

Изслѣдованіе тренія въ плоской пятѣ.

В. Н. Пинегинъ.

Еще въ опубликованной мною въ 1909 году статьѣ: „Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленій на плоской пятѣ“¹⁾, я указалъ (см. стр. 11) на то, что мною, одновременно съ изслѣдованіемъ распредѣленія давленій на плоской пятѣ, было произведено изслѣдованіе тренія; къ сожалѣнію, опубликованіе результатовъ этого послѣдняго изслѣдованія задерживалось изъ за недостатка времени обработать опытные данныя, и только теперь, наконецъ, спустя почти два года, я получилъ возможность сдѣлать это.

Въ виду того, что настоящая статья является естественнымъ продолженіемъ вышеуказанной статьи, я позволю себѣ здѣсь совершенно не касаться описанія самага аппарата для изслѣдованія тренія въ пятѣ, подробно описаннаго и изображеннаго на чертежахъ въ первой статьѣ.

Произвести изслѣдованіе тренія въ плоской пятѣ (изъ закаленнаго чугуна) меня побудило то обстоятельство, что вопросъ этотъ является весьма назрѣвшимъ, въ виду большого распространенія такихъ пятъ въ водяныхъ турбинахъ, а также намѣчающейся возможности и даже высказывающейся нѣкоторыми инженерами желательности построенія паровыхъ турбинъ съ вертикальной осью²⁾, при конструированіи которыхъ едва ли обойдутся безъ примѣненія плоскихъ пятъ. Выборъ же пяты изъ закаленнаго чугуна былъ сдѣланъ вслѣдствіе того, что въ современномъ турбиностроеніи начали примѣнять плоскія кольцевыя пяты по преимуществу изъ закаленнаго чугуна, и только въ рѣдкихъ случаяхъ дѣлають ихъ изъ стали и фосфористой бронзы. Допускаемая нагрузка для такихъ чугунныхъ пятъ считается средней въ предѣлахъ 30--60 kg./cm.², а иногда поднимается до

Поводы
къ произ-
водству
настоя-
щихъ из-
слѣдова-
ній.

¹⁾ См. Извѣстія Томскаго Технологическаго Института. 1909 г., т. 14.

²⁾ *Lasche*. Die Reibungsverhältnisse in Lagern mit hoher Umfangsgeschwindigkeit. Zeit d. Ver. d. Ingen. 1902, s. 1883.

90 kg./cm.² ¹⁾). Число оборотовъ турбиннаго вала тоже все увеличиваютъ, и въ настоящее время 150—200, даже 300, оборотовъ въ минуту считается обычнымъ.

Между тѣмъ, опытовъ по изслѣдованію тренія въ пятахъ было произведено очень мало; если не считать отдѣльныхъ опредѣленій коэффиціента тренія въ пятѣ, сдѣланныхъ нѣкоторыми экспериментаторами, то мнѣ, по крайней мѣрѣ, извѣстно только одно систематическое изслѣдованіе Woodbury ²⁾); послѣдній производилъ свои опыты съ кольцевой плоской пятой съ внѣшнимъ радіусомъ въ 0,1907 фут. (4,85 см.) и съ внутреннимъ въ 0,1195 фут. (3,03 см.), при измѣненіяхъ давленія въ предѣлахъ отъ 1 до 40 фунтовъ на кв. дюймъ (0,07—2,8 kg./cm.²), температуры масла въ предѣлахъ 40—100° Far. (4,44—37,78° C), и при числѣ оборотовъ, не превышающемъ 300 въ минуту. Отсюда видно, что если еще можно удовлетвориться для цѣлей турбиностроенія числомъ оборотовъ при опытахъ Woodbury, то предѣлы нагрузокъ и температуръ, имѣвшіе мѣсто въ его опытахъ, совершенно не соотвѣтствуютъ современнымъ условіямъ работы пята.

Имѣются, правда, прекрасныя изслѣдованія тренія Hirn'a ³⁾, Tower'a ⁴⁾, Martens'a ⁵⁾, Thurston'a ⁶⁾, Lasche ⁷⁾, Dettmar'a ⁸⁾ и друг., и въ особенности Stribeck'a ⁹⁾, но эти изслѣдованія касаются тренія въ цапфахъ, и переносить результаты такихъ опытовъ на пята считается невозможнымъ, такъ какъ „скорости въ серединѣ и на окружности пята очень значительно отличаются другъ отъ друга; смазка въ виду вліянія центробѣжной силы и въ виду совершенно иного характера пластинъ, находится въ совершенно иныхъ условіяхъ, сравнительно со смазкой шиповъ“ ¹⁰⁾.

¹⁾ Pfarr. Wasserturbinen, 1907, s. 468.

²⁾ Woodbury. Measurements of Friction of Lubricating Oils Engineering. 1884, s. 532, а также: Rudeloff. Woodbury's Verfahren und Apparat zur Untersuchung des Reibungskoeffizienten von Schmierölen. Zeit. d. Verein. d. Ingen. 1885, s. 451.

³⁾ Hirn. Etudes sur les principaux phénomènes que présentent les frottements mediats. Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. 1854.

⁴⁾ Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1883.

⁵⁾ Martens. Schmieröluntersuchungen. Mittheilungen aus den K. technischen Versuchsanstalten, Ergänzungsheft III, 1888 und V, 1889.

