

ИЗВѢСТІЯ

Томскаго Технологическаго Института

Императора Николая II.

т. 14. 1909. № 2.

Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленій на плоской пятѣ.

В. Н. Пинегинъ.

v.

В. Н. Пинегинъ.

ОПЫТЪ ИЗСЛѢДОВАНІЯ РАСПРЕДѢЛЕНІЯ ДАВЛЕНІЙ НА ПЛОСКОЙ ПЯТѢ.

Съ тремя таблицами чертежей.

1—34.

Какъ собственныя этихъ приложеній, получимъ слѣдующее очевидное равенство

$$\frac{P}{\cos \varphi} = \text{Const.}$$

где φ — уголъ, образуемый нормально къ данному элементу поверхности пятъ съ осью вращения ея. Выше написанное равенство и еще очевидное соотношение

$$P = \int p \cos \varphi dF.$$

1) Th. Reye, Cylindrogenese, 1889, Heft 3 u. 4.

2) Grashof, Zeit. f. Ver. d. Ing. 1881, p. 200, aus Theoretisch-Pract. Maschin. 1883, Heft 2, S. 248.

Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленій на плоской пятѣ.

В. Н. Пинегинъ.

Вопросъ о распредѣленіи давленія въ плоской пятѣ, если не считать предположенія о равномерномъ распредѣленіи, принимаемого для совершенно новыхъ пятъ, до сихъ поръ въ технической литературѣ трактуется въ большинствѣ случаевъ на основаніи теоріи работы пяты, данной еще Th. Reye¹⁾ и почти одновременно Grashof'омъ²⁾.

Какъ извѣстно, теорія эта основывается, съ одной стороны, на предположеніи независимости коэффиціента тренія отъ давленія и скорости, а съ другой стороны, на предположеніяхъ, что а) на всѣхъ элементахъ (df) трущейся поверхности пяты расходуется на истираніе частицъ пяты и подпятника одинаковая часть всей работы тренія и притомъ пропорціональная py , гдѣ p —нормальное давленіе на элементъ трущейся поверхности, а y —разстояніе этого элемента отъ оси вращенія; б) отношеніе нормальныхъ износовъ пяты и подпятника въ любомъ мѣстѣ есть величина постоянная и с) результирующее истираніе на всѣхъ элементахъ пяты по направленію полной нагрузки P пяты должно быть одинаково.

Какъ слѣдствіе этихъ предположеній, получимъ слѣдующее очевидное равенство

$$\frac{py}{\cos \varphi} = \text{Const},$$

гдѣ φ —уголъ, дѣлаемый нормалью къ данному элементу поверхности пяты съ осью вращенія ея. Выше написанное равенство и еще очевидное соотношеніе

$$P = \int p \cos \varphi df,$$

¹⁾ Th. Reye. Civilingenieur. 1860. Heft 3 и 4.

²⁾ Grashof. Zeit. d. Ing. 1861. p. 200, или Theoretische Maschinenlehre. 1883. Bd. 2, s. 248.

гдѣ интеграль распространяется на всю трущуюся поверхность пяты, даютъ слѣдующее выраженіе для давленія на элементъ пяты:

$$p = \frac{P \cos \varphi}{y \int \frac{\cos^2 \varphi}{y} df},$$

въ примѣненіи къ плоской пятѣ выраженіе это приметъ видъ, если обозначимъ черезъ r_2 —радіусъ внѣшней окружности пяты:

$$p = \frac{P}{2 \pi r_2 y},$$

а это показываетъ, что распредѣленіе давленія въ пятѣ, по направленію ея радіуса можетъ быть изображено равнобокой гиперболой, для которой ось вращенія пяты служитъ асимптотой; въ центрѣ пяты давленіе должно быть бесконечно велико. Для кольцевой пяты аналогичнымъ образомъ найдемъ

$$p = \frac{P}{2 \pi (r_2 - r_1) y},$$

т. е. и здѣсь давленіе по направленію радіуса пяты распредѣляется по гиперболѣ, увеличиваясь къ краю внутренняго кольцевого вырѣза.

Опыты
Bach'a.

Между тѣмъ, опыты Bach'a ¹⁾ въ 1885 „надъ истираніемъ тѣлъ, вращающихся вокругъ своей оси и опирающихся на чугунную плиту“ показали, что дѣло обстоитъ въ дѣйствительности не совсѣмъ такъ: оказалось, что даже при хорошей смазкѣ трущихся тѣлъ сперва начинаютъ изнашиваться части, лежащія дальше отъ оси: трущаяся поверхность тѣла принимаетъ выпуклый видъ. Вслѣдствіе этого давленіе въ центральной части трущихся тѣлъ увеличивается; истираніе ихъ здѣсь дѣлается больше, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, кривизна поверхности пяты уменьшается, но какъ только поверхность ея сдѣлается болѣе или менѣе плоской, тотчасъ же начинаютъ болѣе изнашиваться части, болѣе удаленныя отъ оси, пята снова принимаетъ выпуклый видъ и т. д.

Такая смѣна истиранія частей пяты даетъ поводъ предполагать, что и распредѣленіе давленій по пятѣ должно мѣняться вмѣстѣ съ износомъ: при первоначальной фазѣ истиранія частицъ пяты, когда оно распространяется на слои, болѣе удаленные отъ оси, давленіе должно также увеличиваться съ удаленіемъ отъ оси. Съ теченіемъ времени, когда изнашивание пяты начинаетъ отъ краевъ приближаться къ центру, давленіе должно увеличиваться къ центру, но, по мѣрѣ стиранія

¹⁾ С. Bach. Die Maschinen-Elemente. 10 Auflage. 1908. S. 491.

центральныхъ слоевъ, опять здѣсь уменьшаться; такимъ образомъ, какъ будто максимальное давленіе должно съ теченіемъ времени передвигаться отъ краевъ пяты къ центру и обратно.

Вотъ все, что извѣстно въ настоящее время о распредѣленіи давленія въ плоской пятѣ. Прямыхъ опытовъ по этому вопросу мнѣ не извѣстно.

Tower, опытамъ ¹⁾ котораго мы обязаны болѣе или менѣе правильнымъ представленіемъ о распредѣленіи давленій въ цапфахъ, почему то не нашелъ нужнымъ заняться разрѣшеніемъ аналогичнаго вопроса для пяты, хотя опредѣленіе коэффициента тренія въ пятѣ онъ и производилъ.

Точно также и другія лица ²⁾, изслѣдовавшія треніе въ пятѣ, на распредѣленіи давленія на ней не останавливались.

Между тѣмъ, разрѣшеніе этого вопроса представляетъ не только чисто научный интересъ, но имѣетъ и практическое значеніе, въ виду все увеличивающагося распространенія плоскихъ (главнымъ образомъ, кольцевыхъ) пятъ все съ большими и большими средними давленіями въ турбиностроеніи, такъ какъ очевидно, что знаніе распредѣленія давленія въ пятахъ облегчитъ самое конструированіе ихъ въ отношеніи подвода смазки, охлажденія и проч.

Важность изслѣдованія вопроса о распредѣленіи давленій въ пятѣ.

Въ предлагаемой читателямъ статьѣ изложены результаты попытки, совершенной мною еще въ 1907 году во время заграничной командировки, къ разрѣшенію такого вопроса чисто опытнымъ путемъ, причемъ попутно дѣлались наблюденія надъ величиной тренія въ пятѣ.

Я, конечно, далекъ отъ мысли, что мною этотъ вопросъ разрѣшенъ вполне; напротивъ, я считаю, что еще много необходимо поработать въ этомъ направленіи, и въ размѣрахъ, болѣе широкихъ, чѣмъ я это имѣлъ возможность сдѣлать.

Дѣло въ томъ, что на первыхъ же шагахъ моей работы пришлось столкнуться съ большими затрудненіями, для преодоленія которыхъ необходимо было прежде всего время; его же у меня было немного, вслѣдствіе окончанія срока моей командировки; такъ, въ самомъ аппаратѣ для изслѣдованія работы пяты встрѣтились недостатки, препятствовавшіе повышать нагрузку пяты выше 47 kg/cm.², а число

Затрудненія при производствѣ опытовъ.

¹⁾ См. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1885, а также Engineer. 1884, s. 434, или Zeit. d. Ver. d. Ing. 1885, s. 836.

²⁾ Напр., Woodbury, производившій опыты съ кольцевой пятой при нагрузкахъ $p=0,07-2,8 \text{ kg./cm.}^2$ и при скоростяхъ, не превышающихъ 1,5 m/sk.; см. Zeit. d. Ver. d. Ing. 1885. S. 451, или Thurston. Friction and Lost Work in Machinery and Mill Work. New York. 1898.

оборотовъ вала выше 300 въ минуту; переконструировать же аппаратъ не было возможности вслѣдствіе вышеуказанной причины. Самые опыты требовали продолжительной работы аппарата, чтобы возможно было прослѣдить постепенный ходъ истиранія пяты; я же могъ удѣлить на опыты только два мѣсяца (на конструированіе аппарата и выполненіе его на заводѣ ушло около 6 мѣсяцевъ), что я считаю недостаточнымъ.

Поэтому, я считалъ бы свою задачу исполненной, если бы мнѣ удалось только показать, что разбираемый здѣсь вопросъ разрѣшимъ тѣмъ путемъ, который предпринялъ я, и дать хотя бы нѣсколько штриховъ съ той картины, которую въ дѣйствительности представляетъ распредѣленіе давленій въ пятѣ; детальное же, систематическое изслѣдованіе этого вопроса оставляю до другого, болѣе благопріятнаго времени.

Показать, что задача дѣйствительно рѣшается предлагаемымъ путемъ, тѣмъ болѣе важно, что путь этотъ возбудилъ первоначально въ окружающихъ меня лицахъ цѣлый рядъ возраженій въ смыслѣ непригодности его въ данныхъ условіяхъ.

Дѣло въ томъ, что способъ, который я примѣнилъ для изслѣдованія распредѣленія давленій въ различныхъ точкахъ пяты, есть не что иное, какъ способъ Tower'a, примѣненный имъ при изслѣдованіи распредѣленія давленій въ цапфѣ; и вотъ, мнѣ главнымъ образомъ пришлось слышать возраженіе, что при изслѣдованіи давленій въ цапфахъ способъ этотъ былъ умѣстенъ и могъ дать реальные плоды, въ примѣненіи же къ пятѣ онъ дать какихъ либо положительныхъ результатовъ не можетъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ нѣтъ тѣхъ благопріятныхъ условій, въ силу которыхъ въ цапфахъ масло вгонялось по трубкамъ въ манометры и заставляло ихъ показывать давленія въ соотвѣствующихъ мѣстахъ.

Если, все же, нижеописанные опыты я могъ произвести, то только благодаря любезности проф. Eugen Meyer'a, въ лабораторіи котораго произведены настоящіе опыты, и который, несмотря на свои сомнѣнія сперва относительно возможности опредѣленія предложеннымъ путемъ давленій, согласился дать средства на осуществленіе этихъ опытовъ.

Поэтому, я здѣсь же, пользуясь случаемъ, приношу мою искреннюю благодарность проф. Eugen Meyer'у за оказанныя мнѣ въ данномъ случаѣ въ высшей степени любезное содѣйствіе и поддержку.

Приступая къ изслѣдованію распредѣленія давленій въ пятѣ, и, попутно, тренія, мнѣ прежде всего пришлось позаботиться о соотвѣствующемъ аппаратѣ. Такой аппаратъ, при любезномъ содѣйствіи проф. Eugen Meyer'a, а также его ассистента D-ra Schmoll von Eisenwerth'a, и былъ спроектированъ мною.

Изготовленный на заводѣ Berliner Aktiengesellschaft für Eisengisse-
rei und Maschinenfabrikation въ Шарлоттенбургѣ аппаратъ этотъ имѣлъ
въ общихъ чертахъ слѣдующее устройство.

Въ чугунной станинѣ А (Табл. I) помѣщается вертикальный валъ
11, несущій на себѣ шкивъ 1 съ надѣваемымъ на него для сообщенія
вращенія валу ремнемъ отъ мотора. Валъ 11, нижняя торцевая поверх-
ность котораго и служить поверхностью пяты, опирается на систему
связанныхъ между собою извѣстнымъ образомъ (см. ниже) плашекъ,
играющихъ роль подпятника. Послѣднія покоятся на трехъ довольно
длинныхъ цилиндрическихъ стержняхъ 30, имѣющихъ закаленные ко-
нусообразные концы, помѣщенные въ закаленныхъ же углубленіяхъ
плашекъ 28 и 29. Такая конструкція была примѣнена по совѣту проф.
Meyer'a съ цѣлью упрощенія измѣренія тренія въ пятѣ, какъ это
увидимъ ниже.

Общій видъ
аппарата.

На валъ 11 посредствомъ рычага R, одинъ конецъ котораго упи-
рается въ призму 22, скрѣпленную посредствомъ болтовъ 21 со ста-
ниной аппарата, а другой конецъ нагружается гирями, накладываемыми
на подвѣшиваемую къ нему на цѣпяхъ доску, производится нагрузка,
передаваемая на пяту.

