей цѣли—контрольнаго прибора при нормальной работѣ турбины, такъ какъ вновь его можно включать лишь во время остановки турбины. Во время же испытанія такой приборъ является однимъ изъ наиболее удобныхъ и точныхъ.

2. Тахометры. Общія указанія.—Приведенные выше счетчики оборотовъ даютъ возможность опредѣлить среднее число оборотовъ турбины въ 1 мин. за извѣстный промежутокъ времени. Такъ назыв. тахометры, т. е. измѣрители скорости, прямо указываютъ число обор./мин., которое турбина дѣлаетъ въ данный моментъ. Вслѣдствіе различныхъ причинъ, частью зависящихъ отъ самихъ приборовъ, частью отъ способа приведенія его въ дѣйствиіе, а подчасъ и отъ неполной равномерности вращенія турбины, стрѣлка тахометра обыкновенно нѣсколько колеблется и не можетъ указывать средняго числа оборотовъ турбины такъ точно, какъ вычисленіе по показаніямъ счетчика.

Такимъ образомъ тахометръ, являющійся необходимой принадлежностью каждой паровой турбины, надо считать скорѣе вспомогательнымъ приборомъ для надзора за работой турбины. Впрочемъ въ тѣхъ случаяхъ, когда испытывается турбина, соединенная съ генераторомъ электрическаго тока, въ вычисленіе работы не входитъ число оборотовъ, и тахометръ является обыкновенно единственнымъ приборомъ для опредѣленія числа оборотовъ. При вычисленіи работы турбины по крутящему моменту на тахометръ не слѣдуетъ полагаться.

Однако тахометръ необходимъ и при точныхъ испытаніяхъ турбины, именно для опредѣленія степени регулируемости турбины, т. е. измѣненія числа оборотовъ при колебаніяхъ величины нагрузки. Впрочемъ для этой цѣли лучше пользоваться тахографомъ, или тахометромъ съ самопишущимъ приспособленіемъ.

По принципу дѣйствія тахометры, употребляемые и пригодные къ употребленію при работѣ съ паровыми турбинами, можно разбить на три основныхъ группы: основанные на дѣйствіи центробѣжной силы, на электромагнитныхъ явленіяхъ и на явленіи резонанса. Первые двѣ группы распадаются еще на нѣсколько болѣе мелкихъ: къ первой относятся приборы съ грузовыми маятниками, съ перемѣщеніемъ жидкости и съ давленіемъ жидкости; ко второй—приборы съ вихревыми токами, съ динамо-машинками постоянного и, наконецъ, переменнаго тока.

Существуютъ еще и другіе приборы, напр. основанные на вязкости жидкости, чисто кинематическіе и др.. Объ нихъ мы не будемъ говорить, такъ какъ для турбинъ они или непригодны или не приспособлены.

По назначенію можно различать тахометры постоянные и ручные; послѣдніе по принципу такіе же, но отличающіеся лишь размѣрами и деталями конструкціи.

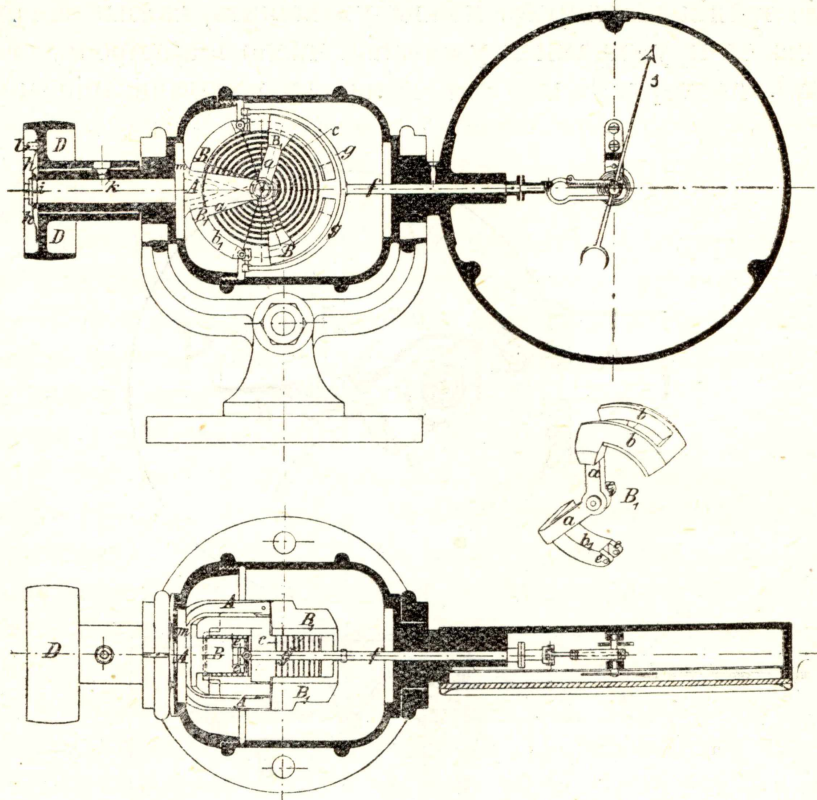
Наконецъ, можно еще различать тахометры съ передачей показаній на разстояніе—такими являются приборы съ динамо-машинкой, а также тахометры, основанные на резонансѣ въ соединеніи съ электрической передачей.

Сравнительную оцѣнку многочисленныхъ типовъ тахометровъ мы сдѣлаемъ послѣ ихъ описанія.

3. Тахометры постоянные.—До сравнительно недавняго времени эти приборы строились преимущественно на принципѣ центробѣжныхъ грузовыхъ маятниковъ.

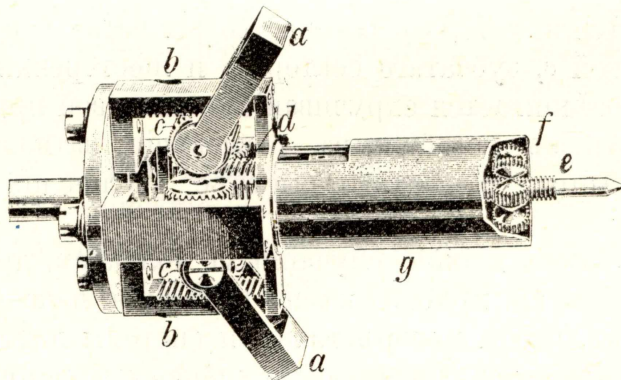
Тахометры съ грузами. Конструированіе хорошаго тахометра съ маятниками является одной изъ трудныхъ задачъ. При каждомъ измѣненіи скорости маятникъ долженъ сперва преодолѣть инерцію массъ и треніе въ шарнирахъ. Послѣднее зависитъ въ значительной мѣрѣ отъ смазки, ея обилія и вязкости. Въ нѣкоторыхъ конструкціяхъ вліяніе инерціи стараются ослабить, дѣлая массу движущихся частей небольшой, а дѣйствующую центробѣжную силу, наоборотъ, возможно большой. Этого можно достигнуть, увеличивая число оборотовъ маят-

Наконецъ, можно указать механизмъ Омунда, черт. 13, въ которомъ ради уменьшенія тренія треніе скольженія замѣнено треніемъ второго



Черт. 10—12.

рода: маятниковые грузы *a,a* (ихъ всего 4, но чтобы не затемнять чертежа передній показанъ снятымъ) при расхожденіи подъ вліяніемъ



Черт. 13.

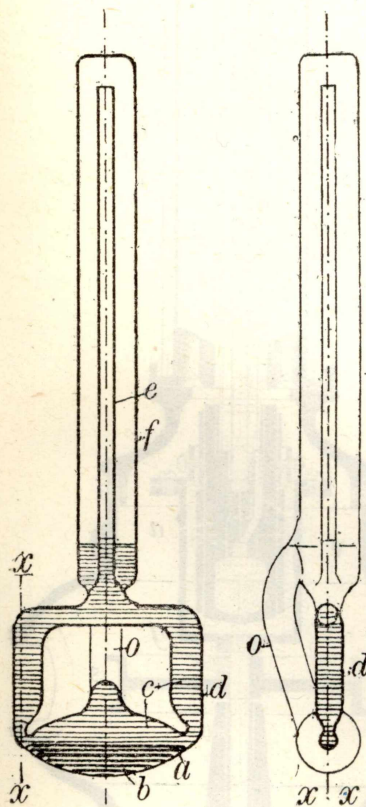
центробѣжной силы катятся по рейкамъ *b,b*; при этомъ ролики *c,c* маятниковъ продвигаютъ вправо расположенную между ними квадратную рейку *d*, къ которой прикрѣпленъ шпиндель *e*, передающей движеніе стрѣлкѣ уже обычнымъ способомъ. Шпиндель *e* ходитъ тоже съ очень малымъ треніемъ, будучи направляемъ 6 зубчатыми роликами *f,f*.

Уравновѣшиваніе центробѣжной силы производится сжатіемъ цилиндрической пружины, скрытой въ кожухѣ *g*.

Помимо чувствительности показаній этотъ механизмъ отличается очень малымъ изнашиваніемъ, при чемъ можетъ даже обходиться безъ смазки.

Заканчивая о тахометрахъ съ маятниками, можно еще упомянуть, что они иногда дѣлаются соединенными въ одно съ счетчикомъ оборотовъ, какъ напр., указанный выше, черт. 7.

Тахометры съ жидкостью. Если вертикальный цилиндрическій сосудъ, наполненный наполовину жидкостью, вращать около его оси, то, какъ извѣстно изъ гидравлики, поверхность жидкости приметъ видъ параболоида вращенія, при чемъ вершина его будетъ опускаться ниже уровня въ спокойномъ состояніи на величину, которая пропорціональна квадрату угловой скорости, и которую нетрудно измѣрять.



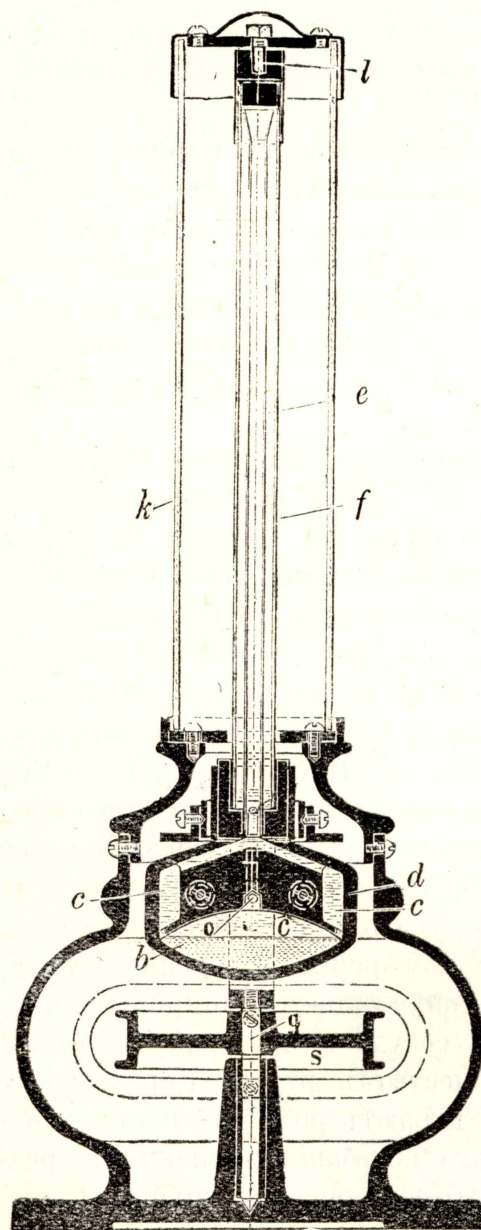
Черт. 14 и 15.