⁶⁾ Thurston. Friction and lost Work. 1898.

⁷⁾ Lasche. Die Reibungsverhältnisse in Lagern mit hoher Umfangsgeschwindigkeit. Zeit. d. Verein. d. Ing. 1902. № 50, 51, 52.

⁸⁾ Dettmar. Neue Versuche über Lagerreibung nebst neuer Berechnungsmethode derselben. Dinglers polyt. Journal. Bd. 315. 1900.

⁹⁾ Stribeck. Die wesentlichen Eigenschaften der Gleit- und Rollenlager. Zeit. d. Verein. d. Ingen. 1902. S. 341 u. f.

¹⁰⁾ Lasche. Die Reibungsverhältnisse etc. s. 1883.

Наконецъ, существуетъ, какъ извѣстно, гидродинамическая теорія тренія, данная нашимъ русскимъ инженеромъ Н. Петровымъ ¹⁾, нашедшая себѣ много сторонниковъ, какъ среди русскихъ ученыхъ, такъ и иностранныхъ, и вызвавшая большую литературу ²⁾ по этому вопросу; по этой теоріи треніе въ частяхъ машинъ, хорошо смазываемыхъ, сводится, главнымъ образомъ, на внутреннее треніе въ смазывающей жидкости.

Теорія эта, развитая, главнымъ образомъ, въ примѣненіи къ тренію цапфы въ подшипникѣ, весьма просто распространяется и на случай пяты, какъ показали еще Петровъ ³⁾. Но, если, съ одной стороны, имѣется цѣлый рядъ опытовъ, подтверждающихъ его теорію, по крайней мѣрѣ въ примѣненіи къ цапфѣ, въ извѣстныхъ предѣлахъ (опыты самого Петрова ⁴⁾, Fr. Masi ⁵⁾, John Goodman'a ⁶⁾, Couette'a ⁷⁾,

¹⁾ Н. Петровъ. Треніе въ машинахъ и вліяніе на него смазывающей жидкости. Инженерный журналъ. 1883. № 1, 2, 3.

„ Описаніе и результаты опытовъ надъ треніемъ жидкостей и машинъ. Извѣстія С.-Петерб. Технологическаго Института. 1885, и отдѣльное изданіе 1886 г.

²⁾ N. Petroff. Sur le frottement des liquides. Извѣстія И. Акад. Наукъ. Т. V. № 5. 1896.

„ Ueber ein physikalisches Verfahren zur Bestimmung der Eigenschaften eines Schmiermittels. Baumaterialienkunde. 1889, S. 269.

„ Frottement dans les machines. Записки И. Акад. Наукъ по физ.-матем. отдѣленію. Т. X. № 4. 1900.

„ Procédé de détermination des qualités d'un liquide lubrifiant. Communications présentées devant le Congrès international des méthodes d'essai de matériaux de construction. Т. II. 1901.

M. Osb. Reynolds. On the Theory of Lubrication. Philosophical Transactions of the Royal Society. Part. 1. 1886.

Н. Жуковский. О гидродинамической теоріи тренія хорошо смазанныхъ тѣлъ. Журналъ Рус. Физ.-Хим. Общества. Вып. 7. 1886.

А. Гречаниновъ. Гидродинамическая теорія тренія хорошо смазаннаго шипа въ подшипникѣ. Сообщенія матем. О—ва при Харьк. Университетѣ. 1886.

Fr. Masi. Le nuove vedute nelle ricerche teoriche ed esperimentali sull'attrito. 1897.

A. Sommerfeld. Zur hydrodynamischen Theorie der Schmiermittelreibung. Zeit. für Mathematik und Physik. Bd. 50. 1904. S. 97 u. f.

Н. Жуковский и Чаплыгинъ. О тренія смазочн. слоя между шипомъ и подшипникомъ. Труды Отд. физ. наукъ И. М. О. Л. Е. А. Э. Т. XII. 1905.

Н. Петровъ. Гидродинамическая теорія тренія до работы Зоммерфельда и сущность сдѣланнаго имъ шага впередъ. Вѣстникъ О—ва технологовъ. 1905, стр. 189 и слѣд.

³⁾ Н. Петровъ. Практическіе результаты опытовъ и гидродинамической теоріи. 1887, стр. 73 и слѣд.

⁴⁾ Н. Петровъ. Описаніе и результаты etc.

⁵⁾ Fr. Masi. Le nuove vedute etc.

⁶⁾ John Goodman. Recent researches in friction. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. LXXXV. Session 1885—1886. Part. III.

⁷⁾ Couette. Etudes sur le frottement des liquides. Ann. de Chim. et de Physique. 1890; см. также: Petroff. Sur le frottement etc.

то, съ другой стороны, опыты Stribeck'a, Dettmar'a, Lasche и друг. даютъ результаты, несогласные съ этой теоріей; по опытамъ Stribeck'a, напр., законъ измѣненія коэффициента тренія весьма сложенъ и трудно укладывается въ рамки какой либо формулы.

Имѣя все это въ виду, я и рѣшилъ, одновременно съ изслѣдованіемъ распредѣленія давленій на плоской пятѣ, произвести также изслѣдованіе тренія, въ надеждѣ, что мнѣ удастся хотя что нибудь освѣтить въ этомъ трудномъ и сложномъ вопросѣ.