Переходимъ теперь къ частностямъ устройства аппарата.

Какъ видно (см. Табл. II), для достиженія большей равномерности
въ распредѣленіи давленій по пятѣ цилиндрикъ 5 опирается своей
вогнутой шаровой поверхностью на таковую же выпуклую поверхность
плашки 28, покоющейся на трехъ стержняхъ 30; для предотвращенія
же цилиндрика 5 отъ чрезмѣрно большихъ движеній по плашкѣ 28
имѣется, какъ видно на чертежѣ, штифтъ; на цилиндрикъ 5 наклады-
вается плашка 9, скрѣпляемая посредствомъ винтовъ съ опорной подпят-
ной плашкой 3, имѣющей въ центрѣ углубленіе О діаметромъ 12 м/м.
На эту подпятную плашку 3 опирается пятовая плашка 2, надѣтая
плотно на торецъ вала 11 и принуждаемая вращаться вмѣстѣ съ нимъ
посредствомъ особаго штифта. Такое устройство даетъ возможность
мѣнять опорныя плашки 2 и 3, дѣлать ихъ изъ какого угодно мате-
ріала и, слѣдовательно, изслѣдовать треніе въ зависимости отъ мате-
ріала пяты. Плашка 2 тоже имѣетъ въ центрѣ углубленіе въ 12 м/м.
діаметромъ. Къ плашкѣ 3 посредствомъ винтиковъ прикрѣпляется
ванна 4, куда наливается масло для смазыванія трущихся поверхностей.

Устройство
пяты.

Въ верхней части цилиндрика 5 устроенъ крестообразный вырѣзъ
к,к, цѣль котораго будетъ видна изъ нижеизложеннаго.

Въ основу способа опредѣленія давленій въ различныхъ точкахъ
пяты было положено предположеніе, что если въ рассматриваемыхъ
точкахъ пяты проверить отверстія и соединить ихъ трубками съ

Способъ из-
слѣдованія
давленій въ
различныхъ
точкахъ
пяты.

манометрами, то масло, подводимое для смазки пяты и распределенное по ней тонкимъ слоемъ, будетъ впрессовываться въ отверстія и, идя по трубкамъ въ манометры, заставитъ послѣдніе показывать давленія въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ пяты.

Съ этой цѣлью въ свинченныхъ между собою плашкахъ 3, 9 я велѣлъ проверить шесть отверстій, какъ разъ надъ однимъ изъ вырѣзовъ к въ цилиндрикъ 5. Эти отверстія расположены были по діаметру пяты симметрично по отношенію къ среднему углубленію О въ плашкѣ 3, по возможности на равномъ разстояніи одно отъ другого (точно: разстоянія центровъ отверстій отъ наружнаго края пяты были соотвѣтственно: 10, 22, 34 м/м.). Отверстія были просверлены діаметромъ въ 4 м/м. Въ нихъ были плотно вставлены мѣдныя трубки такого же наружнаго діаметра и съ внутреннимъ діаметромъ въ 2,5 м/м. Чтобы достигнуть вполне плотнаго и прочнаго соединенія мѣдныхъ трубокъ съ плашками, поступали такимъ образомъ: плашки 3 и 9 разнимались, отверстія въ плашкѣ 9 на той сторонѣ, которая прилегаетъ къ плашкѣ 3, немного раззенковывались; затѣмъ, мѣдныя трубки вставлялись въ отверстія плашки 9 и высывались съ той стороны, гдѣ производилась раззенковка, на величину, немного большую толщины плашки 3; послѣ этого, въ раззенкованныя углубленія наливался расплавленный припой. Послѣ охлажденія припоя и снятія его излишка на трубки надѣта была своими отверстіями плашка 3; несильными ударами деревяннаго молотка по плашкѣ 3 заставили плашки 3 и 9 плотно сойтись, затѣмъ ихъ свинтили, высунувшіеся концы трубокъ были срезаны, пришабрены, а отверстія ихъ раскатаны толстой стальной иглой. Соединеніе получилось настолько плотное, что потомъ, при показаніяхъ манометрами давленій даже до 48 атмосферъ, не замѣчалось просачиванія масла около трубокъ.

Длинные концы мѣдныхъ трубокъ, выходящіе изъ плашки 9 загибались сейчасъ же около плашки подъ угломъ и выводились, послѣ помѣщенія свинченныхъ плашекъ 3 и 9 на цилиндрикъ 5, по вырѣзамъ к, к наружу.

Первоначально предполагалось трубки эти, имѣвшія длину около одного метра, отвести къ распределительной доскѣ, изображенной на черт. 1 Табл. III, и въ ней закрѣпить въ соотвѣтствующихъ отверстіяхъ указаннымъ на чертежѣ способомъ; отверстія эти соединялись посредствомъ каналовъ съ однимъ болѣе широкимъ каналомъ, оканчивающимся навинтованнымъ отверстіемъ для ввинчиванія манометра. Соединительные каналы, какъ видно, снабжены кранами и, слѣдовательно, въ любой моментъ любое отверстіе на поверхности пяты можетъ быть соединено, открывая соотвѣтствующій кранъ, съ

манометромъ, который и покажетъ давленіе надъ разсматриваемымъ отверстіемъ. Но, въ виду довольно значительной стоимости такой распредѣлительной доски, пришлось отъ нея отказаться и воспользоваться имѣвшимися въ лабораторіи тремя манометрами для непосредственнаго измѣренія давленій надъ тремя сразу отверстіями, для чего необходимо было только плотно соединить мѣдныя трубки съ манометрами; устроить такое соединеніе, конечно, не представляло значительнаго труда, и выполнено оно было обычнымъ образомъ: на концы мѣдныхъ трубокъ надѣвались и припаивались круглыя желѣзныя пластинки діаметромъ немного меньшимъ наружнаго діаметра патрубковъ манометровъ; до припаиванія еще пластинокъ къ трубкамъ, на послѣднія надѣвались гайки съ внутренней рѣзбой, какъ разъ соотвѣтствующей нарѣзкѣ патрубковъ манометровъ; надѣвая теперь гайки на патрубки манометровъ, подложивши предварительно подъ пластинки на края патрубковъ кожанныя кольца, и завинчивая ихъ, мы получали очень плотное соединеніе.

Такъ какъ мы имѣли въ своемъ распоряженіи только три манометра, то наблюденіе давленій на пятѣ предполагалось вести сперва только на одной ея половинѣ; послѣ же цѣлаго цикла наблюденій на этой половинѣ, манометры переставить на другую сторону и производить наблюденія уже здѣсь.

Нагрузка пята производилась слѣдующимъ образомъ: на вертикальный валъ 11 сверху накладывалась чугунная плашка 25 съ кольцеобразнымъ закаленнымъ углубленіемъ, въ это углубленіе вкладывались шарики 26, на которые опиралась соотвѣтствующимъ шарикамъ кольцевымъ углубленіемъ плашка 24; на эту плашку 24, имѣвшую сверху шаровую вогнутую поверхность накладывалась имѣвшая такую же выпуклую поверхность конусообразная плашка 12 со вставной закаленной призмой Н. На послѣднюю призму опирался рычагъ R, короткое плечо котораго упиралось въ перекладину 22, надѣтую своими отверстіями на болты 21, ввинченные въ станину аппарата; перекладина на болтахъ закрѣплялась гайками. На длинный конецъ рычага привѣшивалась посредствомъ хомутика и крюка на цѣпяхъ доска, на которую можно было накладывать по желанію различной величины грузы и, такимъ образомъ, получать требуемую нагрузку. Всѣ опорные пункты на рычагѣ были снабжены закаленными призмами, аналогичными призмѣ Н, и соотвѣтствующими закаленными упорами.

Нагрузка
пята.

Размѣры рычага, по первоначальному подсчету (отношеніе плечъ рычага было выбрано $\frac{1890}{90} = 21$), позволяли произвести на валъ, а слѣдовательно и на пята, нагрузку въ 3000 кг.

Передача
движенія къ
аппарату.

Вслѣдствіе недостатка мѣста въ лабораторіи и невозможности устроить непосредственно передачу отъ мотора къ валу 11, пришлось прибѣгнуть къ такого рода передачѣ. Противъ нашего аппарата у противоположной стѣны комнаты помѣщалась машина Martens'a для изслѣдованія внутренняго тренія въ маслѣ; машина эта, имѣвшая горизонтальный валъ, приводилась въ движеніе отъ приводного вала, помѣщеннаго около потолка вдоль стѣны и приводимаго, въ свою очередь, въ движеніе десяти сильнымъ моторомъ. Въ виду совершенной невозможности иначе размѣститься, пришлось на валъ машины Martens'a посадить добавочный шкивъ и этотъ послѣдній соединить перекрестнымъ ремнемъ со шкивомъ 1, надѣтымъ на валъ 11 и закрѣпленнымъ на немъ посредствомъ шпонки и нажимного винта.

Такимъ образомъ, передача для сообщенія вращенія валу нашего аппарата шла отъ мотора къ приводному валу, отъ послѣдняго къ машинѣ Martens'a, а отъ этой послѣдней уже къ валу 11.

Разстояніе между осью вала 11 и центромъ шкива на машинѣ Martens'a было равно 3,75 mtr.

Смазываніе
аппарата.

Смазка движущихся частей аппарата производилась такимъ образомъ. На болтахъ 21 сверху привинчивалась жестяная коробка, вмѣстимостью около 2—3 литровъ, въ которую наливалось масло; коробка была снабжена краномъ, свинчивающимся съ мѣдной трубкой; по этой трубкѣ масло поступало въ каналъ конусообразной плашки 12, откуда по новому каналу въ плашкѣ 24 выливалось на шарики 26, смазывало ихъ и шло далѣе въ тонкіе каналы, продѣланные во вкладышѣ 7 на поверхности его соприкосновенія съ валомъ 11; каналы эти, служащіе для лучшаго смазыванія вала, съ той же цѣлью продѣланы были по винтовой линіи, но не доведены до конца вкладыша 7. Масло, по выходѣ изъ вкладыша 7, поступаетъ въ чугунную ванну 32; отсюда первоначально предполагалось пустить его по трубкѣ 34 для смазыванія шейки вала во вкладышѣ 8, и далѣе прямо въ ванну 4, окружающую самую пята; но первые же опыты показали, что масло изъ ванны 32 подходит къ вкладышу 8 сильно нагрѣтымъ, благодаря чему, послѣдній, и самъ имѣющій наклонность нагрѣваться при большемъ числѣ оборотовъ, нагрѣвается чрезвычайно сильно; къ тому же масло выходитъ изъ ванны 32 уже порядочно загрязненнымъ. Понятно, что изъ вкладыша 8 оно выходитъ еще болѣе нагрѣтымъ и тѣмъ самымъ увеличиваетъ и безъ того имѣющееся стремленіе пята къ нагрѣванію.

Поэтому, послѣ нѣсколькихъ же попытокъ, пришлось оставить спроектированную циркуляцію масла и прекратить смазываніе шейки (8) и наполненіе ванны 4 масломъ, выходящимъ изъ ванны 32. Первая

изъ этихъ операций достигнута была проведеніемъ особой мѣдной трубки отъ верхняго резервуара непосредственно къ шейкѣ (8), въ ванну же 4 пришлось устроить постоянный притокъ масла изъ того же резервуара по третьей трубкѣ, отводя, конечно, такое же количество масла изъ нея посредствомъ особаго крана, не показаннаго на чертежѣ.

Точно также сперва предполагалось для смазыванія поверхности пяты на поверхности подпятниковой плашки провести только одну дорожку отъ наружнаго края къ центральному углубленію О; но при первомъ же опытѣ оказалось, что при нагрузкѣ въ среднемъ только $4,5 \text{ kg/cm}^2$ и при числѣ оборотовъ только 190 въ минуту достаточно одного часа работы пяты, чтобы поднять температуру въ ваннѣ съ 20^0 до 61^0 ; поэтому стало вполне очевиднымъ, что необходимо число дорожекъ увеличить, что и было сейчасъ же сдѣлано: бороздокъ провели четыре по направленію взаимно-перпендикулярныхъ діаметровъ. Благодѣтельное вліяніе ихъ не замедлило сказаться сильнымъ замедленіемъ повышения температуры въ ваннѣ: при той же самой нагрузкѣ, при 200 оборотахъ въ минуту, при работѣ пяты въ продолженіи двухъ часовъ температура въ ваннѣ поднялась съ 20^0 C только до 48^0 C . Бороздки сдѣланы были въ $3,5 \text{ m/m}$. ширины и около 2 m/m . глубины.

Измѣреніе числа оборотовъ вала производилось посредствомъ тахометра D-ra Horn'a, удобнаго въ томъ отношеніи, что онъ позволяетъ знать это число оборотовъ въ каждый данный моментъ.

Измѣреніе
числа оборо-
товъ вала.