Дальнѣйшимъ усовершенствованіемъ конструкции, основанной на томъ же принципѣ, является приборъ съ двумя жидкостями, такъ назыв. „бифлюидъ-тахометръ“, схематически изображенный на черт. 14 и 15. Въ стеклянномъ сосудѣ *a* своеобразной формы наливается на дно немного ртути *b*, а надъ ней подкрашенный спиртъ *c*. При вращеніи сосуда ртуть поднимается въ боковыя вертикальныя колѣна *d* и гонитъ кверху спиртъ въ средней трубкѣ *e*, высота уровня въ которой и указываетъ число оборотовъ. Предѣлы измѣренія и среднее число оборотовъ опредѣляется шириной нижней части сосуда *a*, діаметромъ трубки *e* и количествомъ ртути. Перехваты у колѣнъ *d* играютъ роль катаракта, успокаивающаго колебанія жидкостей; средній каналъ *o* сообщаетъ трубку *f* съ серединой сосуда *a*.

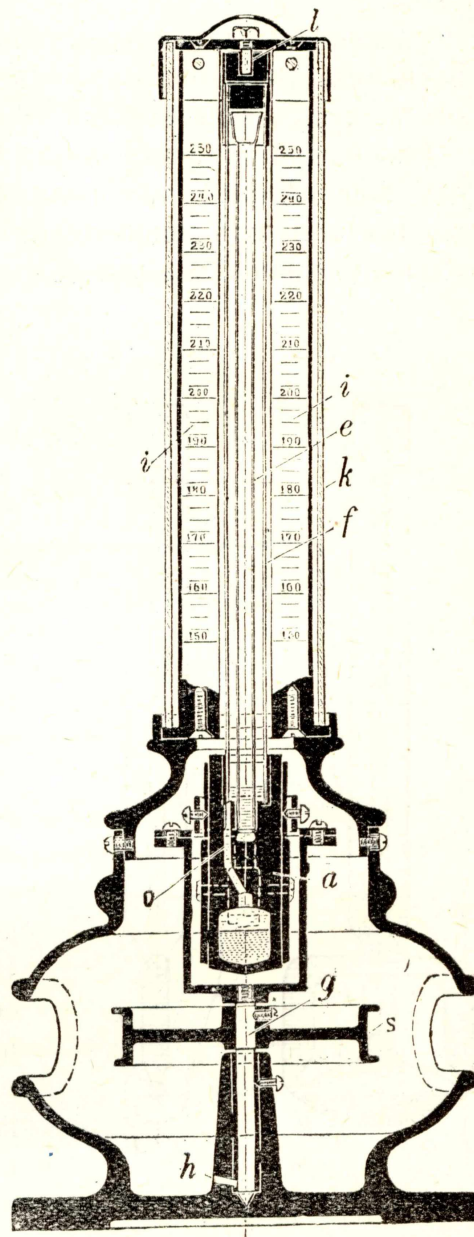
На черт. 16 и 17, стр. 10, изображены два разрѣза и шкала такого прибора въ его конструктивномъ исполненіи²⁾; самый сосудъ въ виду сравнительной сложности очертаній и ради прочности дѣлается чугуномъ, а стеклянными только трубки *e* и *f*; остальные обозначенія тѣ же, что и на черт. 14 и 15; шкивокъ *z* служитъ для передачи вращенія ремнемъ и можетъ быть замѣненъ коническимъ колесомъ для жесткой передачи. Для уменьшенія тренія и изнашиванія конецъ оси *g* вращается въ маслѣ,

²⁾ Rig. Industrie-Ztng. 1904, S. 182.

которое наливается въ нижнюю часть станинки и по каналу *h* попадаетъ на ось. Шкала составляется изъ четырехъ реекъ *i*, образующихъ крестъ и окруженныхъ стекляннымъ кожухомъ—трубкой *k*; шкала дѣлений наносится на обѣихъ сторонахъ реекъ.



Черт. 16.



Черт. 17.

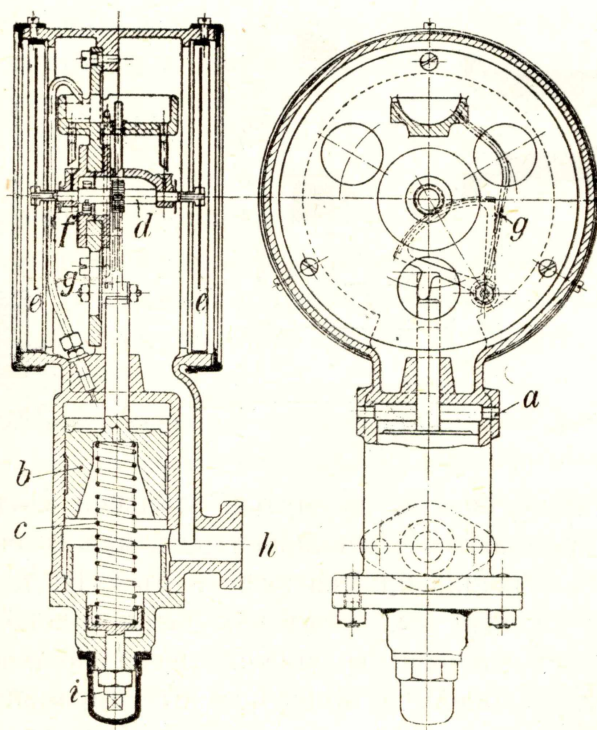
Приборы эти очень удобны; въ виду малой величины тренія жидкости очень чувствительны; показанія ихъ не измѣняются со временемъ.

Къ той же группѣ тахометровъ надо отнести и приспособленіе, употребляемое въ новѣйшихъ турбинахъ Зульцеръ ³⁾. Изъ желанія по воз-

³⁾ Z.V.d.I. 1911, S. 1795.

возможности избѣгать зубчатыхъ передачи для приведения въ дѣйствіе указателя скорости использовано давленіе масла, служащаго въ первую очередь для регулированія числа оборотовъ турбины. Съ этой цѣлью масло это подается особымъ центробѣжнымъ насосомъ, отдѣльно отъ масла, служащаго для смазки всѣхъ трущихся частей.

Благодаря тому, что насосъ забираетъ масло изъ сосуда съ переливомъ, такъ что начальное давленіе масла, его поступленіе, всегда строго одинаково, давленіе въ нагнетательной трубкѣ пропорціонально квадрату числа оборотовъ насоса. Послѣдній сидитъ на валу, соединенномъ червячной передачей съ валомъ турбины. Такимъ образомъ всякое измѣненіе числа оборотовъ турбины сказывается замѣтно на давленіи масла. вмѣсто того, чтобы измѣрять это давленіе обыкновеннымъ трубчатымъ манометромъ, заводъ пользуется для этого приборомъ по черт. 18 и 19:



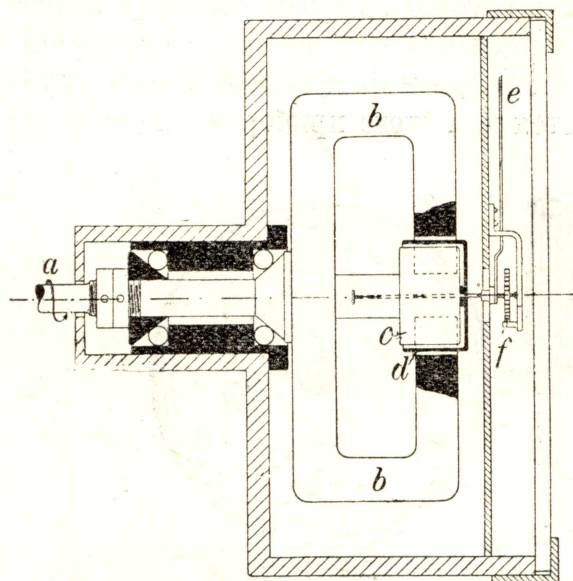
Черт. 18 и 19.

трубка съ масломъ прикрѣпляется къ отверстию *a*; масло давитъ на плотно пригнанный поршень *b*, который сжимаетъ винтовую пружину *e* пропорціонально давленію, т. е. числу оборотовъ. Перемѣщеніе поршенька (вверхъ при уменьшеніи числа оборотовъ) поворачиваетъ черезъ посредство зубчатаго сектора и шестеренки ось *d* со стрѣлками *e*, *e* на обоихъ концахъ. При возрастаніи числа оборотовъ стрѣлки *e*, *e* слѣдуютъ за опусканіемъ поршенька *b* подъ вліяніемъ спиральной пружины *f*. Трубочка *g* служитъ для непрерывной смазки всѣхъ движущихся частей. Къ патрубку *h* присоединяется трубка для стока просачивающагося масла обратно къ насосу. Болтикъ *i* служитъ для точной

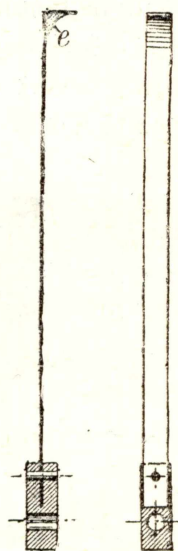
установки натяженія пружины *e* при градуировкѣ шкалы и при послѣдующей провѣркѣ.

Приборъ дѣйствуетъ очень хорошо, очень чувствителенъ, показанія его почти не мѣняются со временемъ и могутъ быть снова исправляемы при помощи болтика *i*. Два циферблата, съ двухъ сторонъ, очень удобны при уходѣ за турбиной.

Магнитно-электрическіе тахометры. Однимъ изъ самыхъ простыхъ является приборъ съ вихревыми токами, схематически изображенный на черт. 20. Къ валу прибора *a*, вращающемуся въ шаровыхъ



Черт. 20.



Черт. 21 и 22.

подшипникахъ, прикрѣпленъ изогнутый стальной магнитъ *b*, силовыя линіи котораго замыкаются расположеннымъ между его полюсами желѣзнымъ якоремъ *c*, вращающимся вмѣстѣ съ *b*. Въ кольцевомъ зазорѣ между полюсами магнита и якоремъ находится колоколъ *d* изъ алюминія, который можетъ поворачиваться очень легко около оси, совпадающей съ осью вала. Къ колоколу *d* прикрѣплены спиральная пружина *f* и стрѣлка *e*. При вращеніи магнита въ колоколѣ образуются вихревые токи, поворачивающіе его, пока скручиваніе пружинки *f* не уравниваетъ вращающій моментъ, который тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость вращенія.

Вслѣдствіе очень малой массы колокола и отсутствія передачъ показанія приборы очень чувствительны, хотя и не очень точны, а также подвержены вліянію температуры. Приборъ почти не изнашивается; правда, сила магнита со временемъ мѣняется, но очень мало. Кромѣ того, въ нѣкоторыхъ конструкціяхъ дѣлаются приспособленія для измѣненія величины воздушной прослойки между магнитомъ и алюминиевымъ колоколомъ или вообще деталью, увлекаемой вихревыми токами, чѣмъ можно исправить измѣненіе силы магнита.

Довольно сильно сказывается на показаніяхъ прибора измѣненіе температуры, однако съ этимъ можно бороться двояко: или дѣлать деталь, поворачиваемую токами не изъ алюминія, а изъ сплава, электрическое сопротивленіе котораго не мѣняется съ температурой, константана, манганина и т. п., или снабдить приборъ таблицей поправочныхъ множителей при повышеніи температуры.

Пользоваться такимъ приборомъ при судовыхъ турбинахъ однако неудобно: онъ не имѣетъ катаракта для успокоенія размаховъ стрѣлки при сильно колеблющейся скорости вращенія, и стрѣлка его поворачивается въ разныя стороны, слѣдуя за направленіемъ вращенія, въ виду чего дѣленія на каждой половинѣ шкалы получаются слишкомъ мелкія, тѣмъ болѣе, что въ этомъ случаѣ нельзя сдѣлать сокращенной шкалы съ отчетами не отъ 0.