Предѣлы изслѣдованія тренія. Я уже упоминалъ въ первой статьѣ, что произвести изслѣдованія тренія и распредѣленія давленій въ тѣхъ предѣлахъ нагрузокъ и скоростей, въ какихъ я первоначально предполагалъ, мнѣ не удалось. Причина этому заключалась въ не совсѣмъ удачномъ способѣ нагруженія пяты: рычагъ, на который подвѣшивалась доска для наложенія грузовъ, при большихъ скоростяхъ и нагрузкахъ приходилъ въ сильное колебательное движеніе и, изъ опасенія, съ одной стороны, поломки машины, а съ другой стороны, и невозможности получить при такихъ условіяхъ спокойную нагрузку пяты, приходилось уменьшать скорость и разгружать пята. Такимъ образомъ, максимальная возможная скорость была приблизительно при 280 оборотахъ пяты въ минуту; минимальная же возможная скорость, въ виду того, что имѣвшійся въ моемъ распоряженіи моторъ не допускалъ слишкомъ малаго числа оборотовъ, а добавочной передачи невозможно было устроить, не спускалась ниже той, которая соотвѣтствовала 60—50 оборотамъ пяты въ минуту, и только, какъ исключеніе, въ нѣсколькихъ случаяхъ удалось получить величину коэффициента тренія при меньшемъ числѣ оборотовъ пяты (и только при минимальной средней нагрузкѣ пяты въ $4,7 \text{ kg./cm.}^2$).

Среднія нагрузки пяты, какъ это уже извѣстно изъ первой статьи, колебались въ предѣлахъ отъ $4,7 \text{ kg./cm.}^2$ до $47,3 \text{ kg./cm.}^2$.

Пружины для измѣренія силы тренія и ихъ градуированіе. Способъ измѣренія силы тренія въ пятѣ описанъ подробно въ первой статьѣ¹⁾. Тамъ, между прочимъ, сказано, что для измѣренія тренія необходимо было предварительно градуировать растяженіе пружинъ s , s (см. таблицу II чертежей первой статьи) по величинѣ растягивающей ихъ силы.

Въ виду особаго назначенія пружинъ въ данномъ случаѣ, онѣ были заказаны мною изъ лучшей тигельной стали на специальной

¹⁾ Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленій etc., стр. 9 и слѣд.

фабрикѣ пружинъ—Spiralfedernfabrik von Iohan Bulir (Berlin), и имѣли размѣры:

діаметръ сѣченія пружины— $6^m/m$;

средній діаметръ пружины— $30^m/m$;

длина пружины вмѣстѣ съ крючками— $200^m/m$;

число завитковъ пружины—10;

шагъ завитка— $11,5^m/m$.

Самое градуированіе пружинъ произведено было мною такимъ образомъ.

Десятичные вѣсы съ предѣльнымъ взвѣшиваемымъ грузомъ въ 500 kg. были поставлены на столъ t (см. схематич. черт. 1 Листа I); подвѣсная доска для наложенія гирь была снята и замѣнена соотвѣтствующаго вѣса грузомъ, подвѣшеннымъ къ рычагу вѣсовъ на проволокѣ; на вертикальный стержень m, имѣвшійся случайно въ лабораторіи укрѣпленнымъ въ полу, былъ надѣтъ ухватикъ 17 (см. таблицу II чертежей статьи первой) и закрѣпленъ на такой высотѣ, чтобы пружина s, однимъ своимъ крюкомъ задѣтая за петлю болта 18, другимъ крюкомъ захватывала за петлю рычага вѣсовъ, на которой раньше висѣла доска для наложенія гирь; конечно, столъ съ вѣсами былъ поставленъ такъ, чтобы пружина приняла, по возможности, вертикальное положеніе.

На четырехгранныхъ призматическихъ стержняхъ болтовъ 18 были нанесены на дѣлительной машинѣ миллиметровыя и полумиллиметровыя дѣленія; отсчетъ этихъ дѣленій при движеніи болтовъ вдоль оси производился по положенію четырехгранныхъ стержней болтовъ относительно внутренней плоской поверхности ухватиковъ 17, той поверхности, въ которой сдѣлано отверстіе для прохода только что указанныхъ стержней болтовъ 18. Рычагъ вѣсовъ былъ сначала выведенъ въ верхнее крайнее положеніе (соотвѣтствующее нагрузкѣ вѣсовъ); этому положенію соотвѣтствовало нулевое дѣленіе на призматическихъ стержняхъ болтовъ; затѣмъ на платформу вѣсовъ была положена гиря въ 50 kg; вращая гайку 10 (см. таблицу II первой статьи и черт. 1 Листа I), приводили рычагъ вѣсовъ въ положеніе равновѣсія и замѣчали число дѣленій на призматическомъ стержнѣ болта, на которое послѣдній передвинулся; это число дѣленій и давало величину растяженія пружины при нагрузкѣ ея въ 5 klg. (въ 10 разъ меньше груза, положеннаго на платформу). Затѣмъ, платформа нагружалась еще новой гирей въ 50 kg, рычагъ снова выходилъ изъ положенія равновѣсія; вращеніемъ гайки 10 рычагъ приводился опять въ горизонтальное положеніе, и получали новое число дѣленій, на которое передви-

нулся болтъ, а слѣдовательно и величину растяженія пружины и т. д.; пружину нагружали такимъ образомъ до 45 kg. Послѣ этого начинали снимать постепенно гири (по 50 kg.) съ платформы и замѣчали, вращая гайку 10 въ другую сторону, соотвѣтствующее этому уменьшенію нагрузки пружины укорачиваніе ея длины; разгрузку производили до нуля.