Вслѣдствіе тренія на поверхности пяты плашка 3 вмѣстѣ съ другими нижележащими плашками имѣетъ стремленіе всегда вращаться въ сторону вращенія вала 11. Для предотвращенія ея отъ большихъ поворотовъ, въ цилиндрикъ 5 ввинченъ шпиндель 14 (Табл. II), четырехгранный конецъ котораго помѣщается между щеками ухватки 16; въ щеки послѣдней ввинчены винты b, b , которыми по желанію можно болѣе или менѣе сѣзуть поле для колебаній шпинделя 14. Обыкновенно мы оставляли для этихъ колебаній съ той и другой стороны шпинделя щель около 1 m/m . шириной.

Измѣреніе
тренія въ
пятѣ.

Такимъ образомъ, цилиндрикъ 5 и, слѣдовательно, плашка 3 могутъ поворачиваться только на самые незначительные углы около своего средняго положенія, соотвѣтствующіе колебаніямъ шпинделя 14.

Въ тотъ же цилиндрикъ 5 подъ угломъ въ 90^0 къ шпинделю 14 ввернуты два шпинделя 13, имѣющіе на своихъ концахъ по двѣ призмочки p ; на эти призмочки надѣваются сережки 15; за эти сережки зацѣпляются своими крючками спиральныя пружины s , крючки другихъ концовъ которыхъ задѣваются за петли болтовъ 18; части стержней послѣднихъ имѣютъ видъ четырехгранныхъ призмъ, ходящихъ въ

соотвѣствующихъ отверстіяхъ ухватиковъ 17, надѣваемыхъ на цилиндрическіе стержни 19, закрѣпляемые въ особыхъ гнѣздахъ станины посредствомъ нажимныхъ винтовъ 20.

На навинтованный конецъ болтовъ 18 навинчиваются гайки 10, вращая ксторыя въ ту или другую сторону, можно подвинуть въ ту или другую сторону болты 18, а слѣдовательно натянуть или ослабить пружины s, s . При измѣреніи тренія въ пятѣ, мы завинчиваемъ ту и другую гайку 10 настолько, чтобы повернуть цилиндрикъ 5 изъ положенія, въ которое онъ поставленъ треніемъ на пятѣ (шпиндель 14 прижать вслѣдствіе этого тренія къ тому или другому изъ винтиковъ b, b) въ то, при которомъ шпиндель 14 всталъ бы посрединѣ между винтами b, b . При этомъ, конечно, пружины s, s будутъ нѣсколько вытянуты соотвѣтственно величинѣ силы тренія, и это увеличеніе длины пружинъ и будетъ служить средствомъ измѣренія величины тренія на пятѣ; такъ какъ, въ самомъ дѣлѣ, стоитъ только предварительно испытать пружины и градуировать растяженіе ихъ по величинѣ растягивающей силы, чтобы потомъ обратно по растяженію пружины знать силу, растягивающую ихъ.

Все это, конечно, будетъ справедливо только въ томъ случаѣ, если мы предположимъ; что цилиндрику 5 и плашкѣ 3 не препятствуетъ вращаться при растяженіи пружинъ s, s никакая друга сила, кромѣ силы тренія на поверхности пяты.

Правда, такія силы существуютъ, но можно показать, что онѣ по сравненію съ силой тренія на поверхности пяты очень незначительны, и ими можно пренебречь. Силы эти — сила тренія на шарикахъ, окружающихъ цилиндрикъ 5, и сила сопротивленія трехъ опорныхъ стержней 30 повертыванію ихъ вслѣдствіе вращенія покоющихся на нихъ плашекъ.

Что касается первой изъ нихъ, то, конечно, а priori можно сказать, что при имѣющихся условіяхъ она очень незначительна по сравненію съ силой тренія въ пятѣ; относительно же второй можно то же самое доказать на основаніи слѣдующихъ разсужденій.

Если мы назовемъ черезъ a — разстояніе отъ центра плашки 3 до мѣста соприкосновенія шпинделя 14 съ винтомъ b (см. Табл. III, черт. 3), а зазоръ между концомъ шпинделя 14 и тѣмъ же винтомъ черезъ x ; то уголъ поворота цилиндрика 5 вмѣстѣ съ плашкой 3 вслѣдствіе тренія изъ положенія, при которомъ опорные стержни 30 стояли вертикально, въ крайнее возможное для нихъ, выразится какъ $\alpha = \frac{x}{a}$. При этомъ вращеніи плашки 3 верхній конецъ опорнаго стержня M перемѣщается въ M' , и $MM' = r\alpha$, если $r = OM$ — разстояніе опор-

наго стержня отъ центра опорной плиты. Самъ опорный стержень отклоняется при этомъ изъ своего вертикальнаго положенія на уголъ β (см. Табл. III, черт. 4), гдѣ $\beta = \frac{MM'}{l} = \frac{r\alpha}{l}$, здѣсь l — длина опорнаго стержня. Благодаря послѣднему обстоятельству опорная плита (плашка 3) опускается на $h = l(1 - \cos \beta)$.

Если мы назовемъ теперь черезъ P — нагрузку на пятѹ, то, на основаніи принципа возможныхъ перемѣщеній, относя наше разсужденіе сразу къ тремъ стержнямъ, получимъ:

$$Pd h = H a d \alpha,$$

$$d h = d [l(1 - \cos \beta)] = l \sin \beta d \beta = \sim l \beta d \beta = l \frac{r^2}{l^2} \alpha d \alpha$$

и слѣдовательно

$$Pl \frac{r^2}{l^2} \alpha d \alpha = H a d \alpha,$$

откуда

$$H = P \frac{r^2}{l} \frac{\alpha}{a}.$$

а такъ какъ $\alpha = \frac{x}{a}$, то

$$H = \frac{P}{l} \frac{r^2}{a^2} x.$$

Для $x = 0$, т. е. если опорные стержни стоятъ совершенно вертикально, будемъ имѣть: $H = 0$; полагая же, какъ у насъ, $x = 1$ m/m., $l = 500$ m/m., $P = 3000$ kg., $r = 30$ и $a = 100$ m/m., получимъ

$$H = \frac{3000}{500} \frac{30 \cdot 30}{100^2} = 0,54 \text{ kg.}$$

Такимъ образомъ, усиліе, необходимое для того, чтобы повернуть цилиндрикъ 5 съ плашками 3, 9, 28, при сопротивленіи этому поворачиванію только со стороны опорныхъ стержней, даже при самой большой, возможной для насъ, нагрузкѣ пятѹ, чрезвычайно мало по сравненію съ тѣмъ вѣроятнымъ усиліемъ, которое необходимо будетъ приложить для поворота тѣхъ же частей при дѣйствіи на поверхности пятѹ тренія, почему и можно первымъ усиліемъ, какъ мы сказали выше, пренебречь при изслѣдованіи тренія на пятѣ.

Оставляя пока въ сторонѣ вопросъ о треніи въ пятѣ, что составитъ предметъ другой статьи, теперь я займусь исключительно распределеніемъ давленій по пятѣ.

Первое, на чемъ намъ необходимо при этомъ остановиться, это вопросъ о среднемъ давленіи на пятѣ. Болѣе или менѣе точное зна-

ніе средняго давленія для насъ чрезвычайно важно, такъ какъ съ нимъ мы должны все время сравнивать наши результаты наблюденій надъ давленіемъ въ различныхъ точкахъ пяты и заключать о достовѣрности этихъ наблюденій. Между тѣмъ, вопросъ этотъ не является для насъ простымъ, и вотъ почему.

Секторіаль-
ные скосы
на поверх-
ности пяты.

Очевидно, ничего не было бы проще опредѣлить это среднее давленіе, если бы поверхность пяты представляла изъ себя плоскость; правда, на этой поверхности имѣются каналы, въ центрѣ имѣется углубленіе, на которые очевидно не распространяется полная нагрузка, но стоило бы только исключить изъ общей площади пяты площадь этихъ углубленій (площадь центральнаго углубленія, при діаметрѣ его въ 12 m/m ., равнялась 1,13 cm^2 ., а площадь всѣхъ каналовъ при ширинѣ двухъ изъ нихъ въ 3,8 m/m ., а двухъ другихъ въ 3,5 m/m ., и при общей длинѣ въ 43,5 m/m ., равнялась 3,16 cm^2 ., и слѣдовательно сумма этихъ площадей была $f_1=4,29 cm^2$.), и мы получили бы дѣйствительную площадь пяты, на которую распределяется нагрузка. Но въ дѣйствительности дѣло обстояло не совсѣмъ такъ. Пустивши машину въ первый разъ въ ходъ, я принужденъ былъ констатировать отсутствіе показаній давленій манометрами: масло дѣйствительно не вгонялось при данныхъ условіяхъ въ просверленные на поверхности пяты отверстія. Въ виду этого, я рѣшилъ сдѣлать на подпятниковой плашкѣ 3 секторіальные скосы съ постепеннымъ наклономъ къ маслянымъ канавкамъ, какъ это показано на прилагаемомъ чертежѣ (см. Табл. III, черт. 2). Линіи AC и $A'C'$ скосовъ проведены были не совсѣмъ по радіусу для того, чтобы нѣсколько удержать масло отъ радіальнаго утеканія подъ вліяніемъ центробѣжной силы. Наклонъ поверхностей ABC и $A'B'C'$ къ канавкамъ былъ сдѣланъ весьма небольшой: пониженіе поверхности по линіямъ AB и $A'B'$ не превосходило $\frac{1}{4} m/m$. Предполагалось, что при такомъ скашиваніи поверхности пяты, при вращеніи верхней плашки 2 по стрѣлкѣ s , масло будетъ увлекаться изъ масляныхъ канавокъ по этимъ скосамъ къ отверстиямъ въ достаточномъ количествѣ и вдавливаться въ нихъ.

Ожиданія оправдались вполне: при первомъ же опытѣ съ таковой подпятниковой поверхностью манометры показали вполне опредѣленные давленія, господствовавшія надъ отверстиями.

Подсчетъ
среднихъ
(на cm^2)
нагрузокъ
пяты.

Конечно, этого было еще недостаточно: надо было убѣдиться, что эти показанія дѣйствительно представляютъ изъ себя давленія въ данныхъ точкахъ пяты; а для этого надо было знать среднюю нагрузку пяты при данномъ опытѣ. Подсчетъ этой средней нагрузки усложнялся теперь существованіемъ секторіальныхъ скосовъ на поверхности пяты, надъ которыми врядъ-ли было возможно предполагать такое-же

распредѣленіе давленій, какъ и на другихъ плоскихъ частяхъ ея. Приходилось дѣлать какое либо предположеніе; самое простое и, въ тоже время, вѣроятное было предположить, что давленіе, начиная отъ линіи АВ до линіи АС повышалось по параболѣ отъ нуля до того, какое господствовало надъ отверстіями. Предполагая это, мы должны были при опредѣленіи средняго давленія на трущейся поверхности пяты выкинуть изъ ея площади, кромѣ площадей центрального углубленія и каналовъ, еще часть, равную двумъ третямъ площади одного сектора ($f_2=4,2 \text{ см.}^2$).

Такимъ образомъ, дѣйствительная площадь пяты, на которой можно было предполагать давленіе распрѣделеннымъ равномерно, оказывалась равной: $F = \frac{\pi D^2}{4} - f_1 - f_2 = 68,5 \text{ см.}^2$.

Зная теперь собственный вѣсъ вала 11 со всѣми находящимися на немъ плашками, шариками и шкивомъ 1 (55,67 kg), вѣсъ рычага (29,15 kg), хомутика (1,82 kg) для подвѣса къ нему доски, и опредѣливъ мѣстоположеніе центра тяжести рычага (на разстояніи 68,4 см. отъ мѣста опоры его на валъ 11), можно было подсчитать среднюю нагрузку на пятую отъ собственного вѣса вала 11 съ плашками и давленія на него рычага; оно оказалось равнымъ $4,7 \text{ kg/cm.}^2$.

По первоначальному плану, какъ выше уже было сказано, для дальнѣйшаго увеличенія нагрузки предполагалось подвѣшивать на концѣ рычага доску и накладывать на нее опредѣленные грузы, но при предварительныхъ же опытахъ оказалось, что рычагъ при такомъ подвѣшиваніи доски сильно дрожить; поэтому, пришлось передвинуть подвѣсъ ея къ средней опорѣ рычага—а именно, на разстояніе 720 m/m. отъ нея. Одинъ только этотъ подвѣсъ доски. при вѣсѣ ея въ 43,7 kg., повышалъ среднюю нагрузку пяты до $10,4 \text{ kg/cm.}^2$. Чтобы не возвращаться еще разъ къ этому предмету, я сейчасъ же укажу и слѣдующія величины нагрузокъ пяты: они производились наложеніемъ на подвѣсную доску каждый разъ двухъ новыхъ 20 kg-хъ гирь, что соотвѣтствовало увеличенію средней нагрузки пяты на $5,26 \text{ kg/cm.}^2$. Такимъ образомъ, мы получимъ слѣдующую шкалу среднихъ нагрузокъ пяты при нашихъ опытахъ: 4,7; 10,4; 15,7; 21,0; 26,2; 31,5; 36,7; 42,0; 47,3 kg/cm.^2 .