Электрическіе тахометры, являющіеся въ то же время приборами съ показаніями на разстояніи, дѣлаются или въ видѣ маленькой машины постоянного тока или маленькаго же генератора переменнаго тока. Въ обоихъ случаяхъ напряженіе тока пропорціонально скорости вращенія. Указателемъ служитъ вольтметръ со шкалой, градуированной электрически прямо на числа оборотовъ.

Для машинокъ постоянного тока берется вольтметръ типа д'Арсонваля. Направленіе отклоненія стрѣлки зависитъ отъ направленія вращенія, такъ что здѣсь справедливо то же замѣчаніе, что и по поводу вихревыхъ тахометровъ.

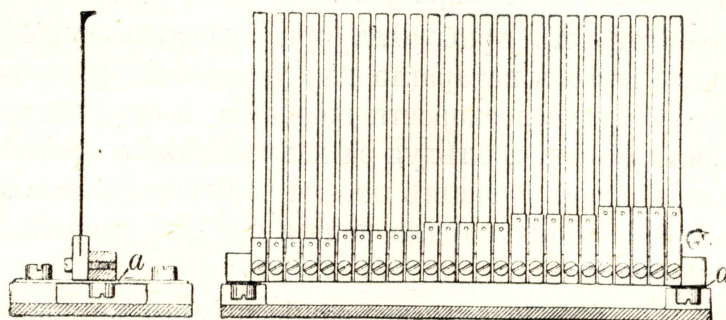
Для машинокъ переменнаго тока берется вольтметръ типа Феррарисъ. Направленіе вращенія на направленіе отклоненія стрѣлки не влияетъ. Такъ какъ напряженіе возрастаетъ пропорціонально квадрату скорости, то дѣленія шкалы становятся крупнѣе съ увеличеніемъ числа оборотовъ. Самый генераторъ дѣлается съ вращающимся магнитомъ и неподвижной обмоткой, благодаря чему нѣтъ ни щетокъ, ни контактныхъ колецъ; изнашивание прибора ничтожно, уходъ за нимъ очень простъ; показанія его почти не мѣняются со временемъ, но тоже зависятъ нѣсколько отъ температуры.

Резонансъ-тахометры. Явленіе резонанса состоитъ въ томъ, что при извѣстномъ очертаніи тѣла подъ вліяніемъ періодическихъ толчковъ происходитъ въ сильное колебательное движеніе, если число толчковъ въ единицу времени близко совпадаетъ съ такъ назыв. собственнымъ естественнымъ числомъ колебаній тѣла.

Основанный на этомъ явленіи приборъ Фрама состоитъ изъ ряда узенькихъ стальныхъ пружинокъ, черт. 21—22, стр. 12, прикрѣпленныхъ однимъ концомъ къ общему мостику. Толщина пластинокъ обыкновенно около 0,25 мм., ширина 3÷4 мм., длина 40÷60 мм.; свободный конецъ пластинки загибается, черт. 22, и въ уголь припаивается кусочекъ олова *e*. Число колебаній такой пластинки зависитъ при однородномъ матеріалѣ и одинаковомъ поперечномъ сѣченіи отъ свободной длины ея и

отъ вѣса грузика на свободномъ концѣ. При указанныхъ выше размѣрахъ можно получать пластинки съ любымъ числомъ колебаній отъ 15 до 120 въ сек., т. е. 900 до 7200 въ мин.

Рядъ пластинокъ, 13 до 50 штукъ, закрѣпленныхъ на общей планкѣ, образуютъ гребень, черт. 23 и 24, который прикрѣпляется къ станинкѣ



Черт. 23 и 24.

помощью 2 плоскихъ пружинъ *a*, позволяющихъ всему гребню дѣлать колебательныя движенія, перпендикулярныя къ его длинѣ. Пластины „настраиваются“ такъ, что число колебаній каждой слѣдующей на 5 до 20 колебаній въ мин. больше предыдущей.

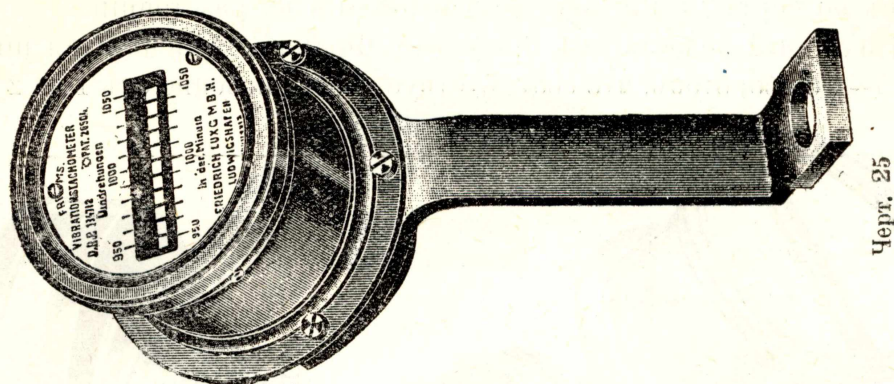
Если такому гребню изъ пластинокъ сообщать періодическіе, хотя бы слабые толчки, то та пластинка, собственное число колебаній которой равно числу этихъ толчковъ или близко къ нему, придетъ въ довольно сильное колебаніе съ размахомъ отъ 5 до 30 мм. и даже больше; собѣднія пластинки будутъ дѣлать меньшій размахъ, слѣдующія еще меньшій, а колебаніе остальныхъ будетъ совсѣмъ незамѣтно.

Правда, въ замѣтное колебаніе приходитъ не только та пластинка, число колебаній которой равно числу толчковъ, но и тѣ, число колебаній которыхъ въ 2 или 3 раза больше. Однако, эти колебанія все же слабѣе, и, кромѣ того, трудно ошибиться въ отчетѣ числа оборотовъ въ 2 или 3 раза.

Что касается способовъ возбужденія колебаній, то простѣйшій—поставить приборъ прямо на станину машины. Для болѣе сильной передачи дряжанія приборъ можно прикрѣплять къ кронштейну изъ полового желѣза 6×20 мм. сѣченія, высотой 60÷80 мм., черт. 25. Способъ этотъ очень удобенъ для лавалевскихъ и другихъ малыхъ турбинъ. Онъ непримѣнимъ для болѣе тихоходныхъ крупныхъ турбинъ съ лучше уравновѣшенными массами, и часто еще стоящихъ на массивномъ фундаментѣ.

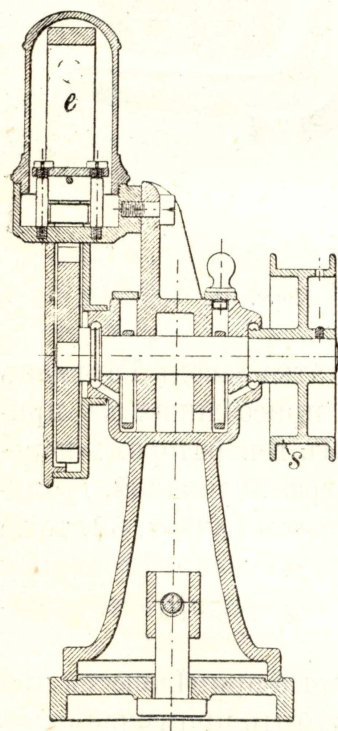
Для этихъ машинъ можно пользоваться электрическимъ возбужденіемъ. Идею его поясняетъ черт. 26: рычагъ *b*, прикрѣпленный къ мосту съ пластинками, періодически притягивается электромагнитами с при прохожденіи по ихъ обмоткѣ индукціоннаго, переменнаго тока; послѣдній получается при помощи небольшой динамомашины, черт. 27

и 28, состоящей изъ зубчатаго диска *d* изъ мягкаго желѣза, зубцы котораго проходятъ мимо концовъ подковообразнаго магнита *e* и вызыва-

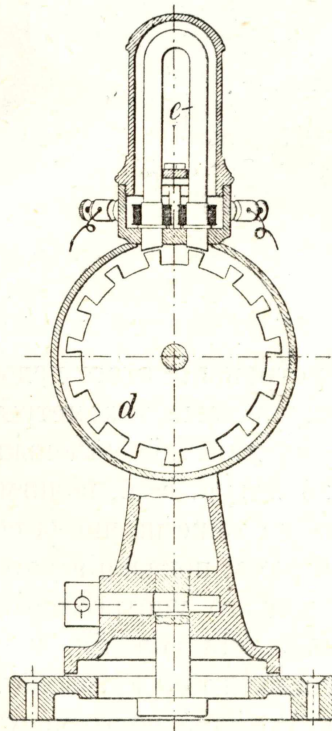


Черт. 25

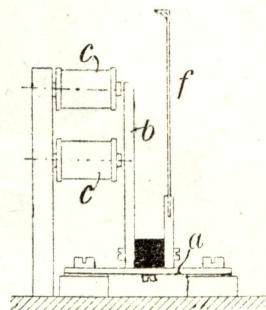
ютъ въ его обмоткахъ индукціонный токъ, передаваемый въ обмотки указанныхъ выше электромагнитовъ. На черт. 29 изображенъ соотв. приемникъ, по наружному виду почти ничѣмъ не отличающійся отъ прибора,



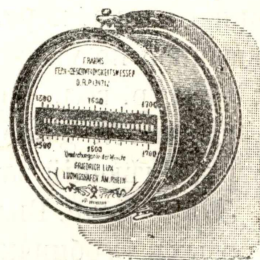
Черт. 27.



Черт. 28.



Черт. 26.

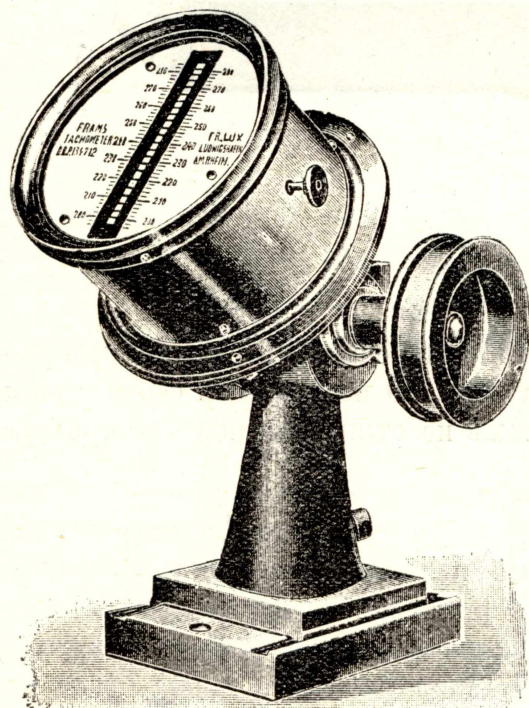


Черт. 29.

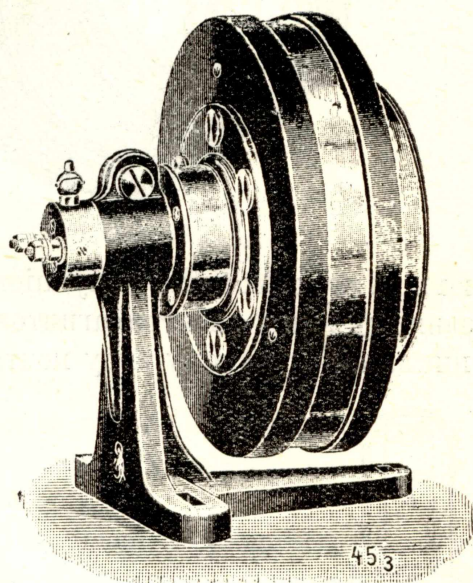
который ставится прямо на станину турбины. Наконецъ, на черт. 30, стр. 16, представленъ такой приборъ, въ которомъ динонамомашина и электромагнитный колебатель вмѣстѣ съ фрамовскимъ гребнемъ соединены въ одномъ общемъ кожухѣ. Такой приборъ можетъ исполнять два назначенія: или онъ можетъ служить для наблюденія за ходомъ машины вблизи нея, предполагая, что дрожаніе машины недостаточно для

возбужденія фрамовскаго гребня или, кромѣ того, къ нему можно еще присоединить при помощи двухъ проводовъ одинъ или нѣсколько приѣмниковъ по черт. 29 для передачи показаній на разстояніи.