Предварительно этому испытанію, пружина была вытянута нѣсколько разъ грузомъ въ 50 kg., чтобы привести ее въ болѣе или менѣе „установившееся состояніе“.

Самый опытъ съ испытаніемъ каждой пружины (№ 1 и 2) и градуированіемъ ея растяженія былъ повторенъ два раза.

Результаты этихъ испытаній приведены въ таблицахъ № 1 и № 2, а затѣмъ изображены графически на Листѣ I (масштабъ силъ: $1^m/m \sim 0,2$ kg., масштабъ удлинений: $1^m/m \sim 0,1^m/m$ удлин.).

Таблица № 1.

Нагрузка пружины въ kg.	Пружина № 1.		Пружина № 2.	
	Полное растяженіе пружины въ m/m.	Разность растяженій пружины при различныхъ нагрузкахъ.	Полное растяженіе пружины въ m/m.	Разность растяженій пружины при различныхъ нагрузкахъ.
0	0		0	
5	4,0	+4,0	3,4	+3,4
10	8,1	+4,1	7,0	+3,6
15	11,6	+3,5	10,8	+3,8
20	15,5	+3,9	14,6	+3,8
25	19,0	+3,5	18,3	+3,7
30	22,6	+3,6	21,9	+3,6
35	26,2	+3,6	25,4	+3,5
40	29,5	+3,3	29,0	+3,6
45	32,8	+3,3	32,5	+3,5
40	29,4	—3,4	29,1	—3,4
35	26,0	—3,4	25,7	—3,4
30	22,8	—3,2	22,3	—3,4
25	19,5	—3,3	19,0	—3,3
20	16,0	—3,5	15,6	—3,4
15	12,1	—3,9	12,3	—3,3
10	8,3	—3,8	9,0	—3,3
5	4,6	—3,7	5,0	—4,0
0	0,5	—4,1	0,8	—4,2

Таблица № 2.

Нагрузка пружинъ въ kg.	Пружина № 1.		Пружина № 2.	
	Полное рас- тяженіе пружины въ m/m.	Разность рас- тяженій пружины при различныхъ нагрузкахъ.	Полное рас- тяженіе пружины въ m/m.	Разность рас- тяженій пружины при различныхъ нагрузкахъ.
0	0		0	
5	4,1	+4,1	4,2	+4,2
10	8,3	+4,2	7,7	+3,5
15	11,6	+3,3	11,5	+3,8
20	15,1	+3,5	15,0	+3,5
25	18,5	+3,4	18,3	+3,3
30	21,9	+3,4	21,8	+3,5
35	25,3	+3,4	25,2	+3,4
40	28,7	+3,4	28,6	+3,4
45	32,1	+3,4	31,9	+3,3
40	28,6	—3,5	28,4	—3,5
35	25,2	—3,4	25,0	—3,4
30	22,1	—3,1	21,5	—3,5
25	18,4	—3,7	18,1	—3,4
20	15,3	—3,1	14,6	—3,5
15	11,6	—3,7	11,1	—3,5
10	8,1	—3,5	7,6	—3,5
5	4,5	—3,6	3,9	—3,7
0	0,2	—4,3	0	—3,9

Кривыя растяженій, какъ при нагрузкахъ пружинъ, такъ и при разгрузкахъ нанесены отъ одной точки—начала координатъ; на основаніи этихъ четырехъ кривыхъ для каждой пружины построены среднія кривыя, изображенныя на чертежѣ сплошными линіями.

Этими послѣдними кривыми и пользовались впослѣдствіи для опредѣленія по растяженію пружинъ соотвѣтствующей силы тренія.

Для смазыванія пяты употреблялось масло, изготовляемое фабрикой Deutz'a, такъ называемое Gasmotorenöl.

Не смотря на то, что свѣжее масло все время подводилось тонкой струйкой въ масляную ванну, отводя, конечно, соотвѣтствующее количество его изъ ванны черезъ особый кранъ, нагреваніе масла происходило довольно быстро, и удержать его на опредѣленной температурѣ было весьма затруднительно.

Измѣреніе
температу-
ры смазы-
вающего
масла.

Измѣреніе температуры масла производилось посредствомъ термометра, опущеннаго въ масляную ванну, причемъ было обращено вниманіе на то, чтобы ртутный резервуаръ термометра находился все время около самага края трущейся поверхности пяты; масляная ванна была все время закрыта крышкой, въ которой и было продѣлано отверстіе для прохода термометра.

На основаніи опытовъ Stribeck'a ¹⁾ можно было предполагать, что разность между температурой масла въ ваннѣ, измѣряемой такимъ образомъ, и температурой смазывающаго трущуюся поверхность пяты слоя будетъ не особенно значительна: какъ извѣстно, по опытамъ Stribeck'a оказалось, что температура масла въ резервуарѣ подшипника отличалась отъ температуры вкладыша вблизи трущейся его поверхности на $3-8^{\circ}\text{C}$, да и то въ началѣ опыта и при 1100 оборотахъ цапфы въ минуту, при 63 же оборотахъ въ минуту только на $1-1,5^{\circ}\text{C}$; въ дальнѣйшемъ, по мѣрѣ нагрѣванія масла, эта разность сводилась почти на нѣтъ. Въ нашемъ случаѣ, по самому устройству подвода смазки, и при числахъ оборотовъ ниже 300 въ минуту, можно было ожидать, что разность въ вышеуказанныхъ температурахъ, во всякомъ случаѣ, будетъ не выше соотвѣтствующей разности при опытахъ Stribeck'a, а слѣдовательно весьма невысокой.