Послѣ этихъ замѣчаній, возвратимся опять къ первымъ показаніямъ манометровъ, полученнымъ нами сейчасъ же послѣ скашиванія извѣстнымъ уже образомъ поверхности пяты при средней нагрузкѣ ея въ $10,4 \text{ kg/cm.}^2$, и посмотримъ, на сколько близко къ этой средней нагрузкѣ подходитъ среднее давленіе на поверхности пяты, выведенное на основаніи показаній манометровъ. Въ слѣдующей таблицѣ № 1 при-

Первые опыты по опредѣленію давленій на поверхности пяты.

веденъ протоколъ перваго настоящаго опыта, произведеннаго 16 августа 1907 года:

Таблица № 1.

Нагрузка пяты—10,4 кг./см².; температура въ помѣщеніи—18°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число оборо-	Время.	Примѣчаніе.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ван- ны t° С.	товъ вала въ минуту.		
			23,5.		2 ч. 27 м.	Номера отверстій на поверхности пяты и соответствующихъ манометровъ идутъ по порядку отъ центра пяты къ наружному краю. Измѣренія температуры масла въ ваннѣ совершались посредствомъ термометра, опускаемаго въ ванну.
9,7	11,2	5,5	26,5	146	2 ч. 30 м.	
11,6	13,5	7,0	29,0	164	2 ч. 35 м.	
11,8	13,8	8,5	32,5	172	2 ч. 40 м.	
11,6	13,7	9,5	34,0	179	2 ч. 45 м.	
11,4	13,6	9,6	36,0	185	2 ч. 50 м.	
11,2	13,4	9,7	38,5	189	2 ч. 55 м.	
10,9	13,2	9,7	40,0	193	3 ч. — м.	
10,8	13,0	9,7	41,0	195	3 ч. 5 м.	
10,7	12,8	9,7	42,0	174	3 ч. 10 м.	
10,6	12,2	9,7	42,8	178	3 ч. 15 м.	
10,5	12,1	9,7	43,5	181	3 ч. 20 м.	
10,5	12,0	9,5	44,0	183	3 ч. 25 м.	
10,5	12,0	9,5	44,5	183	3 ч. 30 м.	
10,5	12,0	9,5	45,0	185	3 ч. 35 м.	
10,4	12,0	9,5	46,0	187	3 ч. 40 м.	
10,4	11,7	9,3	46,5	185	3 ч. 45 м.	
10,4	11,6	9,2	47,0	187	3 ч. 50 м.	

Изъ приведенной таблицы мы замѣчаемъ, прежде всего, слѣдующее: при пусканіи аппарата въ ходъ, когда масло еще довольно густо, манометры показываютъ быстрый подъемъ давленій надъ изслѣдуемыми пунктами поверхности пяты; давленія эти очень скоро достигаютъ нѣкоторой опредѣленной высоты, держатся на ней нѣкоторое время, а затѣмъ, по мѣрѣ повышенія температуры ванны, начинаютъ медленно падать; что это паденіе показаній манометровъ зависитъ, кажется, дѣйствительно отъ температуры масла и связанныхъ съ нею свойствъ его, и мало зависитъ отъ другихъ факторовъ, напр. числа оборотовъ вала, если только не измѣнять его очень сильно, это видно изъ того, что послѣ достаточно долгой работы пяты, когда температура масла поднималась уже значительно, я пробовалъ, какъ это увидимъ изъ послѣдующихъ протоколовъ, останавливать совершенно аппаратъ, а затѣмъ снова начинать понемногу пускать его въ ходъ, и доводилъ число оборотовъ вала до прежде бывшаго: всегда въ этихъ случаяхъ показанія манометровъ были даже ниже тѣхъ, при которыхъ былъ остановленъ аппаратъ; если же тоже самое продѣлывалъ при низкой температурѣ

масла, то получалъ снова первоначальныя наивысшія показанія манометровъ; пробовалъ я также при высокой температурѣ масла вдругъ увеличивать или уменьшать число оборотовъ вала, и хотя такое повышение или пониженіе числа оборотовъ и отзывалось на показаніяхъ манометровъ, но крайне незначительно.

Считая поэтому дѣйствительными показаніями давленій въ данныхъ точкахъ пяты только наивысшія показанія манометровъ, полученные при низшихъ температурахъ смазывающаго масла, и нанося ихъ въ извѣстномъ масштабѣ на чертежѣ (см. Табл. III, черт. 5), изображающемъ въ натуральную величину поверхность пяты, въ видѣ ординатъ отъ радіальной прямой MN, проходящей черезъ центры отверстій, соединяя, далѣе, плавной кривой концы этихъ ординатъ и конечныя точки M,N радіальной прямой, въ каковыхъ точкахъ (M,N), очевидно, давленія должны равняться нулю, мы получимъ кривую распределенія давленій въ радіальномъ направленіи пяты.

Средняя ордината этой кривой должна соотвѣтствовать среднему давленію на единицу поверхности пяты. Если подсчитать эту ординату для данного опыта, что мы дѣлали при помощи планиметра, опредѣляя площадь кривой и дѣля ее на величину основанія MN, то она окажется равной 9,7m/m., что, при нашемъ масштабѣ $1m/m. \propto 1kg/cm.^2$, соотвѣтствуетъ среднему давленію въ 9,7 kg/cm.².

Такимъ образомъ, это среднее давленіе выходитъ меньше вычисленнаго (10,4 kg/cm.²) на основаніи полной нагрузки пяты на 0,7 kg/cm.². Эта разность во всякомъ случаѣ не особенно велика и можетъ быть легко объяснена или тѣмъ, что на другой сторонѣ пяты давленіе больше, чѣмъ на только что изслѣдованной, или тѣмъ, что мы не совсѣмъ правильно подсчитали опорную площадь пяты.

Посмотримъ, поэтому, что говорятъ намъ другіе опыты при той же нагрузкѣ пяты.

Приводимъ протоколъ опыта отъ 21 августа:

Таблица № 2.

Нагрузка—10,4 kg/cm.²; температура въ помѣщеніи—19°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			21°		2 ч. 33 м.
3,0	5,0	12,0	—	79	2 ч. 34 м.
11,5	7,0	12,5	22,5	98	2 ч. 37 м.
13,0	11,0	13,2	—	—	2 ч. 38 м.
12,5	16,5	13,2	25,0	139	2 ч. 40 м.
12,3	16,4	13,2	—	—	2 ч. 45 м.
12,0	16,4	12,5	—	—	2 ч. 47 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число оборо-	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ван- ны t° С.	товъ вала въ минуту.	
11,7	15,7	12,5	31,0	164	2 ч 50 м.
11,2	14,7	12,0	34,0	177	2 ч. 55 м.
10,8	14,4	11,8	36,5	187	3 ч. — м.
10,6	13,6	11,5	40,0	195	3 ч. 10 м.
10,4	12,8	11,3	43,0	201	3 ч. 20 м.
10,3	12,7	11,2	45,0	204	3 ч. 30 м.
10,3	12,4	11,0	46,6	208	3 ч. 40 м.
10,2	12,2	10,5	48,2	202	3 ч. 50 м.
10,2	11,9	10,0	49,5	206	4 ч. — м.
10,1	11,4	9,4	50,5	216	4 ч. 10 м.
10,1	10,8	8,6	50,5	195	4 ч. 20 м.
10,1	10,2	7,9	50,5	193	4 ч. 30 м.
10,1	9,5	7,0	50,0	187	4 ч. 40 м.
10,6	10,8	8,6	51,0	237	4 ч. 43 м.
11,0	11,2	9,5	52,5	272	4 ч. 45 м.
10,7	11,3	10,2	53,0	272	4 ч. 47 м.
10,7	11,3	10,0	53,5	272	4 ч. 50 м.

По даннымъ этой таблицы для средней ординаты кривой давлений находимъ величину въ 11,9 m/m., что соотвѣтствуетъ средней нагрузкѣ пята въ 11,9 kg/cm², т. е. на 1,5 kg/cm² больше вычисленной средней нагрузки.

Наконецъ, протоколъ опыта отъ 24 августа даетъ намъ такіе результаты:

Таблица № 3.

Нагрузка—10,4 kg/cm²; температура въ помѣщеніи - 19,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число оборо-	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ван- ны t° С.	товъ вала въ минуту.	
			23,0		3 ч. 5 м.
12,5	11,8	10,7	24,0	64	3 ч. 10 м.
11,7	12,5	11,5	26,5	73	3 ч. 20 м.
11,5	13,8	12,0	29,0	74	3 ч. 30 м.
10,8	14,6	12,0	31,0	122	3 ч. 40 м.
10,6	14,7	12,2	33,0	130	3 ч. 50 м.
10,5	14,3	12,2	35,0	131	4 ч. — м.
10,4	14,1	12,1	37,0	137	4 ч. 10 м.
10,3	13,8	12,0	38,5	152	4 ч. 20 м.
10,1	13,6	12,0	39,5	152	4 ч. 30 м.
10,0	13,2	11,8	41,0	156	4 ч. 40 м.

Средняя нагрузка по даннымъ этой таблицы выходитъ равной 10,3 kg/cm², т. е. только на 0,1 kg/cm² меньше вычисленной.

Если же теперь опредѣлить среднюю нагрузку пяты изъ данныхъ всѣхъ трехъ опытовъ, то она оказывается равной $10,6 \text{ kg./cm.}^2$, т. е. больше вычисленной только на $0,2 \text{ kg./cm.}^2$ —результатъ, прямо таки поразительный.

Посмотримъ, впрочемъ, что намъ даютъ опыты измѣренія давленій при той же средней нагрузкѣ пяты на другой половинѣ поверхности пяты; вотъ, напр., протоколъ опыта отъ 31 августа:

Таблица № 4.

Нагрузка— $10,4 \text{ kg./cm.}^2$; температура въ помѣщеніи— 18° .

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны $t^\circ \text{C.}$	Число обо- ротовъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'.	№ 2'.	№ 3'.			
9,5	11,0	11,5	24,0	126	2 ч. 50 м.
10,1	13,2	12,0	27,0	169	2 ч. 55 м.
10,5	12,9	11,5	—	—	—
10,2	12,7	11,0	31,5	188	3 ч. — м.
10,0	12,0	10,5	33,5	191	3 ч. 5 м.
9,7	11,3	10,3	36,0	201	3 ч. 10 м.
9,6	10,9	10,2	38,0	205	3 ч. 15 м.
9,4	10,6	10,0	39,8	207	3 ч. 20 м.
9,2	10,4	9,8	41,0	213	3 ч. 25 м.
9,0	10,2	9,6	42,8	214	3 ч. 30 м.
8,8	9,8	9,5	43,7	214	3 ч. 35 м.
8,5	9,2	9,5	44,5	218	3 ч. 40 м.
7,8	8,7	8,9	44,5	195	3 ч. 42 м.
7,2	8,4	8,3	44,5	164	3 ч. 45 м.
6,7	8,1	7,7	44,5	154	3 ч. 48 м.
6,0	7,8	7,0	44,5	131	3 ч. 50 м.

Опредѣленная по даннымъ послѣдней таблицы средняя нагрузка пяты оказывается равной $10,0 \text{ kg./cm.}^2$, т. е. на $0,4 \text{ kg./cm.}^2$ меньше вычисленной на основаніи полной нагрузки пяты.

Данныя же протокола другого аналогичнаго опыта (см. табл. 5) даютъ для средняго давленія на пятѣ величину въ $11,0 \text{ kg./cm.}^2$, т. е. на $0,6 \text{ kg./cm.}^2$ больше вычисленной.

Таблица № 5.

Нагрузка— $10,4 \text{ kg./cm.}^2$; температура въ помѣщеніи— 16° .

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны $t^\circ \text{C.}$	Число обо- ротовъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'.	№ 2'.	№ 3'.			
12,2	13,8	12,0	16,0	123	10 ч. 5 м.
12,2	13,9	12,6	25,0	143	10 ч. 15 м.
12,0	13,8	12,5	33,0	152	10 ч. 25 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'.	№ 2'.	№ 3'.			
11,8	13,6	12,3	37,0	159	10 ч. 35 м.
12,0	13,7	12,3	39,0	201	10 ч. 45 м.
11,7	13,2	11,6	41,0	207	10 ч. 55 м.
11,5	12,5	11,0	43,0	212	11 ч. 5 м.
10,8	12,2	10,7	44,0	222	11 ч. 15 м.

Какъ среднее изъ этихъ двухъ опытовъ, получаемъ нагрузку пяты равной $10,5 \text{ kg./cm.}^2$, т. е. на $0,1 \text{ kg./cm.}^2$ больше вычисленной.

Такимъ образомъ, среднія величины нагрузокъ на единицѣ опорной поверхности пяты, полученные нами на основаніи опытныхъ данныхъ, настолько близки къ той средней нагрузкѣ, которую мы вычислили на основаніи только полной нагрузки пяты, что даютъ возможность считать съ большою достовѣрностью показанія манометровъ за дѣйствительныя давленія, существующія на данныхъ элементахъ поверхности пяты.