Нѣкоторый недостатокъ приборовъ Фрама—ступеньчатая шкала черезъ 5—10 оборотовъ, что соотвѣтствуетъ обыкновенно отъ 1 до 2% сред-



Черт. 30.



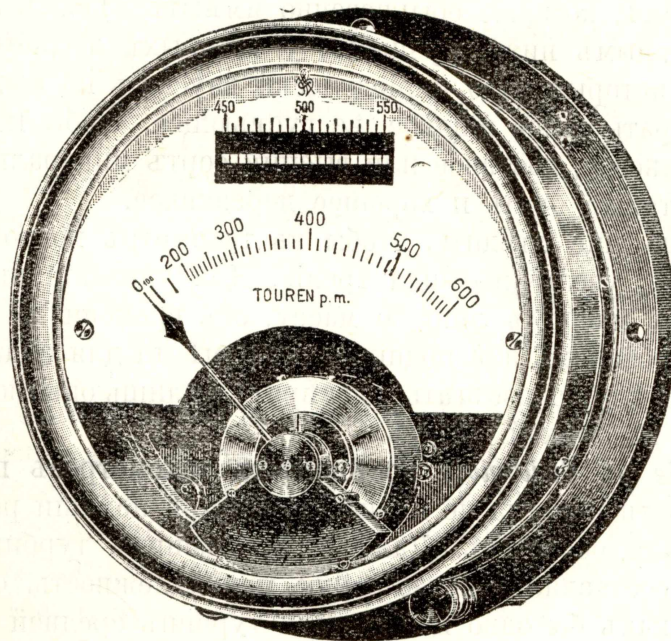
Черт. 31.

няго числа оборотовъ. Для устраненія этого недостатка заводъ Гартманъ и Браунъ строятъ комбинированные тахометры, присоединяя къ прибору Фрама, приводимому, въ дѣйствіе маленькимъ генераторомъ переменнаго тока, черт. 31, 1 : 3 натур. вел., вольтметръ со шкалой, градуированной по указанному выше тоже на числа оборотовъ, черт. 32, тоже 1 : 3 натур. вел.. Приборъ Фрама, показанія котораго очень постоянны и не мѣняются даже послѣ долгаго употребленія, контролируетъ вольтметръ, имѣющій зато болѣе мелкія дѣленія.

Заключеніе. Выше мы указали тахометры, которые примѣняются при паровыхъ турбинахъ или по крайней мѣрѣ могутъ быть примѣняемы съ достаточнымъ успѣхомъ. Существуютъ еще очень много тахометровъ, основанныхъ на другихъ принципахъ, о которыхъ мы не будемъ говорить, въ виду того, что для паровыхъ турбинъ они менѣе пригодны, чѣмъ указанные выше.

Что касается сравнительныхъ достоинствъ и недостатковъ перечисленныхъ приборовъ, то съ этой точки зрѣнія они могутъ быть указаны въ слѣдующемъ порядкѣ: наиболѣе надежными, почти не нуждающимися въ послѣдующей провѣркѣ, являются резонансъ-тахометры. Ихъ

показанія могутъ мѣняться только отъ ржавленія язычковъ, на что необходимо обращать вниманіе. Степень точности ихъ показаній зависитъ отъ разстоянія въ числахъ оборотовъ между сосѣдними язычками и, можетъ быть доведена до $\pm 0,25\%$. Вліяніе температуры не выше $0,2\%$



Черт. 32.

на 10° . Далѣе идутъ приборы съ жидкостями—бифлюидъ-тахометры и приборъ Зульцера, въ которомъ однако показанія могутъ мѣняться со временемъ отъ измѣненія жесткости пружины. Степень точности ихъ показаній отъ $\pm 0,5$ до $\pm 1,0\%$. Вліяніе температуры очень невелико.

Электрическіе приборы нуждаются въ провѣркѣ и вообще менѣе надежны, чѣмъ предыдущіе, хотя отъ употребленія они изнашиваются не сильно. Степень точности показаній приборовъ съ вихревыми токами около $\pm 0,5\%$, но вліяніе температуры довольно сильно и можетъ увеличивать ошибку еще на 1% на 10° . Примѣрно такова же степень точности и электрическихъ приборовъ съ вольтметрами.

Тахометры съ центробѣжными маятниками являются наименѣе чувствительными и точными. Ошибки даже у хорошихъ приборовъ бываютъ отъ ± 2 до $\pm 5\%$. Вліяніе температуры однако невелико, на 10° около— $0,4\%$ въ началѣ шкалы, а при болѣе высокихъ числахъ оборотовъ въ 2—3 раза менѣе. Главный недостатокъ ихъ—довольно замѣтное изнашиваніе и сравнительно большой расходъ энергіи на приведеніе въ дѣйствіе. Тѣмъ не менѣе до сихъ поръ они являются самыми распространенными тахометрами для паровыхъ турбинъ. Объясняется это своего рода консерватизмомъ, такъ какъ они и изобрѣтены и усовершенствованы были задолго до другихъ тахометровъ.

4. Обращеніе съ тахометрами.—При обращеніи съ тахометрами надо всегда помнить, что это довольно деликатные приборы, подверженные въ большинствѣ конструкцій неизбѣжному износу. Чтобы по возможности ослабить послѣдній, надо слѣдить, чтобы всѣ мѣста, подлежащія смазкѣ, были всегда достаточно смазаны. Это относится и къ постояннымъ приборамъ, которые обыкновенно имѣютъ нѣсколько масленокъ, и къ разобраннымъ ниже ручнымъ, у которыхъ дѣлается нѣсколько отверстій, въ которыя надо періодически впускать по капелькѣ масла. Масло надо брать самое жидкое, не густѣющее, чтобы не увеличивать тренія: вазелиновое, костяное или высшій сортъ минеральнаго веретеннаго; можно также брать и хорошее деревянное.

Далѣе надо еще слѣдить, чтобы въ тахометръ по возможности не попадала пыль, увеличивающая треніе. Для удаленія пыли, образующей иногда съ масломъ липкую массу, отъ времени до времени надо промывать керосиномъ всѣ подшипники и мѣста для смазки. Разборку тахометровъ слѣдуетъ избѣгать и довѣрять ее лишь опытному механику, привыкшему къ тонкой работѣ.

Приведеніе въ дѣйствіе постоянныхъ тахометровъ при паровыхъ турбинахъ почти никогда не производится при помощи ремня, въ виду большого числа оборотовъ. Даже у небольшихъ турбинъ тахометръ обыкновенно составляетъ неизбѣжную принадлежность, составляющую съ турбиной какъ бы одно цѣлое. Для турбинъ средней мощности, въ 150—200 л. с., и крупныхъ это справедливо безъ исключеній. Въ этомъ случаѣ тахометръ приводится въ дѣйствіе отъ вала турбины при помощи зубчатой, винтовой или червячной передачи. Иногда тахометръ приводится въ дѣйствіе не отъ главнаго, а отъ какого-нибудь вспомогательнаго валика, напр., регуляторнаго. При этомъ расположеніе тахометра бываетъ самое разнообразное—съ горизонтально расположенной осью вращенія и съ вертикальной; въ послѣднемъ случаѣ со шкалой вверхъ или внизъ. Иногда, хотя рѣдко, ось тахометра присоединяется къ турбинѣ при помощи расцѣпной муфты, позволяющей приборъ включать на ходу турбины. Рѣдкое снабженіе прибора такой муфтой объясняется важностью тахометра при уходѣ за турбиной.

Провѣрка тахометровъ.—Показанія тахометровъ, кромѣ развѣ бифлюидъ-и резонансъ-тахометровъ, нуждаются отъ времени до времени въ провѣркѣ, такъ какъ подвержены измѣненіямъ вслѣдствіе измѣненія жесткости пружинъ, силы магнитовъ и т. п.

Самая провѣрка тахометровъ всѣхъ системъ возможна лишь непосредственно опытнымъ путемъ; тахометру сообщаютъ тѣмъ или инымъ путемъ послѣдовательно точно извѣстныя числа оборотовъ и смотрятъ, совпадаютъ ли съ ними показанія стрѣлки тахометра. Числа оборотовъ измѣряются при этомъ суммирующими счетчиками или при помощи точнаго, вывѣреннаго тахометра.

Если тахометръ „вдѣланъ“ въ паровую турбину, то его провѣрку производятъ на самой турбинѣ.

Разумѣется, при провѣркѣ тахометръ долженъ быть вполне исправенъ: хорошо вычищенъ, промытъ керосиномъ, смазанъ, всѣ части подтянуты надлежащимъ образомъ.

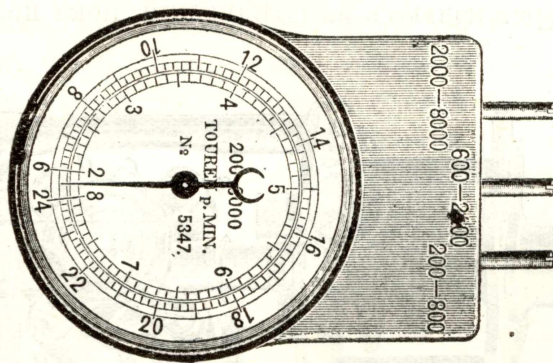
Если провѣрка обнаруживаетъ невѣрность показаній, то можно, или найти поправочный коэффициентъ для области, близкой къ нормальному числу оборотовъ данной турбины, или составить таблицу поправокъ, или, наконецъ, поставить новый циферблатъ, раздѣливъ его согласно найденнымъ отклоненіямъ стрѣлки.

Въ нѣкоторыхъ инженерныхъ лабораторіяхъ германскихъ политехникумовъ, а также на болѣе крупныхъ заводахъ, строящихъ тахометры, для ихъ вывѣрки имѣются особыя приспособленія. Главное требованіе, предъявляемое къ такимъ приспособленіямъ: полученіе строго равномернаго вращенія вала съ которымъ тѣмъ или инымъ способомъ соединяется провѣряемый тахометръ. Точное опредѣленіе числа оборотовъ этого вала производятъ иногда при помощи особаго самопишущаго приспособленія.

Въ виду дороговизны этихъ приспособленій, которыми приходится пользоваться сравнительно не часто, они не могутъ считаться необходимой принадлежностью даже крупныхъ станцій или турбиностроительныхъ заводовъ, а потому мы не станемъ останавливаться на нихъ болѣе подробно, отославъ интересующихся къ соотв. литературѣ⁴⁾.

5. Ручные тахометры.—Для контроля показаній тахометра, находящагося при турбинѣ, а также при испытаніи небольшихъ турбинъ, не имѣющихъ своего тахометра, можно пользоваться ручными тахометрами.

Тахометры съ маятниками являются наиболѣе распространенными и дѣйствительно наиболѣе совершенными изъ ручныхъ приборовъ. Однимъ изъ важныхъ требованій, предъявляемыхъ къ ручнымъ приборамъ, малый объемъ и вѣсъ, въ виду чего въ большинствѣ случаевъ въ нихъ совмѣщаются 2, 3 и даже до 4 областей измѣреній.



Черт. 33.