Прираба-
тываніе
пяты.

Чтобы дать возможность пятѣ приработаться, ее заставляли работать при различныхъ нагрузкахъ въ теченіе недѣли часовъ по семи въ день. Прирабатываніе началось при наименьшей нагрузкѣ въ $4,7\text{ kg./cm}^2$, и только послѣ того, какъ при этой нагрузкѣ достигнуто было болѣе или менѣе установившееся состояніе температуры масла въ ваннѣ, переходили къ слѣдующей нагрузкѣ и т. д. При нагрузкѣ въ $4,7\text{ kg./cm}^2$ установившееся состояніе температуры масла достигнуто было при температурѣ около $48-49^{\circ}\text{C}$. При болѣе большихъ нагрузкахъ установившаяся температура лежала очень высоко—около 80°C , и при послѣдующихъ опытахъ съ изслѣдованіемъ распредѣленія давленій и силы тренія до такой температуры не доходили.

Во время прирабатыванія пяты никакихъ измѣреній давленія въ пятѣ и силы тренія не дѣлалось; вся задача въ это время сводилась на то, чтобы познакомиться вообще съ работой пяты, расположить удобно для наблюденій манометры, прослѣдить за измѣненіемъ температуры масла въ ваннѣ, понаблюдать за работой мотора при малыхъ скоростяхъ, а также за тѣмъ, на сколько удачна вышла пригонка мѣдныхъ трубокъ для измѣренія давленій къ плашкамъ пяты, и не проходитъ ли въ

¹⁾ Stribeck. Die wesentlichen Eigenschaften etc., s. 1344.

мѣстахъ пригонки масло и проч. Въ это же время, какъ я уже указывалъ въ первой статьѣ, оказалось, что одной канавки для подвода масла къ трущейся поверхности пяты недостаточно: пята очень быстро нагрѣвалась; пришлось, поэтому, сдѣлать четыре канавки. Оказалось также, что для уменьшенія нагрѣва пяты необходимо измѣнить циркуляцію масла отъ главнаго резервуара къ шейкамъ вала и къ самой пятѣ (см. первую статью, стр. 8).

Только послѣ того, какъ пята достаточно приработалась, приступлено было къ измѣреніямъ силы тренія и распредѣленія давленій на пятѣ.

Производ-
ство опы-
товъ по
изслѣдо-
ванію тре-
нія.

Измѣренія величины силы тренія производились не только одновременно съ опредѣленіемъ распредѣленія давленій по пятѣ, но кромѣ того, по окончаніи послѣднихъ опытовъ, продѣланъ былъ еще рядъ опытовъ специально для измѣренія силы тренія.

При послѣднихъ опытахъ обращалось особенное вниманіе на то, чтобы, сохраняя, по возможности, какую либо опредѣленную температуру масла, прослѣдить при выбранной нагрузкѣ пяты измѣненіе величины силы тренія въ зависимости отъ измѣненія числа оборотовъ пяты: но достигнуть этого было очень трудно: даже при постоянномъ числѣ оборотовъ температура масла съ теченіемъ времени повышалась, а всякое увеличеніе числа оборотовъ сейчасъ же отзывалось болѣе быстрымъ повышеніемъ температуры масла; лучше эта постоянность температуры сохранялась при болѣе высокихъ температурахъ масла.

Сохранять число оборотовъ при измѣненіи температуры масла также представлялось затруднительнымъ, такъ какъ измѣненіе температуры, а, слѣдовательно, и силы тренія въ пятѣ, влекло за собой измѣненіе скорости вращенія мотора.

Все это было причиной того, что приходилось получать при какой либо опредѣленной нагрузкѣ пяты величины силы тренія, въ большинствѣ случаевъ, при различныхъ температурахъ и при различномъ числѣ оборотовъ пяты. Поэтому, чтобы получить тѣ величины силы тренія, которыя соотвѣтствовали какой либо одной опредѣленной температурѣ и одной нагрузкѣ пяты, приходилось выбирать соотвѣтствующія значенія силы тренія изъ цѣлаго ряда опытовъ. Но, конечно, выбрать значенія силы тренія, которыя бы соотвѣтствовали точно опредѣленному градусу температуры, было невозможно, пришлось ограничиться выборомъ значеній силы тренія въ небольшихъ интервалахъ (въ $2-3^{\circ}\text{C}$) температуръ масла.

Такимъ образомъ, нами получены были величины силы тренія при температурахъ масла въ $18-20^{\circ}$, $27-29^{\circ}$, $37-39^{\circ}$, $48-50^{\circ}$ и $58-60^{\circ}\text{C}$.

Средняя температура въ каждой изъ этихъ группъ температуръ отличается, какъ видно, одна отъ другой, приблизительно, на 10° С.

Результаты опытовъ.

Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ № 3 -- 46 приведены, какъ самыя величины растяженій (R) пружинъ, вслѣдствіе тренія въ пятѣ, такъ и опредѣленные по этимъ растяженіемъ съ помощью діаграммъ Листа I величины силъ (S), вызвавшихъ указываемыя растяженія пружинъ при различныхъ нагрузкахъ и числахъ оборотовъ (n) пята.

Таблица № 3.

Нагрузка пята 4,7 kg./cm ² . Температура масла 18—20° С.						
n.	60	70	82	104	135	165
R въ m/m.	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
S въ kg.	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,45
μ.	0,0192	0,0215	0,0236	0,0249	0,0260	0,0274

Таблица № 4.

Нагрузка пята 10,4 kg./cm ² . Температура масла 18—19° С				
n.	79	98	135	170
R въ m/m	2,3	2,4	2,5	2,6
S въ kg.	2,8	2,95	3,05	3,15
μ.	0,0143	0,0151	0,0156	0,0161

Таблица № 5.

Нагрузка пята 15,7 kg./cm ² . Температура масла 18—19° С.			
n.	73	95	164
R въ m/m.	3,1	3,2	3,3
S въ kg.	3,75	3,9	4,0
μ	0,0128	0,0133	0,0137

Таблица № 6.

Нагрузка пяты 21,0 kg./cm ² . Температура масла 18—20° C.					
n.	55	77	89	135	150
R въ m/m.	3,8	3,8	3,7	3,8	3,9
S въ kg.	4,6	4,6	4,5	4,6	4,75
μ .	0,0116	0,0116	0,0114	0,0116	0,0120

Таблица № 7.

Нагрузка пяты 26,2 kg./cm ² . Температура масла 18—20° C.				
n.	61	75	110	150
R въ m/m.	4,5	4,3	4,2	4,6
S въ kg.	5,5	5,25	5,1	5,65
μ .	0,0111	0,0106	0,0103	0,0114

Таблица № 8.

Нагрузка пяты 31,5 kg./cm ² . Температура масла 18—20° C.					
n.	60	74	96	116	124
R въ m/m.	5,5	5,3	5,1	5,0	5,0
S въ kg.	6,8	6,5	6,3	6,15	6,15
μ .	0,0114	0,0109	0,0106	0,0103	0,0103

Таблица № 9.

Нагрузка пяты 36,7 kg./cm ² . Температура масла 19—20° C.			
n.	98	130	153
R въ m/m.	6,0	[5,7]	5,7
S въ kg.	7,4	7,05	7,05
μ .	0,0107	0,0102	0,0102

Таблица № 10.

Нагрузка пята 42,0 kg./cm. ² Температура масла 18—20° C.				
п.	100	108	130	155
R въ m/m.	6,9	6,8	6,7	6,6
S въ kg.	8,5	8,4	8,3	8,2
μ.	0,0108	0,0106	0,0105	0,0104

Таблица № 11.

Нагрузка пята 47,3 kg./cm. ² Температура масла 18—20° C.						
п.	55	65	79	106	139	157
R въ m/m.	9,5	8,5	8,1	7,8	7,6	7,5
S въ kg.	12,1	10,7	10,1	9,7	9,5	9,3
μ.	0,0136	0,0120	0,0113	0,0109	0,0107	0,0104

Таблица № 12.

Нагрузка пята 4,7 kg./cm. ² Температура масла 28—29° C.							
п.	17	29	34	70	106	137	217
R въ m/m.	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9
S въ kg.	0,825	1,0	1,225	1,6	1,85	2,1	2,3
μ.	0,0093	0,0113	0,0139	0,0181	0,0209	0,0238	0,0260

Таблица № 13.

Нагрузка пята 10,4 kg./cm. ² Температура масла 27—28° C				
п.	73	139	146	169
R въ m/m.	1,8	2,3	2,4	2,5
S въ kg.	2,2	2,8	2,95	3,05
μ.	0,0112	0,0143	0,0151	0,0156

Таблица № 14.

Нагрузка пята 15,7 kg./cm. ² Температура масла 28—29°.			
п.	83	123	187
R въ m/m.	2,6	2,9	3,3
S въ kg.	3,1	3,5	4,0
μ.	0,0105	0,0118	0,0137

Таблица № 15.

Нагрузка пята 21,0 kg./cm. ² Температура масла 26—28° C.							
п.	65	106	131	150	173	185	214
R въ m/m.	3,3	3,1	3,3	3,5	3,6	3,8	4,0
S въ kg.	4,0	3,75	4,0	4,25	4,4	4,6	4,9
μ.	0,0101	0,0095	0,0101	0,0108	0,0112	0,0116	0,0124

Таблица № 16.

Нагрузка пята 26,2 kg./cm. ² Температура масла 27—28° C.						
п.	61	75	98	127	152	198
R въ m/m.	4,4	4,2	4,1	3,9	4,0	4,
S въ kg.	5,4	5,1	5,0	4,8	4,9	5,0
μ.	0,0109	0,0103	0,0101	0,0096	0,0099	0,0101

Таблица № 17.

Нагрузка пята 31,5 kg./cm. ² Температура масла 27—28° C.								
п.	70	93	114	135	160	172	181	197
R въ m/m.	5,2	4,9	4,8	4,7	4,6	4,6	4,7	4,7
S въ kg.	6,4	6,0	5,9	5,75	5,65	5,65	5,75	5,75
μ.	0,0108	0,0101	0,0099	0,0097	0,0095	0,0095	0,0097	0,0097

Таблица № 18.