Всѣ приведенныя таблицы, также какъ и первая, указываютъ на пониженіе показаній манометровъ съ повышеніемъ температуры масла; внезапное повышеніе числа оборотовъ при болѣе или менѣе высокой температурѣ масла не играетъ, повидимому, по крайней мѣрѣ, въ нѣкоторыхъ предѣлахъ числа оборотовъ вала, значительной роли для измѣненія показаній манометровъ; такъ напримѣръ, по табл. № 5 слѣдуетъ, что при температурѣ масла около 37° повышеніе числа оборотовъ вала съ 159 до 201, т. е. приблизительно на 25%, сказалось увеличеніемъ показаній только двухъ манометровъ: одного на $0,2 \text{ kg./cm.}^2$, а другого на $0,1 \text{ kg./cm.}^2$, при слѣдующемъ же затѣмъ новомъ повышеніи числа оборотовъ съ 201 до 207 показанія манометровъ даже упали.

Точно также по таблицѣ № 2 быстрое повышеніе числа оборотовъ вала съ 187 до 237, при температурѣ масла около 50° , хотя и сказалось нѣкоторымъ повышеніемъ показаній манометровъ, но много не довело ихъ до первоначальныхъ наивысшихъ величинъ, полученныхъ при сравнительно низкой температурѣ масла.

Съ другой стороны, тѣ же таблицы указываютъ на то обстоятельство, что для полученія высшихъ показаній манометровъ, дающихъ истинныя величины давленій на данныхъ элементахъ пяты, необходимо, какъ будто, кромѣ низкой температуры масла, болѣе или менѣе определенное число оборотовъ вала: всѣ такія показанія манометровъ получены при числѣ оборотовъ вала, не меньшемъ 130 въ минуту.

Полученныя величины давленій на поверхности пяты указываютъ съ несомнѣнностью, что нагрузка распределяется неравномѣрно по

пятѣ, что распредѣленіе это не подчиняется также закону Reye-Grashof'a, а что оно весьма сходно съ тѣмъ распредѣленіемъ давленій по длинѣ цапфы, которое было найдено Tower'омъ. Какъ тамъ давленіе на единицу поверхности увеличивается постепенно отъ краевъ цапфы къ ея серединѣ, такъ точно и здѣсь оно увеличивается по мѣрѣ приближенія къ средней окружности, проведенной на поверхности пяты на равномъ разстояніи отъ крайнихъ окружностей, ограничивающихъ поверхность пяты.

Превышеніе наибольшаго давленія надъ среднимъ давленіемъ здѣсь ниже, чѣмъ по опытамъ Tower'a для цапфы. Для пяты оно выражается только 40,6%, тогда какъ для цапфы—90%*).

Посмотримъ теперь, какіе результаты мы получимъ при опытахъ съ другими нагрузками пяты.

Въ дальнѣйшемъ сперва приводятся данныя опытовъ опредѣленія давленій на одной сторонѣ пятѣ; а затѣмъ будутъ приведены результаты опытовъ и для другой половины пяты.

Дальнѣйшіе
опыты съ
первой поло-
виной пяты.

При опытахъ съ пятой, нагруженной только до 4,7 kg./cm.², результаты которыхъ приведены въ слѣдующихъ таблицахъ №№ 6, 7 и 8:

Таблица № 6.

Нагрузка—4,7 kg./cm.²; температура въ помѣщеніи—18°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число обо- ротовъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			26,0		2 ч. 22 м.
7,0	0	0	27,5	137	2 ч. 25 м.
15,4	0	0	30,5	166	2 ч. 30 м.
13,5	3,0	0	33,5	181	2 ч. 35 м.
13,3	5,4	0,3	36,5	188	2 ч. 40 м.
13,0	5,8	0,3	39,0	199	2 ч. 45 м.
13,1	5,4	0,3	41,0	201	2 ч. 50 м.
13,0	4,3	0,3	42,8	204	2 ч. 55 м.
13,0	3,4	0,2	44,0	208	3 ч. 0 м.
12,8	1,5	0	46,5	210	3 ч. 10 м.
12,9	0	0	47,5	192	3 ч. 20 м.
13,0	0	0	48,0	195	3 ч. 30 м.
13,1	0	0	48,5	195	3 ч. 40 м.
13,1	0	0	48,9	195	3 ч. 50 м.
13,2	0	0	49,2	195	4 ч. — м.
13,2	0	0	49,8	197	4 ч. 10 м.

*) Bach. Maschinen-Elemente. 1908. s. 490.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число оборо-	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ван- ны t° С.	товъ вала въ минуту.	
12,9	0	0	50,1	197	4 ч. 20 м.
12,9	0	0	50,4	198	4 ч. 30 м.
11,0	0	0	50,8	199	4 ч. 40 м.
11,0	0	0	51,4	197	4 ч. 50 м.
11,0	0	0	51,7	200	5 ч. — м.
13,5	0	0	52,8	254	5 ч. 5 м.
13,5	0	0	54,0	276	5 ч. 10 м.
13,0	0	0	55,5	282	5 ч. 20 м.

Таблица № 7.

Нагрузка—4,7 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—20°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число обо-	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ванны t° С.	ротовъ вала въ минуту.	
			20,0		9 ч. 50 м.
0	0	0	23,5	143	9 ч. 55 м.
11,8	0	0	29,0	191	10 ч. — м.
11,7	3,5	0	33,0	189	10 ч. 5 м.
11,4	6,2	0,5	36,0	199	10 ч. 10 м.
11,4	7,0	0,6	38,0	204	10 ч. 15 м.
11,3	6,7	0,5	40,0	208	10 ч. 20 м.
11,3	6,3	0,3	41,5	210	10 ч. 25 м.
11,4	5,7	0,3	43,0	208	10 ч. 30 м.
11,3	5,0	0,3	44,0	197	10 ч. 35 м.
11,6	2,6	0	44,5	198	10 ч. 40 м.
11,5	2,0	0	45,5	200	10 ч. 45 м.
11,5	1,0	0	46,0	200	10 ч. 50 м.
11,5	0	0	46,5	200	10 ч. 55 м.
11,5	0	0	47,0	204	11 ч. — м.
11,4	0	0	47,5	207	11 ч. 5 м.
11,2	0	0	48,0	216	11 ч. 10 м.
11,3	0	0	48,5	212	11 ч. 15 м.

Таблица № 8.

Нагрузка—4,7 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура	Число оборо-	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.	масляной ванны t° С.	товъ вала въ минуту.	
			16		10 ч. 5 м.
3,0	0	7,0	20,0	140	10 ч. 10 м.
4,8	2,0	6,5	28,0	170	10 ч. 15 м.
6,1	7,3	6,5	32,0	183	10 ч. 20 м.
6,0	7,1	6,4	35,0	193	10 ч. 25 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
5,9	6,9	6,3	37,0	200	10 ч. 30 м.
5,8	6,8	6,1	39,0	202	10 ч. 35 м.
5,8	6,7	6,0	41,0	199	10 ч. 40 м.
5,7	6,6	6,0	42,5	198	10 ч. 45 м.
5,7	6,6	5,9	43,5	201	10 ч. 50 м.
5,5	6,5	5,8	45,0	198	10 ч. 55 м.
5,5	6,5	5,7	46,5	198	11 ч. — м.
5,3	6,3	5,6	47,0	197	11 ч. 5 м.
5,1	6,2	5,4	47,5	198	11 ч. 10 м.
5,0	6,0	5,3	48,0	195	11 ч. 15 м.

замѣчается слѣдующая особенность: при первыхъ двухъ опытахъ, какъ это видно изъ таблицъ № 6 и № 7, нагрузка распредѣлялась крайне неравномѣрно и при этомъ сильно увеличиваясь къ внутреннему углубленію 0 на поверхности пяты; если подсчитать въ процентахъ отношеніе наибольшаго давленія на единицѣ поверхности пяты къ среднему, то выходитъ, что первое превосходитъ второе на 118%; между тѣмъ опытъ, произведенный при той же нагрузкѣ пяты уже послѣ продолжительной работы ея съ нагрузками, во много разъ превышающими разсматриваемую, даетъ для распредѣленія давленій кривую (см. таблицу № 8, или Таб. III, черт. 5), аналогичную той, которая была получена при нагруженіи пяты до 10,4 kg./cm.² И что еще замѣчательно, такъ это то, что, несмотря на громадную разницу въ законѣ распредѣленія давленій, представленныхъ таблицами № 6 и № 7 съ одной стороны и таблицей № 8 съ другой, среднія давленія на единицѣ опорной поверхности въ томъ и другомъ случаѣ совершенно одинаковы (5,6 kg./cm.²).

Весьма вѣроятно, что такое неравномѣрное распредѣленіе давленій, какое дается таблицами № 6 и № 7, можетъ быть объяснено просто мѣстной неровностью поверхности пяты, нормальное же распредѣленіе давленій выражается таблицей № 8, на что указываютъ и результаты опыта при той же нагрузкѣ для другой половины пяты, каковыя (см. ниже—таблицу № 25) весьма близки къ даннымъ таблицы № 8.

Въ слѣдующихъ таблицахъ № 9—№ 23 приводятся результаты опытовъ по опредѣленію давленій при другихъ высшихъ нагрузкахъ (15,7—43,7 kg./cm.²) пяты.

Таблица № 9.

Нагрузка—15,7 kg/cm.²; температура въ залѣ—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число обо- ротовъ вала въ минуту.	Время.	Примѣчаніе.
№ 1.	№ 2.	№ 3.				
4,0	4,5	20,5	25,0	—	3 ч. 15 м.	Съ 4 ч.
11,0	8,0	20,5	26,5	108	—	15 м. до 5

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.	Примѣчаніе.
№ 1.	№ 2.	№ 3.				
13,7	17,5	20,0	29,0	118	3 ч. 20 м.	ч. 5 м. пе-
13,9	20,8	19,0	30,0	123	3 ч. 23 м.	решивал-
15,0	22,2	18,5	32,0	187	3 ч. 26 м.	ся ремень.
14,8	21,6	17,9	34,0	199	3 ч. 30 м.	
14,5	20,6	17,2	36,2	198	3 ч. 35 м.	
13,7	19,8	16,5	39,5	184	3 ч. 40 м.	
13,1	18,5	15,8	42,0	185	3 ч. 45 м.	
12,8	17,8	15,5	44,0	189	3 ч. 55 м.	
12,6	17,3	15,5	—	—	4 ч. — м.	
12,4	17,0	15,5	46,5	196	4 ч. 5 м.	
12,1	16,7	15,5	—	—	4 ч. 10 м.	
11,7	16,4	15,6	48,0	205	4 ч. 15 м.	
11,7	16,1	11,5	38,0	178	5 ч. 5 м.	
11,1	15,0	11,0	40,0	182	5 ч. 10 м.	
11,1	14,8	11,5	44,0	191	5 ч. 15 м.	
10,2	13,5	10,5	46,5	191	5 ч. 20 м.	
10,2	13,2	10,0	49,2	203	5 ч. 25 м.	
10,0	12,6	10,0	51,0	203	5 ч. 30 м.	
10,7	13,5	10,5	51,0	260	5 ч. 35 м.	

Таблица № 10.

Нагрузка—21 кг./см².; температура въ помѣщеніи—15,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
8,0	5,5	20,0	16,0	55	10 ч. 10 м.
14,1	19,0	20,5	18,0	69	—
15,3	21,5	21,0	19,0	77	—
16,5	22,0	22,0	20,0	89	—
19,3	24,0	22,5	22,0	135	10 ч. 22 м.
20,3	24,8	22,0	26,0	185	10 ч. 25 м.
18,6	22,5	20,5	29,0	176	10 ч. 27 м.
17,2	21,3	19,4	31,5	185	10 ч. 30 м.
15,5	18,6	18,2	37,5	181	10 ч. 35 м.
14,4	17,8	17,5	40,0	189	10 ч. 40 м.
13,6	17,0	17,0	45,0	200	10 ч. 50 м.
12,8	16,0	16,5	46,5	189	10 ч. 54 м.
11,8	15,4	16,0	48,0	191	11 ч. — м.
11,4	13,3	15,6	49,5	189	11 ч. 10 м.
11,1	13,0	15,5	50,5	191	11 ч. 20 м.
10,9	13,0	15,6	51,3	195	11 ч. 30 м.
10,9	12,6	15,5	52,2	196	11 ч. 40 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
10,8	12,4	15,5	52,8	199	11 ч. 50 м.
10,7	12,1	15,4	53,2	199	12 ч. — м.
10,7	12,0	15,3	53,7	200	12 ч. 10 м.
10,6	11,8	15,4	54,1	202	12 ч. 20 м.
12,0	13,0	15,0	55,2	270	12 ч. 30 м.
11,8	12,4	14,5	56,8	272	12 ч. 40 м.

Таблица № 11.