Черт. 33 изображаетъ тахометръ для чиселъ оборотовъ отъ 200—8000 въ мин., разбитыхъ на 3 группы. Наконечникъ, прижимаемый къ

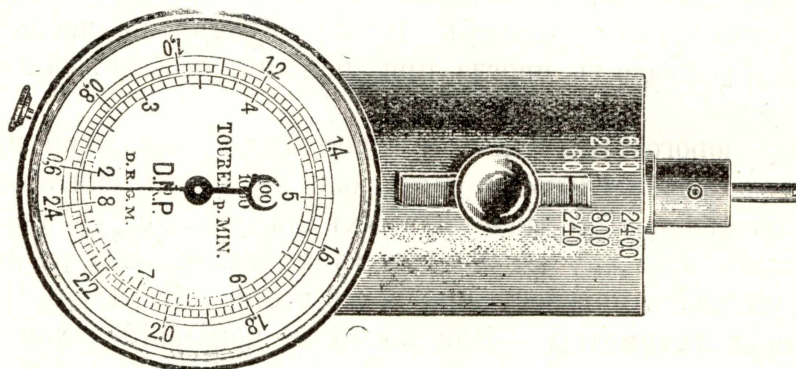
⁴⁾ Z.V.d.I. 1909, S. 483; Forsch. H. 100; Fr. Pflug, Geschwindigkeitsmesser, Berlin, 1908, S. 150.

торцу вала машины, надѣвается на соотв. выступающій конецъ оси. Средняя ось соединена непосредственно съ осью съ маятниками, правая соединена съ ней зубчатой передачей 1:3, а лѣвая—10:3.

Наконечники надѣваются или трехгранные стальные или резиновые, лучше послѣдніе. Во избѣжаніе скольженія наконечника на оси прибора послѣдняя снабжается на торцѣ вырѣзкой, черт. 33, попадающей на соотв. поперечную шпонку у наконечника.

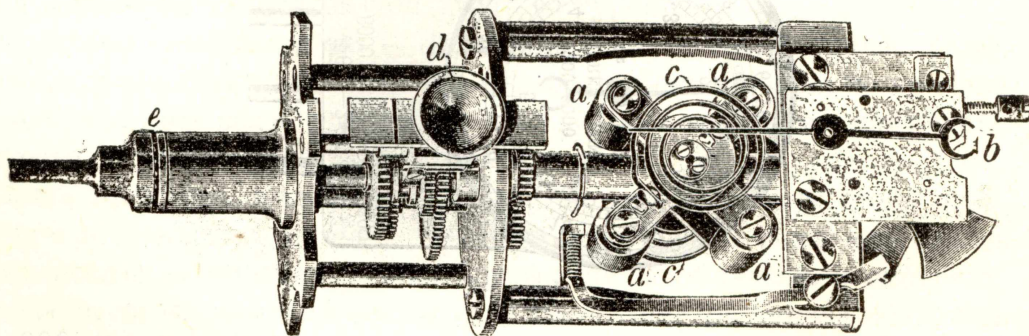
При пользованіи приборомъ надо обращать вниманіе, чтобы наконечникъ не скользилъ на кернѣ вала. Направленіе вращенія безразлично.

На черт. 34 представленъ приборъ усовершенствованной конструкціи: для включенія соотв. передачи между осью маятника и осью наконечника надо передвинуть расположенную сверху пуговку, при чемъ



Черт. 34.

черточка на связанной съ ней планочкѣ указываетъ, на какіе предѣлы приборъ въ данномъ случаѣ установленъ. Установка производится передъ нажатіемъ наконечника къ валу турбины, при чемъ надо слѣдить, чтобы измѣряемое число оборотовъ не было больше установленнаго въ данномъ случаѣ высшаго предѣла. Если число оборотовъ турбины неизвѣстно, то начинаютъ съ высшаго предѣла. Если при немъ стрѣлка не отклоняется, переключаютъ на слѣдующій, пока не получится желаемого отклоненія.

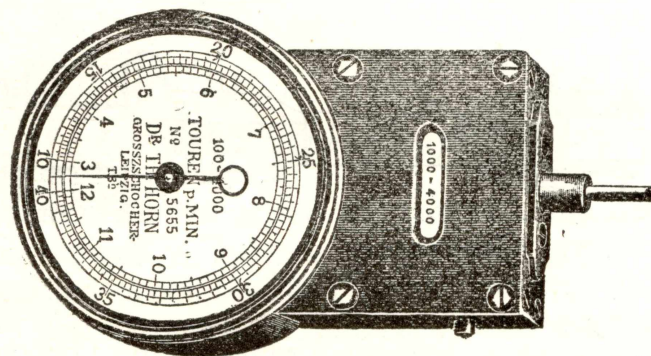


Черт. 35.

На черт. 35 изображенъ механизмъ этого прибора: *a, a*—четыре массивныхъ цилиндрика—маятника, расходящіеся при вращеніи и

перемѣщающіе зубчатую рейку, скрытую въ полѣ оси вращенія; рейка сцѣплена съ шестеренкой, на оси которой сидитъ стрѣлка *b*; *c, c* 2 пружинки, возвращающія въ начальное положеніе маятники и стрѣлку; *d* пуговка, за которую передвигаютъ зубчатые переборы для полученія соотв. передаточнаго числа между осями; для уменьшенія тренія и изнашиванія упорный подшипникъ *e*, воспринимающій силу нажатія на валъ, сдѣланъ на шарикахъ.

Въ настоящее время существуютъ еще болѣе удобныя конструкции съ автоматической установкой требуемыхъ предѣловъ измѣренія. Въ однихъ приборахъ это достигается дѣйствіемъ центробѣжной силы маятниковъ, отжимающей соотв. защелку, при чемъ освобождающаяся пружинка переключаетъ соотв. передаточный механизмъ для высшихъ предѣловъ. Въ упрекъ этой конструкции можно поставить излишнюю сложность и хрупкость. Въ другихъ приборахъ, какъ у изображеннаго на черт. 36, идея автоматической установки состоитъ въ томъ, что для



Черт. 36.

надежнаго фрикціоннаго соединенія оси наконечника съ осью маятниковъ при большемъ числѣ оборотовъ наконечника достаточно меньшей силы нажатія, чѣмъ при меньшемъ числѣ оборотовъ.

Въ приборѣ по черт. 36 пружина отжимаетъ наружу салазки съ передаточными колесками. Если нажать слегка наконечникъ прибора на торецъ вращающагося вала, то ось почти не перемѣщается, но механизмъ включенъ для высшей области измѣренія. Если при этомъ стрѣлка не стронется, то это показываетъ, что измѣряемое число оборотовъ ниже. Тогда увеличиваютъ нажатіе, салазки немного передвигаются и соединяютъ слѣдующую болѣе быструю передачу и соотв. болѣе низкую область измѣренія. Еще болѣе сильное нажатіе включаетъ слѣдующую болѣе низкую область и т. д. Если нажатіе уменьшить, пружинка выдвинетъ салазки впередъ и устанавливаетъ приборъ на высшее число оборотовъ.

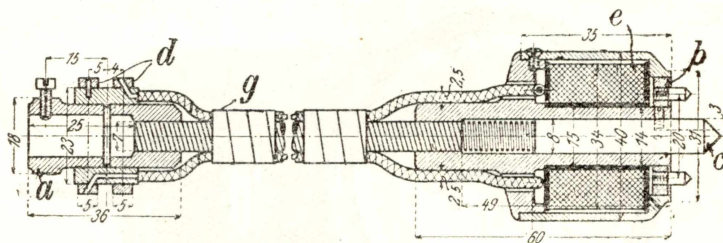
Вмѣстѣ съ передвиганіемъ оси въ окошечко выскакиваетъ табличка съ соотв. предѣлами измѣренія. Такъ, приборъ по черт. 36 имѣетъ 3 области: 1000—4000, затѣмъ 300—1200 и, наконецъ, 100—400. Показанная снизу собачка служитъ для того, чтобы при желаніи закрѣ-

пить известную область измѣренія, для чего собачку немного отжимаютъ въ сторону.

Ручные тахометры съ маятниками дѣлаются нормально до 12000 обор./мин., но есть приборы и до 16000 и даже до 24000, что достигается включеніемъ соотв. передачъ.

Особое присоединеніе. При нажатіи тахометра къ валу отъ руки его можно, кромѣ тахометровъ съ автоматической установкой области измѣренія въ родѣ изображеннаго на черт. 36, прижать слухомъ сильно, что вызываетъ излишне быстрое изнашиваніе, а также отражается на его чувствительности и точности, или слишкомъ слабо, тогда показанія будутъ ниже дѣйствительныхъ.

Чтобы избѣжать этихъ недостатковъ, особенно для присоединенія болѣе точныхъ контрольных тахометровъ, можно пользоваться слѣдующимъ электромагнитнымъ сцѣпленіемъ, черт. 37⁵⁾: ось тахометра



Черт. 37.

зажимается во втулкѣ *a*, которая соединена при помощи гибкаго вала *g* съ дискомъ *b*, имѣющимъ два штифта. Приборъ приставляется къ торцу вала турбины при помощи керна *c*; затѣмъ пускается постоянный токъ, который, поступая по одному изъ скользящихъ кольцевыхъ контактовъ *d*, проходитъ въ электромагнитъ *e* и возвращается по другому контакту *d*; электромагнитъ *e* притягивается къ торцу вала, kernъ *c* вдавливаются, сжимая спиральную пружинку, и штифты *b* попадаютъ въ соотв. отверстія въ торцѣ вала. Электромагнитъ даетъ лишь присоединеніе, а крутящій моментъ передается этими штифтами безъ всякаго осевого давленія на тахометръ.

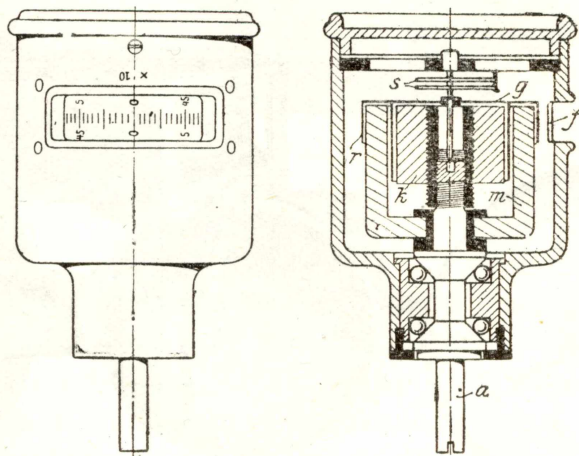
Другіе ручные тахометры.—Кромѣ тахометровъ съ грузами, нѣкоторые заводы изготовляютъ приборы съ вихревыми токами. Идея этихъ приборовъ совершенно одинакова съ описанными выше постоянными тахометрами. Нѣкоторая разница лишь въ конструкціи, главнымъ образомъ въ отсутствіи стрѣлки и примѣненіи подвижной шкалы.

На черт. 38 и 39 изображены наружный видъ и сѣченіе такого ручнаго тахометра⁶⁾: колоколообразный стальной магнитъ *m* и желѣзная сердцевина *k* прикрѣплены къ оси *a* при помощи магнитной изоляціи.

⁵⁾ Z.V.d.I. 1910, S. 2174.

⁶⁾ Forsch. H. 100, S. 76.

Въ кольцевое пространство между магнитомъ и сердцевинной заходитъ легкій алюминиевый колоколъ *g*, ось котораго упирается однимъ концомъ въ углубленіе въ концѣ оси *a*, другимъ—въ неподвижную рамку. Съ колоколомъ *g* связано кольцо *r*, на которомъ нанесены шкалы дѣлений, наблюдаемые черезъ окошечко *f* съ нитью посрединѣ. Двѣ спиральныхъ пружинки *s*, завитыя въ противоположныя стороны, прикрѣплены



Черт. 38 и 39.

однимъ концомъ къ оси колокола, другимъ—къ неподвижной рамкѣ. Шкалы для лѣваго и праваго направленія вращенія общія, но для одной цифры идутъ отъ общаго 0 слѣва, для другой—справа, что иногда сбиваетъ при отчетахъ, особенно при числѣ оборотовъ, близкомъ къ срединѣ шкалы, напр. для изображеннаго на черт. 38 и 39 прибора, показывающаго отъ 0 до 500, около 250 обор.; при отчетѣ надо помнить, въ какую сторону двигалась шкала отъ 0.