Нагрузка пята 36,7 kg./см. ² . Температура масла 28—29° C					
п.	79	130	156	167	196
R въ m/m.	5,9	5,5	5,4	5,3	5,2
S въ kg.	7,3	6,8	6,7	6,5	6,4
μ.	0,0105	0,0098	0,0097	0,0094	0,0092

Таблица № 19.

Нагрузка пята 42,0 kg./см. ² Температура масла 27—29° C.							
п.	75	85	108	131	140	164	188
R въ m/m.	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0
S въ kg.	8,95	8,5	8,3	8,1	7,8	7,7	7,5
μ.	0,0112	0,0108	0,0105	0,0103	0,0099	0,0097	0,0095

Таблица № 20.

Нагрузка пята 47,3 kg./см. ² Температура масла 28—29° C.							
п.	58	79	85	92	135	162	220
R въ m/m.	10,2	7,9	7,8	7,7	7,2	7,0	6,8
S въ kg.	13,0	9,9	9,7	9,6	8,95	8,7	8,4
μ.	0,0145	0,0111	0,0109	0,0108	0,0100	0,0098	0,0094

Таблица № 21.

Нагрузка пята 4,7 kg./см. ² Температура масла 37—38° C.								
п.	36	84	130	146	188	199	200	205
R въ m/m.	0,9	1,2	1,5	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7
S въ kg.	1,1	1,45	1,83	1,83	1,9	2,1	1,9	2,1
μ.	0,0125	0,0164	0,0206	0,0206	0,0215	0,0236	0,0215	0,0236

Таблица № 22.

Нагрузка пяты 10,4 kg./см. ² Температура масла 38—39° С.										
п.	91	110	129	133	137	160	174	194	205	217
R въ m/m.	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3
S въ kg.	2,3	2,43	2,55	2,55	2,7	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8
μ.	0,0118	0,0124	0,0130	0,0130	0,0138	0,0138	0,0143	0,0138	0,0143	0,0143

Таблица № 23.

Нагрузка пяты 15,7 kg./см. ² Температура масла 37—39° С.										
п.	83	93	108	127	135	158	177	183	187	198
R въ m/m.	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	2,9
S въ kg.	3,05	3,15	3,3	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,5	3,5
μ.	0,0103	0,0106	0,0111	0,0115	0,0115	0,0118	0,0115	0,0115	0,0118	0,0118

Таблица № 24.

Нагрузка пяты 21,0 kg./см. ² Температура масла 37—39° С.										
п.	80	96	127	132	154	181	194	214	222	251
R въ m/m.	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,9
S въ kg.	3,9	4,0	4,15	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,7
μ.	0,0098	0,0101	0,0105	0,0109	0,0111	0,0111	0,0111	0,0114	0,0114	0,0119

Таблица № 25.

Нагрузка пяты 26,2 kg./см. ² Температура масла 38—39° С.										
п.	79	98	129	130	133	152	164	178	208	
R въ m/m.	4,0	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	
S въ kg.	4,9	4,75	4,6	4,75	4,75	4,75	4,75	4,9	4,9	
μ.	0,0099	0,0096	0,0093	0,0096	0,0096	0,0096	0,0096	0,0099	0,0099	

Таблица № 26.

Нагрузка пята 31,5 kg./см. ² Температура масла 37—39° С.							
n.	106	131	141	167	172	191	205
R въ m/m.	4,6	4,6	4,4	4,3	4,4	4,5	4,6
S въ kg.	5,65	5,65	5,35	5,25	5,35	5,5	
μ.	0,0095	0,0095	0,0090	0,0088	0,0090	0,0093	0,0095

Таблица № 27.

Нагрузка пята 36,7 kg./см. ² Температура масла 37—38° С.							
n.	79	123	154	183	236	243	260
R въ m/m.	5,7	5,3	5,0	5,0	5,3	5,4	5,6
S въ kg.	7,0	6,5	6,15	6,15	6,5	6,7	6,9
μ.	0,0101	0,0094	0,0089	0,0089	0,0094	0,0097	0,00996

Таблица № 28.

Нагрузка пята 42,0 kg./см. ² Температура масла 37—39° С.							
n.	96	120	141	164	174	191	205
R въ m/m.	6,6	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,9
S въ kg.	8,2	7,8	7,7	7,45	7,3	7,15	7,3
μ.	0,0104	0,0099	0,0097	0,0094	0,0092	0,0091	0,0092

Таблица № 29.

Нагрузка пята 47,3 kg./см. ² Температура масла 36—39° С.									
n.	94	98	138	152	162	168	178	189	210
R въ m/m.	7,8	7,6	7,2	6,9	6,8	6,7	6,7	6,6	6,5
S въ kg.	9,75	9,5	8,95	8,6	8,45	8,3	8,3	8,2	8,1
μ.	0,0109	0,0107	0,0104	0,0096	0,0095	0,0093	0,0093	0,0092	0,0091

Таблица № 30.

Нагрузка пята 4,7 kg./cm. ² Температура масла 48—49° C.								
п.	108	137	163	168	191	200	230	246
R въ m/m.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6
S въ kg.	1,45	1,60	1,70	1,70	1,85	1,85	1,85	1,95
μ.	0,0164	0,0181	0,0192	0,0192	0,0209	0,0209	0,0209	0,0220

Таблица № 31.