Нагрузка—26,2 кг./см².; температура въ помѣщеніи—18°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
—	—	—	18,5	—	9 ч. 56 м.
17,0	3,5	14,0	—	—	—
19,0	14,5	22,0	—	—	—
22,0	26,5	25,7	—	152	10 ч. 5 м.
26,5	29,6	28,9	29,0	168	10 ч. 6 м.
24,2	28,1	27,7	34,0	176	10 ч. 10 м.
23,5	26,2	27,2	37,5	191	10 ч. 15 м.
22,2	24,2	26,2	43,0	197	10 ч. 20 м.
21,0	22,7	25,9	46,5	183	10 ч. 25 м.
20,5	21,0	24,0	51,0	188	10 ч. 35 м.
20,0	18,8	22,8	55,0	183	10 ч. 45 м.
19,5	17,3	21,9	58,0	191	10 ч. 55 м.
19,5	16,2	20,6	60,5	191	11 ч. 5 м.
19,5	15,0	19,8	64,0	199	11 ч. 15 м.
19,0	14,1	19,2	66,5	205	11 ч. 25 м.
18,5	13,5	19,5	68,0	199	11 ч. 35 м.
18,2	13,0	19,6	69,5	197	11 ч. 45 м.
18,0	12,8	20,0	70,0	199	11 ч. 55 м.
18,2	12,8	20,6	70,5	206	12 ч. 5 м.

Таблица № 12.

Нагрузка—26,2 кг./см².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
11,0	11,8	23,0	24,0	61	3 ч. 27 м.
17,5	16,3	25,5	25,0	79	—
20,7	26,3	27,5	27,0	98	—
23,6	28,7	29,0	29,5	127	—
25,4	31,3	30,1	3,30	198	—
23,0	28,9	28,1	35,0	175	3 ч. 40 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
20,7	26,3	26,5	39,0	178	3 ч. 45 м.
19,8	23,8	25,4	45,0	200	3 ч. 55 м.
18,3	21,8	24,4	48,5	185	4 ч. — м.
17,2	20,8	23,3	51,0	181	4 ч. 10 м.
17,1	20,0	22,8	52,8	183	4 ч. 20 м.
17,3	20,1	22,9	55,0	202	4 ч. 30 м.
17,1	18,2	22,1	56,8	202	4 ч. 40 м.
17,1	17,8	20,0	58,2	202	4 ч. 50 м.
17,1	17,2	18,5	59,2	202	5 ч. — м.
16,3	17,1	19,0	59,8	207	5 ч. 10 м.
16,3	16,9	18,5	60,2	206	5 ч. 20 м.
16,2	16,8	18,5	60,5	207	5 ч. 30 м.
16,2	16,6	18,0	60,5	208	5 ч. 40 м.
17,5	17,8	18,5	62,0	262	5 ч. 50 м.
17,5	17,6	18,5	63,0	270	6 ч. — м.

Таблица № 13.

Нагрузка—26,2 кг./см.²; температура въ помещеніи—16,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
15,0	15,0	29,0	23,0	71	2 ч. 15 м.
20,0	28,8	29,5	25,0	75	2 ч. 20 м.
22,0	28,5	31,0	27,0	75	2 ч. 25 м.
21,5	27,5	27,5	29,0	78	2 ч. 35 м.
20,8	25,5	27,0	31,5	72	2 ч. 50 м.
21,7	28,0	27,0	31,5	122	3 ч. — м.
21,0	26,0	26,5	36,0	133	3 ч. 10 м.
20,3	24,0	26,0	38,5	130	3 ч. 20 м.
19,3	23,1	26,0	40,0	130	3 ч. 30 м.

Таблица № 14.

Нагрузка—31,5 кг./см.²; температура въ помещеніи—18°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			18,0		10 ч. 5 м.
26,0	29,1	31,0	27,0	137	—
30,0	36,2	36,0	—	160	10 ч. 13 м.
25,6	32,0	33,0	36,0	169	10 ч. 20 м.
19,0	24,8	31,0	44,5	185	10 ч. 30 м.
18,3	21,3	28,5	52,0	202	10 ч. 40 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
16,7	18,7	25,0	57,5	191	10 ч. 50 м.
16,3	16,8	23,3	63,5	194	11 ч. — м.
16,3	16,0	23,3	66,8	194	11 ч. 10 м.
16,1	15,2	22,0	69,8	200	11 ч. 20 м.
15,9	14,3	21,0	72,5	204	11 ч. 30 м.

Таблица № 15.

Нагрузка—36,7 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—17°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			19,0		11 ч. 30 м.
20,5	35,2	39,5	—	130	11 ч. 35 м.
30,2	39,3	39,0	26,0	139	11 ч. 37 м.
35,0	39,8	39,0	32,0	154	11 ч. 40 м.
32,0	36,6	37,5	40,5	187	11 ч. 50 м.
27,0	28,6	34,5	50,0	201	12 ч. — м.
20,5	23,0	31,5	57,5	205	12 ч. 10 м.
17,0	16,6	25,5	64,5	210	12 ч. 20 м.
14,2	15,3	24,2	70,5	210	12 ч. 30 м.
13,4	14,0	21,0	75,0	210	12 ч. 40 м.

Таблица № 16.

Нагрузка 36,7 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			17,0		10 ч. 7 м.
19,2	30,0	36,0	—	132	—
29,5	40,0	40,0	28,0	156	10 ч. 17 м.
35,2	40,2	41,0	30,0	178	10 ч. 20 м.
34,6	39,4	39,5	34,0	180	10 ч. 25 м.
27,5	33,0	37,5	—	—	—
27,2	28,5	36,5	—	—	—
26,5	26,0	35,5	40,5	185	10 ч. 35 м.
25,5	24,0	34,5	45,0	193	10 ч. 45 м.
22,5	22,0	29,5	54,5	174	10 ч. 55 м.
20,0	19,0	23,0	64,0	168	11 ч. 5 м.

Таблица № 17

Нагрузка—36,7 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16,8°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			17,0		1 ч. 25 м.
25,0	27,0	39,0	22,0	110	1 ч. 30 м.
32,2	35,0	40,0	26,5	139	
36,7	40,0	39,0	31,0	172	1 ч. 35 м.
33,7	37,0	38,0	36,0	178	1 ч. 40 м.
26,6	28,5	36,5	41,0	169	1 ч. 45 м.
23,4	24,3	35,0	45,0	172	1 ч. 50 м.
21,6	22,0	34,0	51,0	183	2 ч. — м.
21,1	21,0	33,0	55,0	185	2 ч. 10 м.
20,8	20,3	32,0	59,0	193	2 ч. 20 м.
20,5	18,3	29,5	62,5	195	2 ч. 30 м.
20,2	17,9	29,0	65,5	198	2 ч. 40 м.

Таблица № 18.

Нагрузка—42 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—15,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			15,5°		9 ч. 48 м.
32,0	37,0	48,0	17,5	79	9 ч. 53 м.
36,0	42,5	48,0	21,0	108	9 ч. 59 м.
40,4	47,0	48,5	25,5	140	10 ч. 2 м.
37,6	45,5	46,5	32,0	164	10 ч. 5 м.
32,6	40,6	45,0	38,0	174	10 ч. 10 м.
25,2	34,0	43,0	43,5	187	10 ч. 15 м.
24,0	30,0	41,0	49,0	193	10 ч. 20 м.
22,8	26,2	37,5	57,0	202	10 ч. 30 м.
22,0	25,2	32,0	64,5	207	10 ч. 40 м.
21,0	24,0	32,5	68,0	210	10 ч. 50 м.
21,0	24,0	32,5	71,0	212	11 ч. — м.

Таблица № 19.

Нагрузка—42 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			16,0°		10 ч. 10 м.
26,0	34,0	40,0	17,0	—	—
37,0	41,0	46,0	—	131	—
39,0	45,0	47,0	29,0	141	—

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
40,0	47,5	48,0	32,0	187	10 ч. 25 м.
38,2	42,0	44,0	42,0	191	10 ч. 30 м.
33,8	34,0	37,0	48,0	187	10 ч. 40 м.
28,0	26,0	33,0	55,0	191	10 ч. 50 м.
25,0	25,0	34,0	59,0	204	11 ч. — м.
23,4	24,0	32,0	63,8	187	11 ч. 10 м.

Таблица № 20.

Нагрузка—47,3 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			16,0°		10 ч. 40 м.
35,0	47,0	54,0	—	145	—
47,4	55,3	55,0	31,0	152	10 ч. 50 м.
47,2	52,1	53,0	38,0	168	10 ч. 55 м.
40,4	45,1	50,0	44,5	178	11 ч. — м.
31,2	35,5	48,0	50,0	181	11 ч. 5 м.
30,2	32,6	46,0	54,0	183	11 ч. 10 м.
29,4	30,0	44,0	59,0	195	11 ч. 15 м.
28,8	27,5	39,0	64,0	195	11 ч. 20 м.
28,3	26,6	38,0	68,0	208	11 ч. 25 м.
27,0	25,5	33,0	72,0	210	11 ч. 30 м.

Таблица № 21.

Нагрузка—47,3 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			22,0°		11 ч. 30 м.
30,0	47,0	55,0	28,0	129	11 ч. 35 м.
46,5	57,0	56,0	32,0	135	11 ч. 45 м.
47,0	56,0	55,0	38,0	138	11 ч. 50 м.
45,5	51,0	53,0	44,0	162	11 ч. 55 м.
38,5	44,0	49,0	48,0	165	12 ч. — м.
32,6	39,0	46,0	52,6	170	12 ч. 5 м.
28,3	35,2	44,0	56,0	175	12 ч. 10 м.
26,1	31,3	42,5	59,0	175	12 ч. 15 м.
25,0	27,0	40,0	63,0	177	12 ч. 20 м.

Таблица № 22.

Нагрузка—47,3 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—17°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.	Примѣчаніе.
№ 1.	№ 2.	№ 3.				
			23,0°		2 ч. 35 м.	
33,0	45,0	56,0	24,0	79	2 ч. 40 м.	Въ промежуткахъ времени отъ 2 ч. 55 м. до 3 ч. 20 м. и отъ 3 ч. 45 м. до 4 ч. 5 м. аппаратъ останавливался, а затѣмъ снова пускался въ ходъ.
44,5	51,5	57,0	27,5	85	2 ч. 45 м.	
46,7	53,0	56,0	32,0	93	2 ч. 50 м.	
45,1	54,0	52,0	35,0	96	2 ч. 55 м.	
45,0	52,0	53,0	30,0	92	3 ч. 20 м.	
42,0	48,0	49,0	34,0	94	3 ч. 25 м.	
40,2	45,5	48,0	36,5	98	3 ч. 30 м.	
38,4	43,4	47,0	40,0	100	3 ч. 35 м.	
34,6	36,7	41,0	45,0	96	3 ч. 45 м.	
36,0	40,0	48,0	36,0	94	4 ч. 5 м.	
34,4	38,2	44,0	41,0	96	4 ч. 10 м.	
31,5	35,6	42,0	46,0	93	4 ч. 20 м.	
27,3	29,1	38,0	50,0	104	4 ч. 30 м.	

Таблица № 23.

Нагрузка—47,3 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1.	№ 2.	№ 3.			
			16,0°		10 ч. 18 м.
39,0	45,0	58,0	22,0	106	10 ч. 25 м.
49,0	55,0	58,0	25,0	133	10 ч. 27 м.
42,0	46,0	52,0	37,0	168	10 ч. 35 м.
36,3	40,5	50,0	42,0	174	10 ч. 40 м.
33,1	37,5	48,0	46,0	177	10 ч. 45 м.
31,7	33,0	43,0	51,0	189	10 ч. 50 м.
29,2	30,0	40,5	55,0	174	10 ч. 55 м.
28,1	29,0	39,0	58,0	168	11 ч. — м.

Нѣкоторые изъ этихъ опытовъ съ опредѣленными нагрузками продолжались были, подобно вышеописаннымъ, по нѣскольку разъ; при вычерчиваніи кривыхъ (см. табл. III, черт. 5) распредѣленія давленій брались среднія величины изъ этихъ опытовъ; по этимъ же среднимъ величинамъ подсчитывались среднія давленія на единицу поверхности пяты, отношенія наибольшихъ давленій къ среднимъ и проч.; результаты всѣхъ этихъ подсчетовъ приведены въ таблицѣ № 24. Опыты съ одной и той же нагрузкой пяты никогда не производились подрядъ, а всегда чередовались съ опытами при другихъ нагрузкахъ.

Не повторяя здѣсь тѣхъ выводовъ, которые уже были сдѣланы на основаніи таблицъ № 1—№ 8, и которые легко усматриваются также изъ таблицъ № 9—№ 23, укажу только на то обстоятельство, что наивысшія показанія при нагрузкѣ пяты въ $26,2 \text{ kg./cm}^2$ были получены при одномъ опытѣ (см. табл. № 13) при числѣ оборотовъ вала равномъ только 75 въ минуту, а при опытахъ съ нагрузкой въ $47,3 \text{ kg./cm}^2$ —при числѣ оборотовъ вала равномъ 93 (см. таб. № 22), т. е. при числахъ оборотовъ вала, много меньшихъ тѣхъ, которыя имѣли мѣсто при первыхъ опытахъ. Остановимся теперь на таблицѣ № 24.

Таблица № 24.