Въ общемъ приборъ довольно точенъ. Для очень большихъ чиселъ оборотовъ, не говоря уже о нѣсколькихъ областяхъ измѣренія, его нельзя строить, что существенно мѣшаетъ его распространенію.

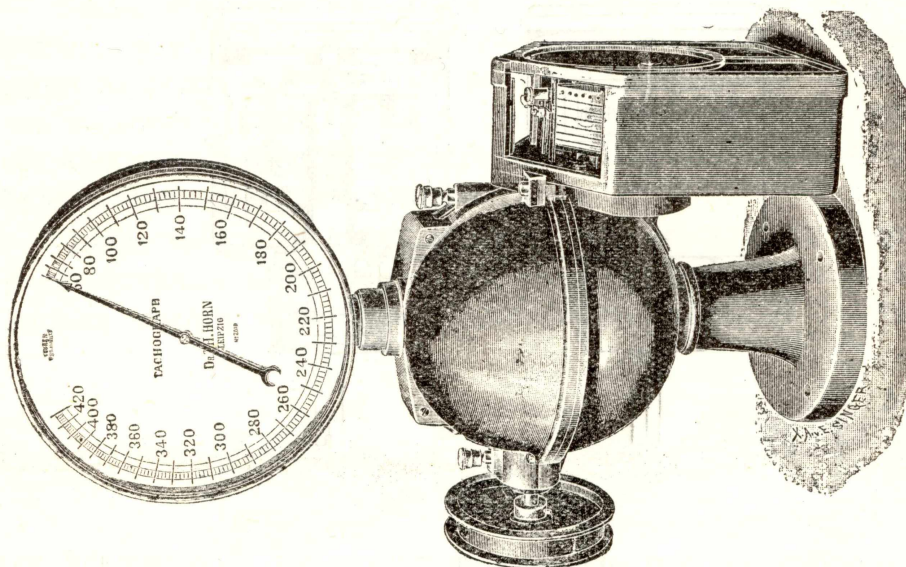
Хотя существуютъ, но не пользуются распространеніемъ вслѣдствіе своей громоздкости и тяжеловѣсности, а также узости предѣловъ измѣренія ручные бифлюидъ—тахометры, которыхъ мы поэтому и не приводимъ.

6. Тахографы.—Тахографомъ называется приборъ, измѣряющій скорость вращенія машины, съ самопишущимъ приспособленіемъ. Назначеніе тахографа записывать колебанія скорости вращенія.

Вращеніе паровыхъ турбинъ, даже тихоходныхъ, настолько равномерно, что скорость колеблется замѣтно только при измѣненіяхъ нагрузки.

Тахографы можно разбить на двѣ основныхъ группы: на описанные выше тахометры, снабженные самопишущимъ приспособленіемъ, и собственно тахографы, специально конструированные, особенно чувствительные приборы. Начнемъ съ первыхъ.

Тахометры съ записью. Это почти исключительно приборы съ центробѣжными маятниками. Они пользуются распространеніемъ преимущественно въ качествѣ контрольных приборовъ на большихъ станціяхъ. Собственно для испытанія степени регулируемости машины при измѣненіи нагрузки они дають нѣсколько мелкую діаграмму, но все же особые типы изъ нихъ примѣнимы и для этой цѣли.



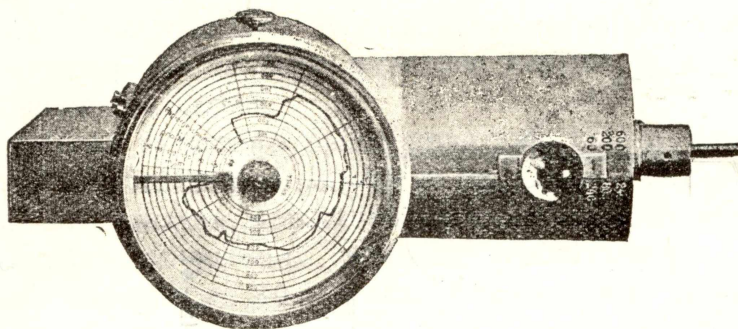
Черт. 40.

На черт. 40 изображенъ образецъ такого прибора, изготовляемый заводомъ Горна; для паровыхъ турбинъ онъ дѣлается лишь съ другой областью измѣренія и съ болѣе тѣсными предѣлами около $\pm 10\%$ отъ средняго числа, соотвѣтствующаго нормальному числу оборотовъ данной турбины.

Ползушка, къ концу которой прикрѣплено особое перо, перемѣщается тѣмъ же отклоненіемъ центробѣжныхъ маятниковъ, что и стрѣлка. Перо состоитъ изъ небольшого цилиндрическаго сосудика съ тонкимъ волоснымъ отвѣрстіемъ и трубкой внизу. Запись производится на бумажной лентѣ, шириною въ 60 мм., общей длиною въ 50 м., перематываемой при помощи часового механизма съ одной катушки на другую. Скорость движенія бумаги можно устанавливать по желанію, передвигая особый рычажокъ, отъ 0 до 10 мм./мин. Масштабъ ординатъ 1 мм. = $0,5\%$ отъ средняго числа оборотовъ. Приводить тахографъ во вращеніе удобнѣе всего при помощи ременной передачи.

При приѣмочныхъ испытаніяхъ опредѣленіе регулируемости турбины можно производить также и ручнымъ тахографомъ, черт. 41. Это тотъ же ручной тахометръ, лишь болѣе большихъ размѣровъ, соединенный съ пишущимъ приспособленіемъ и часовымъ механизмомъ. При возрастаніи скорости перо удаляется отъ центра. Средняя скорость на тахограммѣ 120 мм./мин. при діаметрѣ бумажнаго кружечка въ 90 мм. Предѣлы скорости удобно заказывать заводу отъ 1 до $1\frac{1}{2}$ -наго; напр., при 3

областях: 1000—1500, 1400—2100 и 2000—3000 обор./мин. Масштабъ скоростей получается въ этомъ случаѣ 0,75 мм.=1%. Всѣхъ прибора около 1 кгр..



Черт 41.

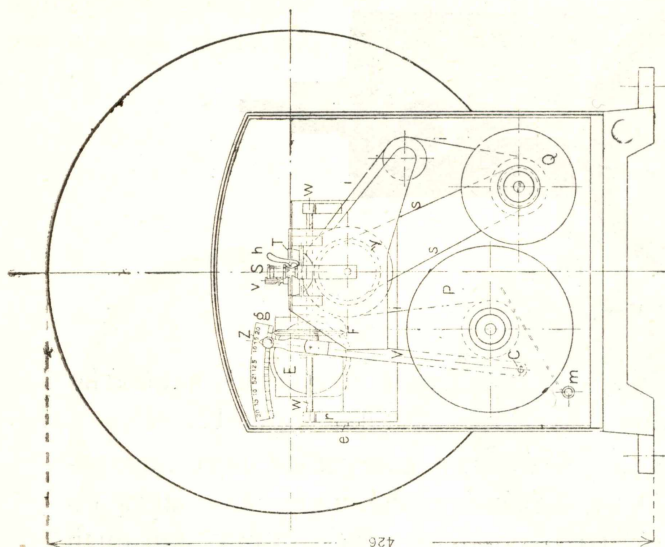
Тахографъ Горна. Для сниманія болѣе точныхъ діаграммъ наиболѣе удобнымъ является общеизвѣстный тахографъ Горна, черт. 42—45.

Черт. 42 даетъ видъ сбоку съ разрѣзанными кожухами надъ центробѣжнымъ маятниками и пишущимъ механизмомъ; черт. 43—видъ съ конца на пишущій механизмъ съ разрѣзомъ по его кожуху, который во время работы прибора снимается, черт. 44—видъ сверху тоже съ разрѣзанными кожухами, а черт. 45—перспективный видъ, при чемъ оба кожуха изображены условно прозрачными, какъ бы стеклянными.

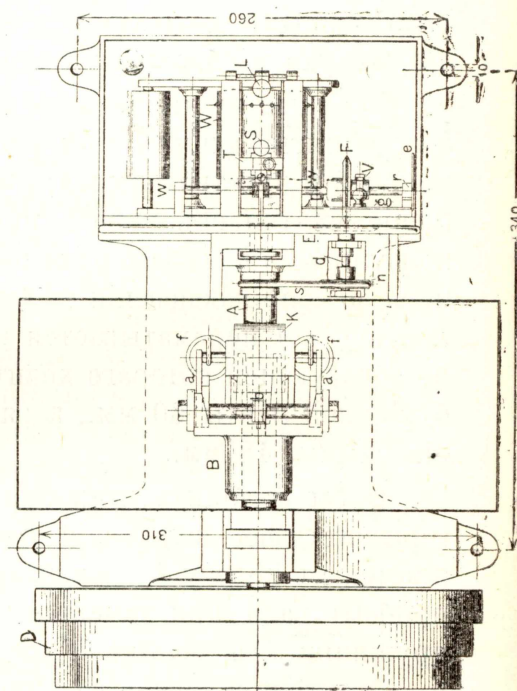
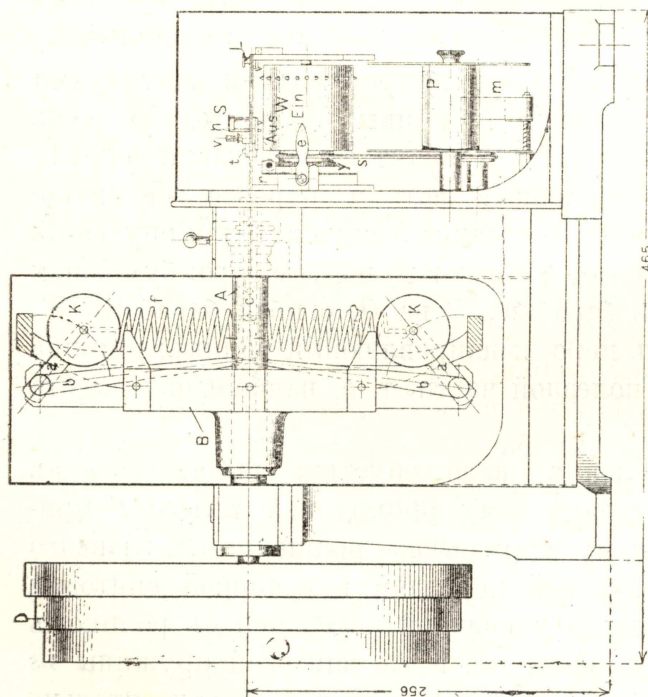
По существу это тотъ же тахометръ съ центробѣжными маятниками k, k , растягивающими при расхожденіи прижины f, f , но только очень мощный и чувствительный; рычажный механизмъ b, c передаетъ перемѣщеніе маятниковъ черезъ просверленный валъ и шаровое соединеніе ползушка t съ особаго вида перомъ S ; собачка h служитъ для опусканія пера до соприкосновенія съ бумагой и обратнаго подъема его; бумажная лента i, i, i перематывается съ барабана P на Q , огибая барабанъ W , по образующей котораго ходитъ перо, и направляющій роликъ; ширина бумажной ленты 60 мм., а ея полезной части, т. е. наибольшая высота діаграммы, 48 мм..

Чтобы сообщить движеніе лентѣ, надо опустить рычажокъ e въ горизонтальное положеніе, благодаря чему фрикціонное колесо F прижмется къ колесу E , получающему непрерывное вращеніе отъ главнаго прибора вала при помощи шнуровой передачи изъ тонкой винтовой пружинки. Ось ролика F соединена червячной передачей съ роликомъ y , а послѣдній вращаетъ при помощи такой же винтовой пружины s, s роликъ Q ; рычагъ V служитъ для перестановки колеса F относительно оси колеса E : чѣмъ ближе къ центру, тѣмъ меньше скорость движенія бумаги. Средняя скорость главной оси прибора съ маятниками должна быть установлена на 500 обор./мин.; столь значительная скорость дѣлаетъ приборъ достаточно мощнымъ при неособенно тяжелыхъ маятникахъ, что, въ свою очередь, обеспечиваетъ достаточную чувствительность его.