Нагрузка на см. ² опорной поверхности пяты въ kg., вычисленная на основаніи нагрузки рычага и прини- мая во вним. собств. вѣсъ его и вала.	Среднія показанія манометровъ въ атм.			Средняя на- грузка на см. ² поверхности пяты въ kg., выведенная изъ наблю- деній.	Разность между выве- денной изъ опытовъ и вычисленной a priori на- грузками пяты.	Та же раз- ность въ ‰ по отноше- нію къ вы- численной нагрузкѣ пяты.	Превышеніе наблюдаемаго давленія надъ сред- нимъ давле- ніемъ въ ‰.
	№ 1.	№ 2.	№ 3.				
47,0	6,1	7,3	6,5	5,6	+0,9	+19 20/0	30,40/0
—	12,2	6,4	0,45	5,6	+0,9	+19,20/0	118,00/0
10,4	11,6	14,9	11,6	10,6	+0,2	+1,9 0/0	40,60/0
15,7	15,0	22,2	18,5	15,6	-0,1	-0,640/0	42,30/0
21,0	20,3	24,8	22,5	19,1	-1,9	-9,0 0/0	29,90/0
26,2	24,6	29,8	30,0	24,9	-1,3	-5,0 0/0	20,50/0
31,5	30,0	36,2	36,0	30,0	-1,5	-4,8 0/0	20,60/0
36,7	35,6	40,0	39,7	34,2	-2,5	-6,8 0/0	17,00/0
42,0	40,2	47,3	48,3	40,2	-1,8	-4,3 0/0	20,10/0
47,3	47,4	55,1	56,3	46,5	-0,8	-1,9 0/0	21,00/0

Изъ разсмотрѣнія этой таблицы, мы можемъ вывести слѣдующія заключенія: за исключеніемъ опытовъ со средней нагрузкой пяты въ $4,7 \text{ kg./cm}^2$, давшихъ несогласіе между среднимъ давленіемъ на поверхности пяты, полученнымъ изъ опытовъ, и таковымъ же, вычисленнымъ на основаніи полной нагрузки, въ $19,20/0$, данныя опытовъ съ другими нагрузками пяты не даютъ разности между только что указанными величинами выше $90/0$, въ большинствѣ же случаевъ разность эта еще меньше, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже совсѣмъ ничтожна.

То явленіе, что всѣ опыты съ нагрузкой пяты въ $15,7 \text{ kg/cm}$ и выше даютъ среднее давленіе на единицѣ поверхности пяты ниже таковаго же вычисленнаго на основаніи полной нагрузки пяты, можетъ быть отчасти объяснено существованіемъ, хотя и небольшихъ, сотрясеній рычага, избѣжать которыхъ при указанныхъ нагрузкахъ не было никаксіи возможности.

Та же таблица № 24 показываетъ, что превышеніе наибольшаго наблюдаемаго давленія надъ среднимъ давленіемъ меньше при большихъ нагрузкахъ пяты ($17-20\%$), чѣмъ при меньшихъ ($40-118\%$).

Замѣтно также проявляется склонность къ перемѣщенію наибольшаго давленія съ измѣненіемъ нагрузки пяты (см. Табл. III, черт. 5): наибольшее давленіе съ увеличеніемъ нагрузки перемѣщается къ наружному краю пяты.

Что касается замѣченнаго Васч'омъ постояннаго перемѣщенія наибольшаго давленія по радіальному направленію пяты отъ наружнаго края ея къ центру и обратно, то оно на основаніи всѣхъ вышеприведенныхъ результатовъ нашихъ опытовъ врядъ ли можетъ быть установлено; впрочемъ, едвали даже явленіе это и могло проявиться въ виду недостаточной продолжительности нашихъ опытовъ, въ особенности имѣя въ виду большую твердость матеріала пяты (закаленный чугунъ): за время опытовъ износъ пяты не могъ проявиться въ достаточной степени.

Нѣкоторыя едва замѣтныя указанія на перемѣщеніе наибольшаго давленія въ радіальномъ направленіи все же имѣются: такъ, если обратить вниманіе на данныя таблицъ № 1—№ 3, то, какъ видно и изъ самыхъ таблицъ и изъ черт. 5 Табл. III, наибольшее давленіе при каждомъ изъ этихъ трехъ опытовъ перемѣщалось немного къ наружному краю пяты; весьма интересно то, что при опытѣ № 3, произведенномъ позднѣе опытовъ № 20—№ 23, все же замѣтно перемѣщеніе наибольшаго давленія наружу, по сравненію съ таковыми же опытами № 1 и № 2.

На тоже самое указываютъ и таблицы № 11—№ 13; № 15—№ 17; № 20—№ 23; но перемѣщеніе это очень незначительно, и, во всякомъ случаѣ, проявилось оно въ меньшей степени, чѣмъ передвиженіе наибольшаго давленія при увеличеніи нагрузки пяты.

Опыты съ
другой поло-
виной пяты.

Приведемъ теперь результаты опытовъ по опредѣленію давленій на другой половинѣ пяты (см. таблицы № 25—29), а также результаты подсчетовъ среднихъ давленій, превышеній наибольшихъ давленій надъ средними и проч. (см. табл. № 30).

Таблица № 25.

Нагрузка $4,7 \text{ kg./cm}^2$; температура въ помѣщеніи— $16,5^\circ$.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны $^\circ \text{C}$.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'	№ 2'	№ 3'			
			17,0		11 ч. 10 м.
3,3	5,2	6,0	26,0	106	11 ч. 12 м.
3,3	6,0	6,0	27,5	135	11 ч. 15 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'.	№ 2'.	№ 3'.			
3,4	6,8	6,0	28,0	161	11 ч. 17 м.
3,6	7,2	6,5	29,0	166	11 ч. 19 м.
3,7	7,3	6,5	30,0	191	11 ч. 22 м.
3,8	7,6	6,8	31,0	193	11 ч. 25 м.
3,9	7,5	6,6	32,0	196	11 ч. 28 м.
3,8	7,4	6,5	33,0	201	11 ч. 30 м.
3,6	7,2	6,4	34,5	203	11 ч. 35 м.
3,5	7,1	6,3	36,0	202	11 ч. 40 м.
3,5	6,9	6,1	38,0	206	11 ч. 45 м.
3,5	6,8	6,0	49,5	200	11 ч. 50 м.
3,4	6,7	6,0	31,0	198	11 ч. 5 м.
3,4	6,6	5,8	42,0	199	12 ч. — м.
3,4	6,5	5,7	42,5	197	12 ч. 5 м.
3,4	6,5	5,6	43,5	198	12 ч. 10 м.

Таблица № 26.

Нагрузка—21 kg./cm².; температура въ помещеніи—16,0°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° C.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'	№ 2'	№ 3'			
14,0	17,0	20,0	16,5	—	10 ч. 50 м.
20,0	25,2	22,0	24,0	151	11 ч. — м.
21,0	26,0	22,0	27,0	174	11 ч. 5 м.
20,7	25,0	21,0	32,0	199	11 ч. 10 м.
20,0	23,5	20,0	35,5	205	11 ч. 15 м.
18,8	21,0	18,5	39,0	210	11 ч. 20 м.
18,5	20,0	18,0	42,0	218	11 ч. 25 м.
17,8	18,0	17,0	43,5	220	11 ч. 30 м.
16,6	17,0	16,5	45,0	224	11 ч. 35 м.
15,5	16,0	15,5	47,0	230	11 ч. 40 м.
14,6	14,5	15,0	48,0	231	11 ч. 45 м.
13,3	13,7	14,4	48,0	210	—
12,2	13,0	13,9	48,0	189	—
11,0	12,2	13,3	48,0	169	—
9,8	11,4	12,7	48,0	147	—
8,5	10,5	12,0	48,0	121	11 ч. 55 м.

Таблица № 27.

Нагрузка—26,2 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'	№ 2'	№ 3'			
			16,0		10 ч. 10 м.
13,0	10,0	28,0	17,0	96	10 ч. 15 м.
23,0	29,0	29,0	20,0	121	10 ч. 20 м.
25,2	30,0	29,0	25,0	150	10 ч. 25 м.
25,0	27,5	27,0	29,0	164	10 ч. 30 м.
20,7	25,5	24,5	33,0	174	10 ч. 35 м.
18,0	22,8	23,0	35,0	183	10 ч. 40 м.
17,2	21,0	20,5	37,0	191	10 ч. 45 м.
16,5	18,2	19,0	38,0	162	10 ч. 50 м.
15,1	16,1	17,0	39,0	137	10 ч. 55 м.
13,8	14,2	15,0	39,0	111	11 ч. — м.

Таблица № 28.

Нагрузка—31,5 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—17°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.	Примѣч.
№ 1'	№ 2'	№ 3'				
			17,0		10 ч. — м.	Въ промѣжуткѣ времени отъ 10 ч. 25 м. до 11 ч. аппаратъ останавливался.
12,0	16,0	25,0	18,0	74	—	
17,5	20,0	29,0	19,0	96	—	
23,0	30,0	34,5	21,0	106	10 ч. 10 м.	
28,5	32,5	36,5	22,0	114	—	
32,5	37,5	37,5	25,0	135	10 ч. 13 м.	
28,2	35,0	35,0	32,0	172	10 ч. 20 м.	
27,5	32,0	33,5	36,0	181	10 ч. 25 м.	
13,5	18,5	32,0	32,0	135	11 ч. 5 м.	
14,8	28,0	31,5	37,0	167	11 ч. 15 м.	
15,4	26,2	30,2	42,0	181	11 ч. 20 м.	
15,2	24,4	29,2	45,0	188	11 ч. 25 м.	
14,7	22,2	28,0	47,5	198	11 ч. 30 м.	
14,0	20,0	26,5	50,0	198	11 ч. 35 м.	
13,4	16,5	20,5	50,0	121	11 ч. 45 м.	

Таблица № 29.

Нагрузка—42,0 kg./cm².; температура въ помѣщеніи—16,5°.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ван- ны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время.
№ 1'	№ 2'	№ 3'			
			17,0		9 ч. 32 м.
33,8	35,0	44,0	24,0	122	9 ч. 40 м.
39,2	43,3	47,0	31,5	148	9 ч. 45 м.

Показанія манометровъ въ атм.			Температура масляной ванны t° С.	Число оборо- товъ вала въ минуту.	Время
№ 1'	№ 2'	№ 3'			
41,9	46,1	46,8	37,6	184	9 ч. 50 м.
38,6	45,2	46,0	42,5	188	9 ч. 55 м.
36,2	43,0	45,1	48,0	190	10 ч. — м.
32,1	36,3	43,8	52,2	190	10 ч. 5 м.
26,7	31,5	41,1	56,0	189	10 ч. 10 м.
21,9	25,6	37,2	59,1	192	10 ч. 15 м.
19,2	22,4	35,1	62,3	190	10 ч. 20 м.
18,1	21,2	34,6	65,2	193	10 ч. 25 м.
17,6	20,3	33,8	68,6	189	10 ч. 30 м.
17,5	20,3	33,6	70,0	188	10 ч. 35 м.
17,5	20,1	33,5	71,2	185	10 ч. 40 м.

Таблица № 30.

Нагрузка на см. ² опорной поверхности пята въ kg., вычисленная на основаніи нагрузки рычага и прини- мая во вним. собствен. вѣсъ его и вала	Среднія показанія манометровъ въ атм.			Средняя нагрузка на см. ² поверхности пята въ kg., выведенная изъ наблюде- ній.	Разность между выведен- ной изъ опытовъ и вычи- сленной а priori нагрузкой на пята.	Таже разность въ % по отношенію къ вычисленной нагрузкѣ пята.	Превышеніе наибольшаго наблюдаемаго давленія надъ среднимъ давленіемъ въ %.
	№ 1'	№ 2'	№ 3'				
4,7	3,8	7,6	6,8	5,1	+0,4	+8,5%	49,0%
10,4	11,2	13,6	12,3	10,5	+0,1	+0,96%	29,5%
15,7	—	—	—	—	—	—	—
21,0	21,0	26,0	22,0	20,0	—1,0	—4,8%	30,0%
26,2	25,2	30,0	29,0	24,9	—1,3	—5,0%	20,5%
31,5	32,5	37,5	37,5	31,6	+0,1	+0,32%	18,7%
36,7	—	—	—	—	—	—	—
42,0	41,9	46,1	46,8	40,0	—2,0	—4,8%	17,0%

Всѣ эти таблицы съ несомнѣнностью свидѣтельствуютъ о тѣхъ выводахъ, которые были уже сдѣланы нами раньше на основаніи опытовъ съ первой половиной пята: о большомъ совпаденіи среднихъ давленій, выведенныхъ изъ результатовъ опытовъ и вычисленныхъ на основаніи полной нагрузки пята; о пониженіи превышенія наибольшихъ давленій надъ среднимъ съ увеличеніемъ нагрузки и о перемѣщеніи наибольшаго давленія на единицу поверхности пята къ наружному ея краю и проч.

Такимъ образомъ, резюмируя все вышеизложенное, можно представить его въ видѣ слѣдующихъ положеній, болѣе или менѣе достовѣрныхъ въ предѣлахъ опытовъ:

Положенія.