Скорость бумаги можно устанавливать отъ 1 до 20 мм./сек., на что указываетъ стрѣлка *Z* на шкалѣ *g*. Колесо *F* ставится справа или слѣва отъ оси колеса *E* въ зависимости отъ направленія вращенія.



Чет. 42-44.

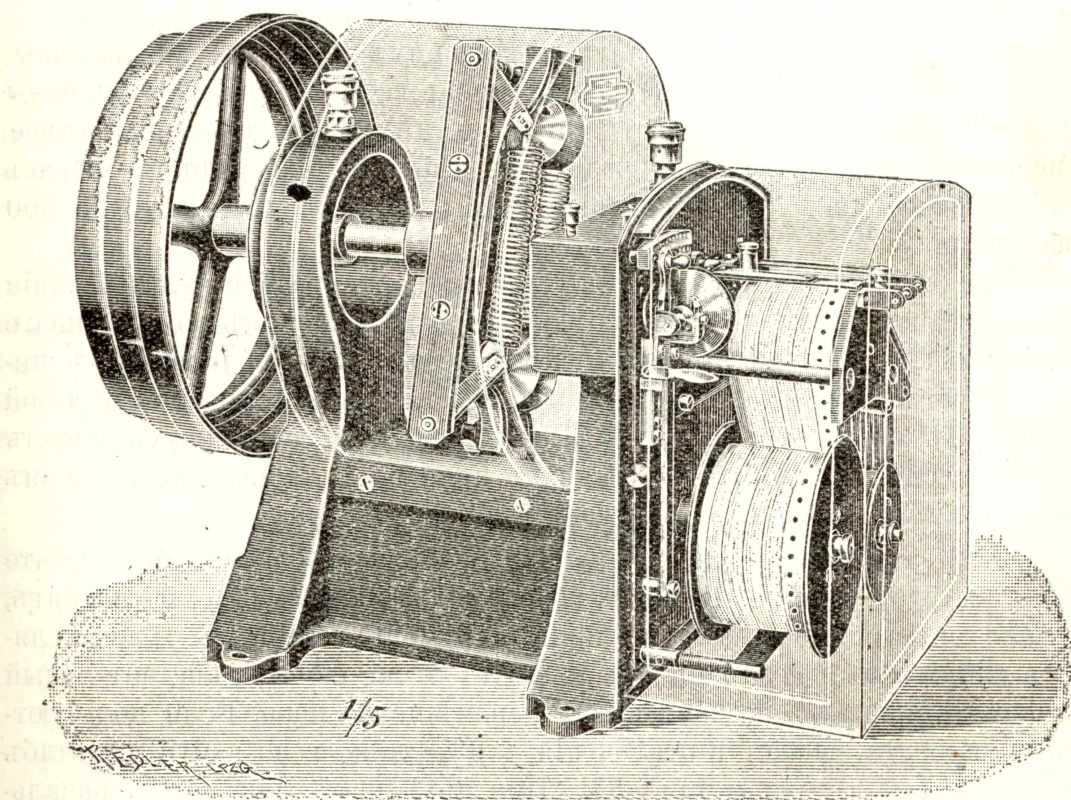


Чтобы отмѣчать на тахограммѣ извѣстные моменты, напр., измѣненіе нагрузки, имѣется ударникъ *L*, который при быстромъ нажатіи даетъ на бумагѣ точку; приводится онъ въ дѣйствіе или прямо рукой или при помощи электромагнитовъ, черезъ которые пускается токъ въ нужные моменты.

Чтобы получить требуемое среднее число 500 обор./мин. при приборѣ имѣется обыкновенно наборъ легкихъ алюминиевыхъ ступеньчатыхъ шкивовъ, по три діаметра на общей втулкѣ, отъ 209 до 500 мм черезъ 5%. Ради большей чувствительности прибора надо стараться, чтобы окружное усилие было возможно меньше, т. е. брать возможно большой діаметръ шкива.

Съ турбиной тахографъ соединяется при помощи ремня или тканой полотняной ленты, дающей возможно малую вытяжку. Сшивка должна быть возможна гладкая, незамѣтная, у ремня же надо концы склеивать.

Ведущій шкивъ на валу турбины можно ставить самый легкій, небольшой ширины въ 30—50 мм. Важно лишь, чтобы шкивъ былъ совершенно круглъ, нисколько не билъ. Удобно пользоваться деревяннымъ шкивомъ, склеивъ его просто изъ двухъ взаимно перпендикулярныхъ рядовъ дюймовыхъ досокъ и провѣривъ его послѣ закрѣпленія



Черт. 45.

на валу—проточивъ на ходу машины. Прикрѣплять его часто удобнѣе прямо къ торцу свободнаго конца вала турбины. Часто вмѣсто шкива можно воспользоваться муфтой или даже просто гладкой частью вала, если его діаметръ при данномъ числѣ оборотовъ даетъ требуемую скорость тахографу съ однимъ изъ его нормальныхъ шкивовъ.

Мѣсто на валу, отъ котораго берется вращеніе, у паровыхъ турбинъ въ виду равномерности ихъ вращенія не имѣетъ существеннаго

значенія. У турбодинамъ нужно лишь избѣгать брать вращеніе отъ вала динамо, если послѣдняя соединена съ турбиной упругой муфтой.

Хорошій тахографъ имѣетъ обыкновенно наборъ пружинъ разной жесткости для наибольшей неравномѣрности въ $\pm 3, \pm 6$ и даже 12% . Послѣдними приходится пользоваться при описанныхъ ниже опытахъ замедленнаго вращенія для опредѣленія величины механическихъ сопротивленій.

Тахографы Горна дѣлаются и съ совершенно равномѣрной подачей бумаги при помощи часового механизма, но для турбинъ ими приходится пользоваться лишь при упомянутыхъ опытахъ съ замедленнымъ вращеніемъ.

Провѣрка тахографа Горна. Хотя описанный приборъ отличается очень продуманной и цѣлесообразной конструкціей и тщательнымъ исполненіемъ, однако для болѣе точныхъ изслѣдованій все же полезно проверить его, точнѣе сказать, установить масштаб ординатъ тахограммъ, т. е. дѣленій графленой бумажной ленты.

Провѣрку эту авторъ дѣлаетъ слѣдующимъ образомъ: отъ машины, вращающейся возможно равномѣрно, лучше всего отъ паровой турбины или быстроходнаго электродвигателя, и дѣлающей точно извѣстное число оборотовъ въ мин., приводятъ въ дѣйствіе тахографъ, подобравъ передаточное число шкивовъ такъ, чтобы приборъ дѣлалъ точно 500 обор./мин.

Если остріе пера при этомъ не установится на средней нулевой линіи тахограммной ленты, то передвигаютъ перо на ползушкѣ до указаннаго совпаденія, или, если это оказывается невозможнымъ, измѣняютъ число оборотовъ вала тахографа, пока перо не станетъ противъ нулевой линіи. Въ послѣднемъ случаѣ при подсчетѣ передаточныхъ чиселъ для привода тахографа для даннаго прибора и комплекта пружинъ берутъ вмѣсто 500 обор. полученное число.

Послѣ этого переводятъ ремень на сосѣднюю ступень шкива, что соотвѣтствуетъ измѣненію числа оборотовъ прибора на 5% , и смотрятъ, встало ли остріе пера на соотв. линію на бумагѣ; если нѣтъ, то вычисляютъ поправочный коэффициентъ или, что то же самое, дѣйствительный масштаб ординатъ по найденному перемѣщенію пера. Если пользуются пружинами, дающими отклоненія $\pm 6\%$, то полезно найти масштабъ для $+ 5\%$, а затѣмъ и для $- 5\%$. При пружинахъ для $\pm 3\%$ начальное положеніе пера приходится, конечно, брать не на 0, а близъ одного изъ краевъ ленты, иначе отклоненіе въ 5% , обусловливаемое разницей въ діаметрахъ ступеньчатаго шкива, не помѣстится на тахограммѣ. Діаметры шкивовъ полезно также проверить, и если разница случайно отличается отъ $\pm 5\%$, то принять во вниманіе.

Указанія для пользованія. Перо, состоящее изъ волосной металлической трубки, очень легко засоряется. Поэтому рекомендуется брать особые, не окисляющія металлъ, жидкія чернила и каждый разъ послѣ

пользования выливать изъ сосуда у пера остатокъ чернилъ и хорошенько промывать все перо водой, продувать трубку и, если нужно, прочищать ее приложенной къ прибору тонкой иглой.

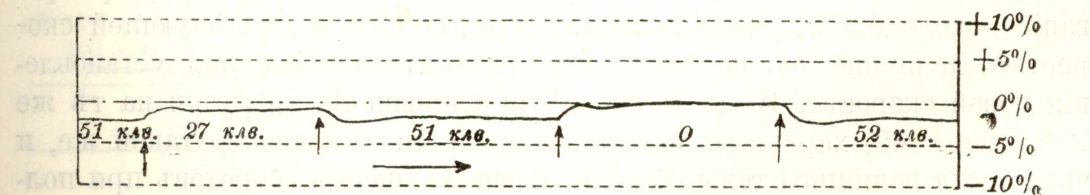
Перо засаривается такъ легко, что при приборѣ имѣется запасное для быстрой замѣны, чтобы не прерывать опыта.

Затѣмъ надо слѣдить за надлежащей смазкой всѣхъ частей, пускать масло въ соотв. отверстія. Въ два главныхъ подшипника съ кольцевой смазкой надо наливать достаточно масла, а послѣ испытанія спускать его черезъ особые краники. Масло надо брать такое же не густѣющее, какъ выше указано для тахометровъ.

Чтобы подшипники не срабатывались, ремень отъ турбины не надо натягивать слишкомъ туго, а для уничтоженія скольженія полезно слегка посыпать шкивы, особенно малый ведущій, мелко истолченной канифолью. Полотняная лента хороша именно тѣмъ, что, будучи, достаточно гибкой и достаточно прочной, не можетъ дать излишняго натяженія.

Точность прибора. Хотя массы движущихся частей прибора сведены благодаря примѣненію алюминія и стали до наименьшей возможной величины сравнительно съ живой силой грузовъ, тѣмъ не менѣе перо прибора нѣсколько отстаетъ отъ дѣйствительныхъ измѣненій скорости машины. Запоздываніе происходитъ отъ двухъ причинъ: съ одной стороны, отъ передачи—упругости ремня или ленты и живой силы шкива на приборѣ, съ другой, же отъ инерціи грузовъ и остальныхъ движущихся частей прибора. Эти обстоятельства вліяютъ на тахограмму въ смыслѣ ея сглаживанія; колебанія скорости, найденныя по тахограммѣ, можно считать немного преуменьшенными. Что касается смѣщенія абсциссъ, отставанія записи, то оно, имѣя примѣрно одинаковую величину для начала и конца явленія, на точности тахограммъ практически не отражается.

Образцы тахограммъ. На черт. 46 данъ снимокъ тахограммы, снятый съ турбодинамо Лаваля, развивающей нормально 100 клв. при 1050 обор./мин. динамо, съ пыпускомъ пара въ атмосферу⁷⁾. Какъ

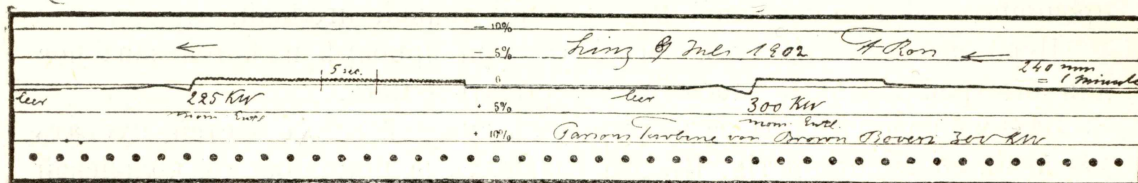


Черт. 46.