1) Предлагаемый методъ изслѣдованія распредѣленія давленій по поверхности пяты можетъ дать правильное представленіе о распредѣленіи этого давленія.

2) Произведенные опыты указываютъ на нѣкоторую аналогію, въ особенности до средней нагрузки пяты въ 21 kg./cm^2 , между закономъ распредѣленія давленій по длинѣ цапфы, найденнымъ Tower'омъ, и закономъ распредѣленія давленій на поверхности кольцевой пяты въ радіальномъ направленіи.

3) Опыты эти, не подтверждая вполне положеній Bach'a о постоянномъ перемѣщеніи наибольшихъ давленій въ томъ и другомъ направленіи по радіусу пяты, что, впрочемъ, вполне понятно въ виду недостаточной продолжительности опытовъ, все же даютъ нѣкоторые признаки радіального перемѣщенія наибольшихъ давленій съ теченіемъ времени.

4) Произведенные опыты даютъ основаніе считать наибольшія давленія на поверхности пяты перемѣщающимися по радіусу по направленію къ наружному краю ея съ повышеніемъ нагрузки.

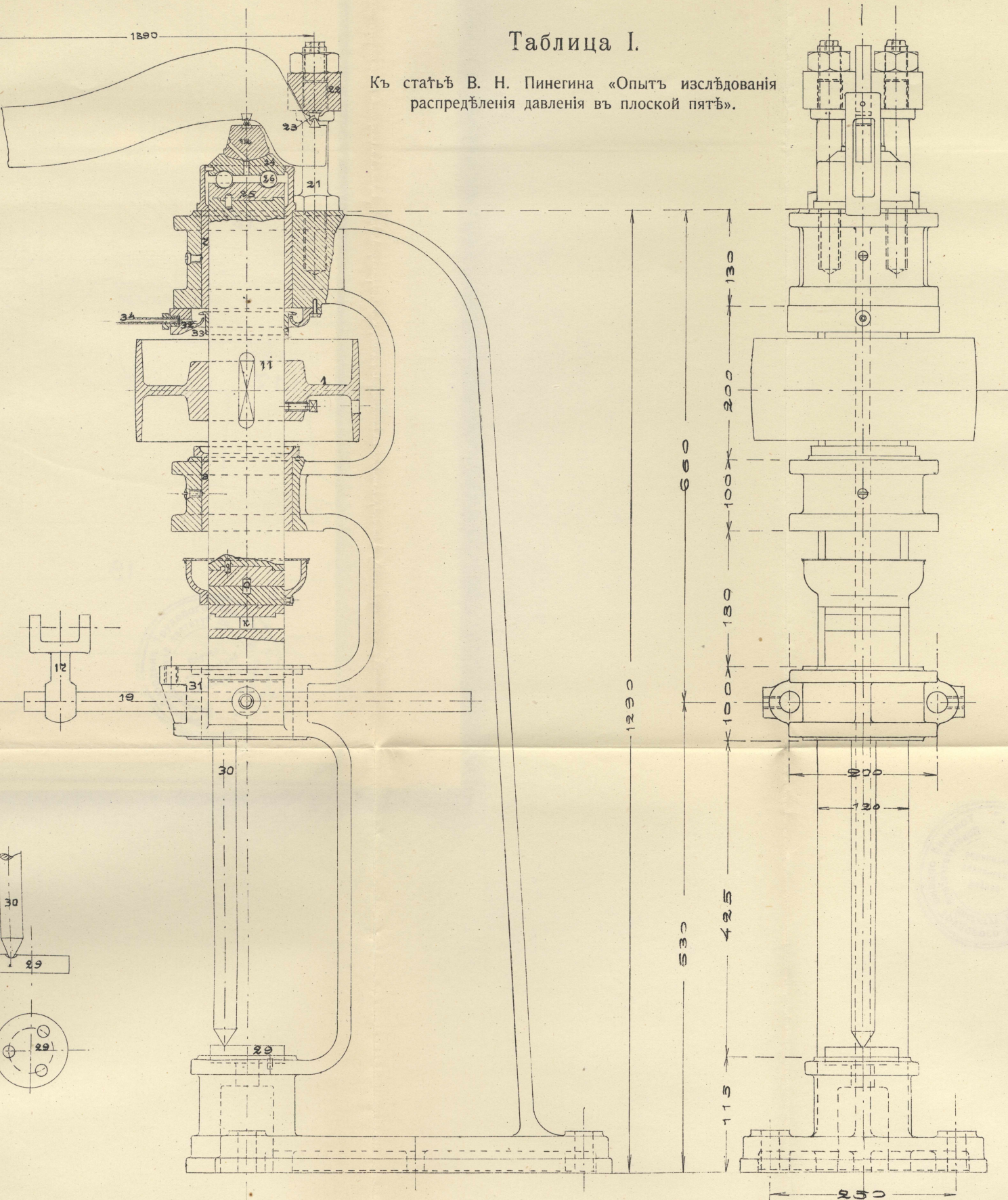
5) Превышеніе наибольшаго давленія на единицѣ поверхности пяты надъ среднимъ давленіемъ уменьшается по мѣрѣ увеличенія нагрузки пяты.

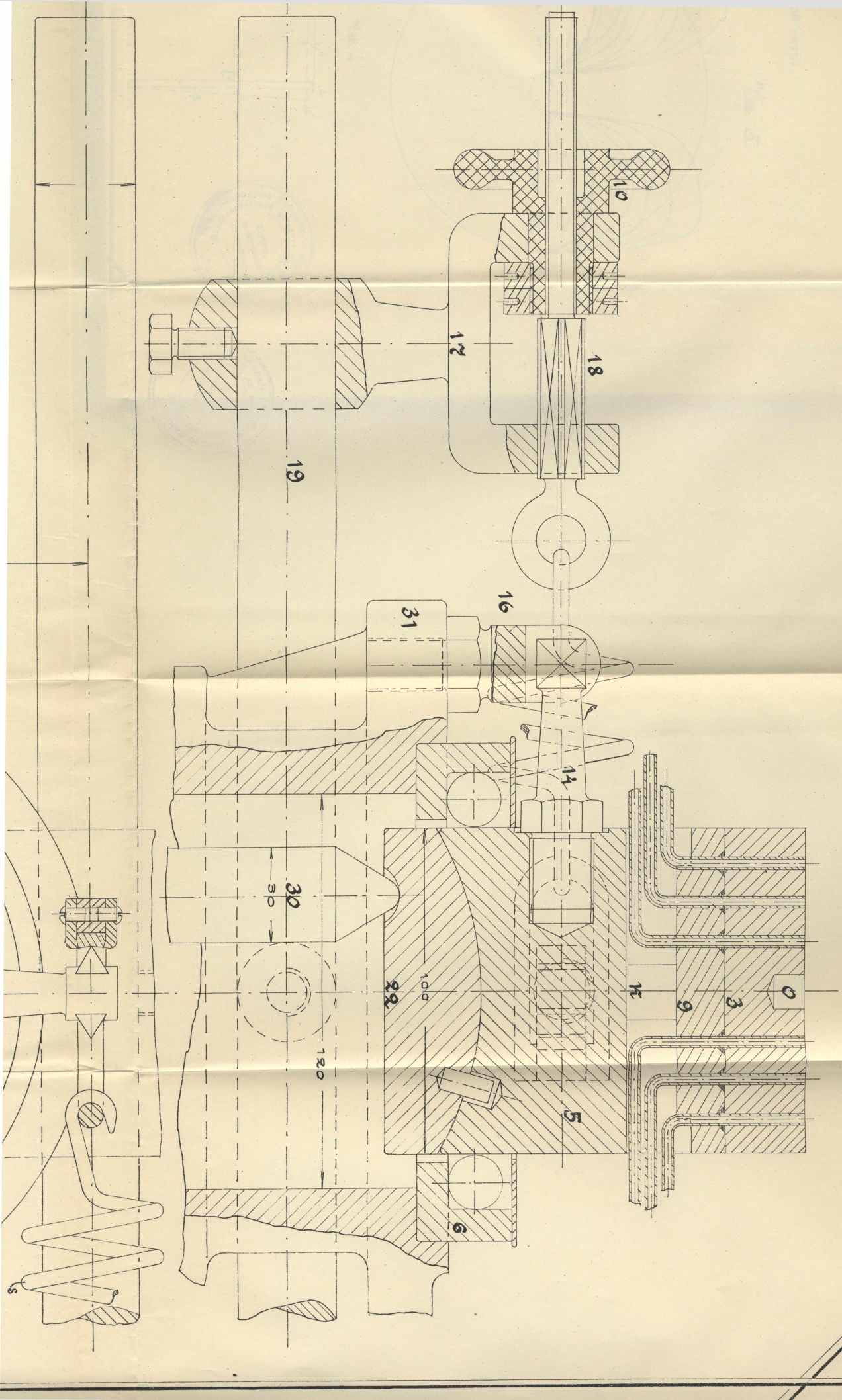
В. Пинегинъ.

Томскъ, 27-го мая 1909 г.

Таблица I.

Къ статѣ В. Н. Пинегина «Опытъ изслѣдованія
распределенія давленія въ плоской пятѣ».





Къ статъѣ В. Н. Пинегина

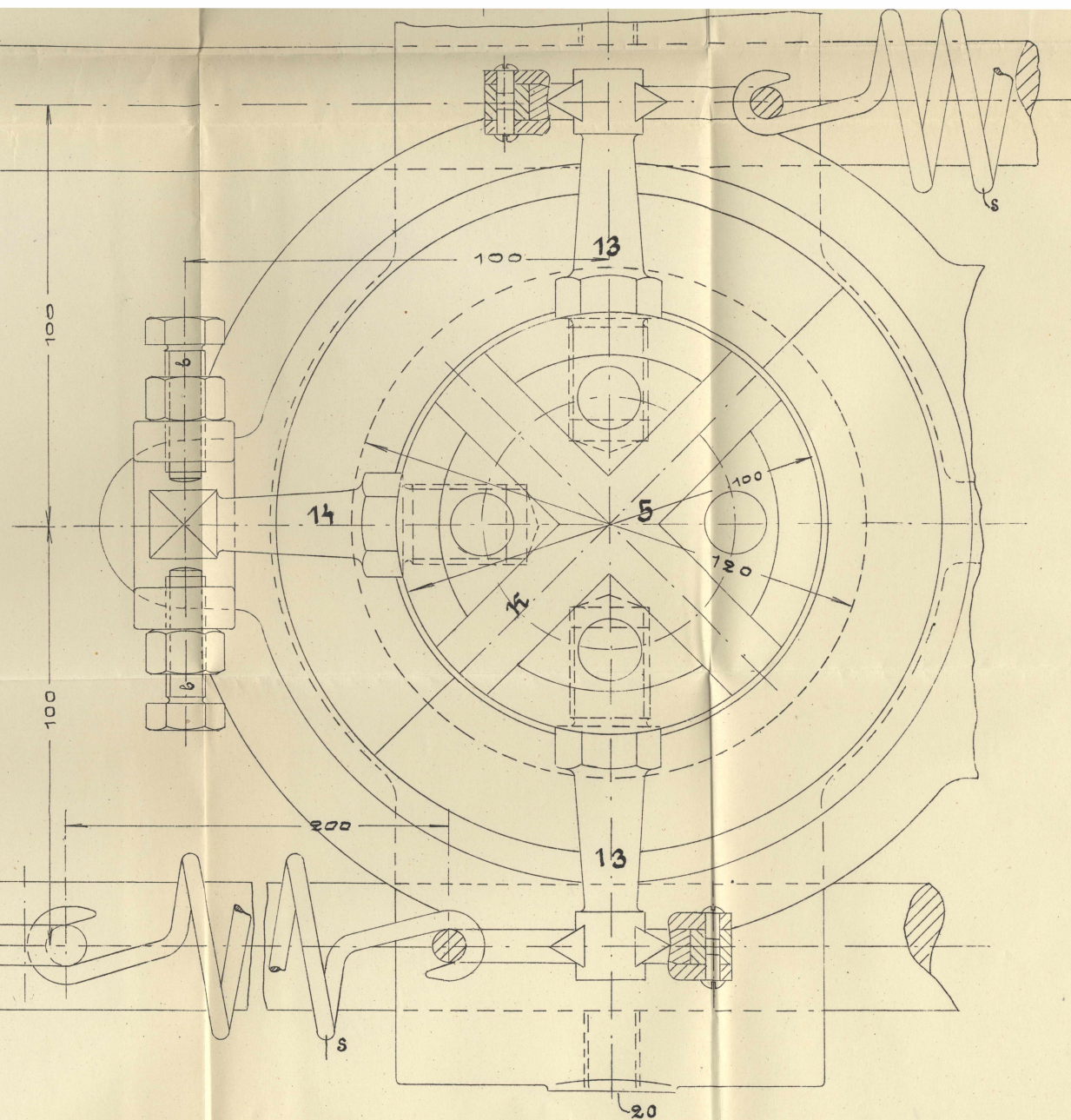


Таблица III.

Къ статьѣ В. Н. Пинегина «Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленія въ плоской пятѣ».