видимъ, при мгновенномъ измѣненіи нагрузки отъ 0 до $\frac{1}{2}$ и обратно измѣненіе числа оборотовъ немного болѣе 2%; при измѣненіи нагрузки отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{4}$ и обратно до $\frac{1}{2}$ —измѣненіе всего около 1%.

⁷⁾ К. Мewes, Dampfturbinn, Berlin 1904. S. 243.

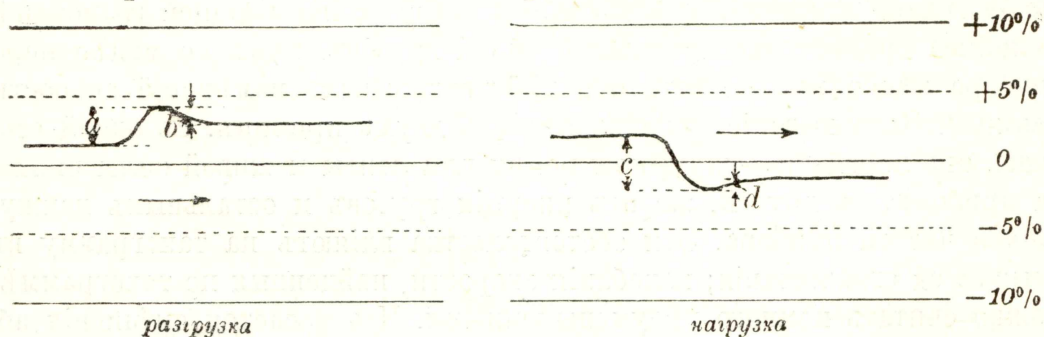
При работѣ турбинъ Лавали съ холодильникомъ тахограммы обнаруживаютъ еще меньшія колебанія.



Черт. 47.

На черт. 47 изображенъ уменьшенный въ 3 раза фотографическій снимокъ съ тахограммы турбодинамо Парсонса завода Браунъ-Бовери и К-ія въ 300 квл., дѣлающей 2700 обор./мин.⁸⁾ Тахограмма показываетъ, что число оборотовъ при полной нагрузкѣ и холостомъ ходѣ разнится лишь на 2%; при мгновенномъ измѣненіи нагрузки отъ полной до 0 бросокъ скорости достигаетъ 3%, но черезъ 3,5 сек. онъ уже сглаживается, а черезъ 6 сек. скорость устанавливается совершенно.

На черт. 48 и 49 показаны тахограммы, снятыя въ 1900 г. съ англій-



Черт. 48 и 49.

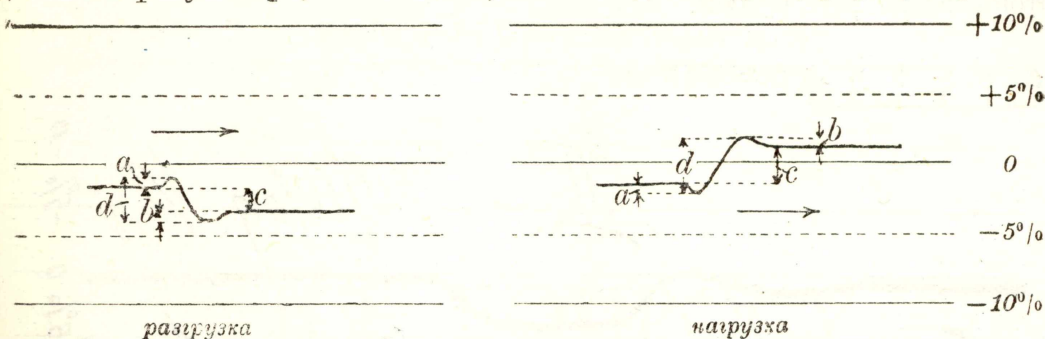
ской турбодинамо Парсонса въ 1000 квл. при работѣ турбины съ центробѣжнымъ регуляторомъ⁹⁾; среднее нормальное число оборотовъ 1500. Нагрузка мѣнялась на 25% отъ нормальной. Бросокъ, ордината a , составлялъ до 1,8% отъ нормальной скорости; величина b —перерегулирование—около 0,8%; разность между предыдущей и послѣдующей скоростью, величина $a-b$, не болѣе 1%. Время, потребное для установленія новой скорости, 10 до 15 сек.. При уменьшеніи нагрузки на тѣ же 25%, черт. 49, характеръ явленія получается совершенно такой же, и численныя величины тоже близкія. Разность чиселъ оборотовъ при полной нагрузкѣ и холостомъ ходѣ составляла около 4%.

При работѣ той же турбодинамо съ электрическимъ регуляторомъ были сняты интересныя тахограммы, черт. 50 и 51. Какъ видимъ, характеръ ихъ какъ разъ обратный нормальному регулированию: съ уве-

⁸⁾ Z.V.d.I. 1902, S. 1169.

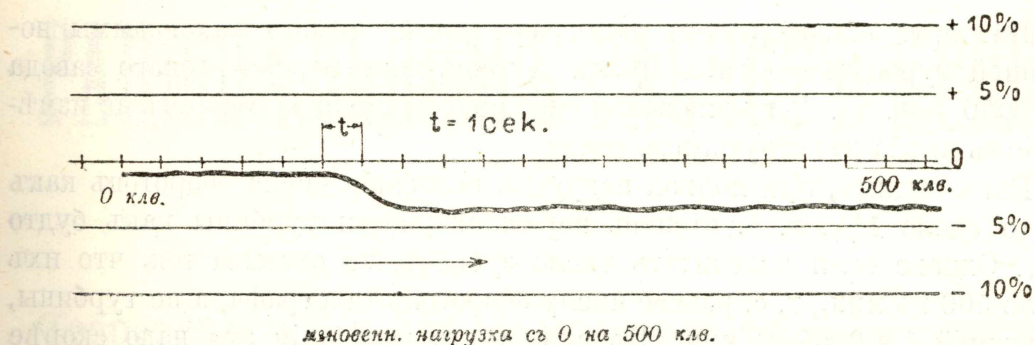
⁹⁾ Z.V.d.I. 1900, S. 883.

личеніемъ нагрузки число оборотовъ возрастаетъ, и наоборотъ. При послѣдовательномъ измѣненіи нагрузки на 25% отъ нормальной, наибольшій бросокъ, величина d , составляла около 1,3%; бросокъ до воздѣйствія регулятора, величина a , отъ 0,2 до 0,3%. Перерегулирование,

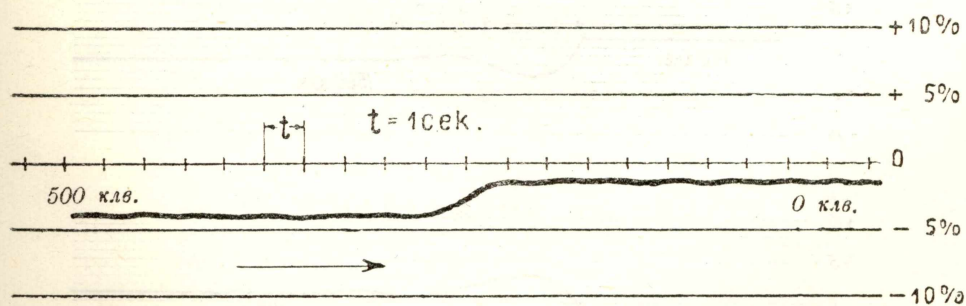


Черт. 50 и 51.

величина b , тоже отъ 0,2—0,3%. Разность установившихся чиселъ оборотовъ до и послѣ измѣненія нагрузки, величина c , составляла всего около 0,8%.



мгновенн. нагрузка съ 0 на 500 клв.



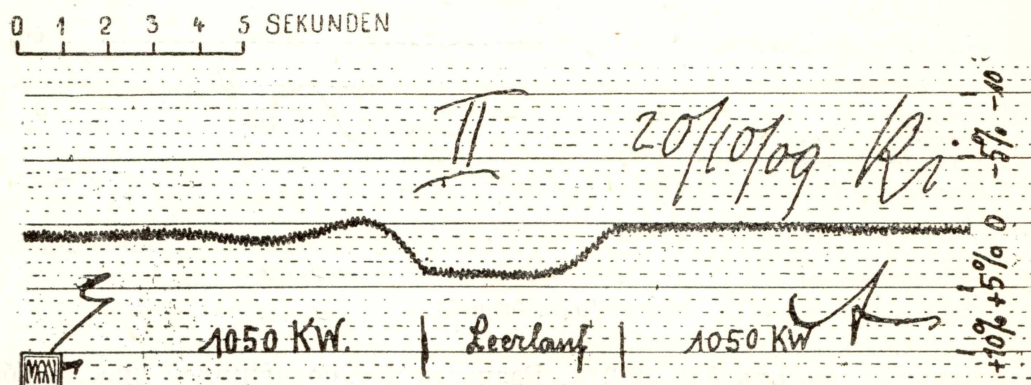
мгновенн. разгрузка съ 500 клв. на 0.

Черт. 52 и 53.

На черт. 52 и 53 изображены тахограммы турбодинамо В. К. Э.—Кертисъ (Всеобщей Компаніи Электричества—А. Е. Г.) въ 500 клв., снятыя въ 1904 г.¹⁰⁾. Турбина регулировалась измѣненіемъ числа ра-

¹⁰⁾ Z.V.d.I. 1904, S. 1212.

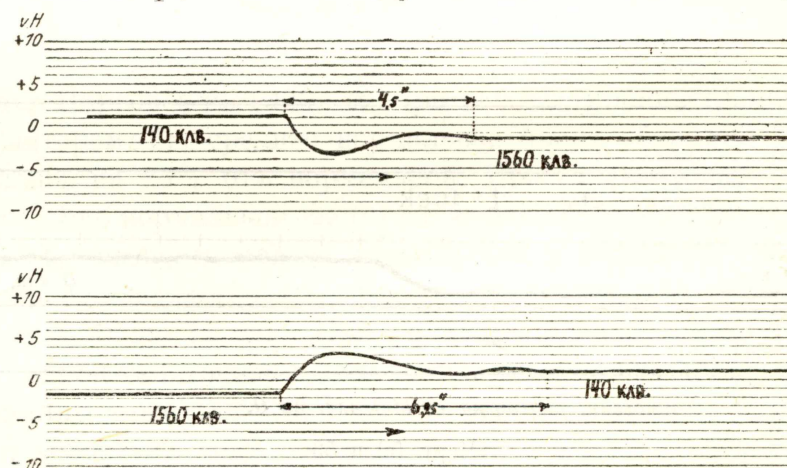
бочихъ сопелъ. При быстромъ измѣненіи отъ 0 до полной нагрузки или обратно колебаніе числа оборотовъ всего 3%. Перерегулированія не наблюдается вовсе. Время, потребное для установленія новаго числа оборотовъ, всего 2—2½ сек.



Черт. 54.

На черт. 54 изображенъ фотографическій снимокъ тахограммы новейшей турбодинамо типа Цёлли Аугсбургско-Нюрнбергскаго завода въ 1050 кв. ¹¹⁾. Регулированіе турбины смѣшанное мятіемъ и измѣненіемъ числа дѣйствующихъ сопелъ.

Какъ видимъ, при полной нагрузкѣ колебаніе числа оборотовъ какъ будто около 1%, т. е. степень неравномѣрности турбины какъ будто $\frac{1}{100}$. Однако если подсчитать число зубцовъ, то оказывается, что ихъ около 500 въ мин., т. е. равное числу оборотовъ тахографа, а не турбины, дѣлавшей 1500 обор./мин.. Въ виду этого колебанія эти надо скорѣе



Черт. 55 и 56.

отнести за счетъ нѣкоторой неисправности тахографа, вѣрнѣе, приведенія его въ дѣйствіе.

¹¹⁾ каталогъ завода M.A.N. Mitteilung Nr. 20, S. 14.