Нагрузка пята 10,4 kg./cm. ² Температура масла 48—50° C.											
п.	102	131	140	154	164	180	194	208	218	265	272
R въ m/m.	1,8	1,9	1,9	1,95	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
S въ kg.	2,20	2,30	2,30	2,35	2,45	2,45	2,55	2,55	2,55	2,70	2,70
μ.	0,0112	0,0117	0,0117	0,0120	0,0125	0,0125	0,0130	0,0130	0,0130	0,0138	0,0138

Таблица № 32.

Нагрузка пята 15,7 kg./cm. ² Температура масла 48—50° C.									
п.	84	93	108	148	183	197	205	230	260
R въ m/m.	2,4	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,5	2,7	2,6
S въ kg.	2,9	2,8	2,8	2,9	3,05	3,05	3,05	3,25	3,15
μ.	0,0098	0,0094	0,0094	0,0098	0,0103	0,0103	0,0103	0,0110	0,0107

Таблица № 33.

Нагрузка пята 21,0 kg./cm. ² Температура масла 48—50° C.									
п.	120	146	156	169	189	191	210	230	242
R въ m/m.	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	3,0	3,1	3,0	3,1
S въ kg.	3,90	3,90	3,75	3,65	3,65	3,65	3,75	3,65	3,75
μ.	0,0098	0,0098	0,0095	0,0092	0,0092	0,0092	0,0095	0,0092	0,0095

Таблица № 34.

Нагрузка пята 26,2 kg./cm. ² Температура масла 49—50° C.								
п.	69	99	132	148	178	185	188	264
R въ m/m.	4,1	4,0	3,95	3,9	3,7	3,6	3,7	4,0
S въ kg.	5,0	4,9	4,8	4,75	4,5	4,4	4,5	4,9
μ.	0,0101	0,0099	0,0097	0,0096	0,0091	0,0089	0,0091	0,0099

Таблица № 35.

Нагрузка пята 31,5 kg./cm. ² Температура масла 49—50° C.							
п.	120	140	156	174	183	198	213
R въ m/m.	4,4	4,2	4,1	4,0	4,0	4,1	4,2
S въ kg.	5,4	5,1	5,0	4,9	4,9	5,0	5,1
μ.	0,0091	0,0086	0,0084	0,0082	0,0082	0,0084	0,0086

Таблица № 36.

Нагрузка пята 36,7 kg./cm. ² Температура масла 48—50° C.								
п.	76	96	138	140	176	181	200	250
R въ m/m.	5,7	5,5	5,1	5,2	4,9	4,8	4,8	5,2
S въ kg.	7,05	6,8	6,3	6,4	6,0	5,9	5,9	6,4
μ.	0,0102	0,0098	0,0091	0,0092	0,0087	0,0085	0,0085	0,0092

Таблица № 37.

Нагрузка пята 42,0 kg./cm. ² Температура масла 48—49° C.							
п.	110	132	143	161	187	205	220
R въ m/m.	6,5	6,2	6,1	5,7	5,6	5,5	6,2
S въ kg.	8,1	7,7	7,5	7,05	6,9	6,8	7,7
μ.	0,0102	0,0097	0,0095	0,0090	0,0087	0,0086	0,0097

Таблица № 38.

Нагрузка пята 47,3 kg./cm. ² Температура масла 48—49° C.								
n.	93	104	127	162	170	181	189	208
R въ m/m.	7,7	7,5	7,1	6,9	6,8	6,7	6,5	6,4
S въ kg.	9,6	9,3	8,85	8,5	8,45	8,3	8,1	7,9
μ.	0,0108	0,0104	0,0099	0,0095	0,0094	0,0093	0,0091	0,0089

Таблица № 39.

Нагрузка пята 4,7 kg./cm. ² Температура масла 58—59° C					
n.	137	180	201	252 ₅	282
R въ m/m.	1,3	1,45	1,5	1,6	1,7
S въ kg.	1,60	1,75	1,85	1,95	2,10
μ.	0,0181	0,0198	0,0209	0,0220	0,0236

Таблица № 40.

Нагрузка пята 10,4 kg./cm. ² Температура масла 59—60° C.						
n.	141	170	187	237	265	272
R въ m/m.	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1
S въ kg.	2,1	2,2	2,3	2,45	2,55	2,55
μ.	0,0107	0,0112	0,0117	0,0125	0,0130	0,0130

Таблица № 41.

Нагрузка пята 15,7 kg./cm. ² Температура масла 59—60° C.					
n.	125	155	195	250	275
R въ m/m.	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7
S въ kg.	2,70	2,80	3,05	3,15	3,25
μ.	0,0090	0,0093	0,0102	0,0106	0,0110

Таблица № 42.

Нагрузка пята 21,0 kg./cm. ² . Температура масла 59—60° C.						
п.	115	137	162	200	270	272
R въ m/m.	2,95	2,95	2,9	3,1	3,3	3,3
S въ kg.	3,55	3,55	3,5	3,75	4,0	4,0
μ.	0,0090	0,0090	0,0089	0,0095	0,0101	0, 101

Таблица № 43.

Нагрузка пята 26,2 kg./cm. ² Температура масла 58—60° C.							
п.	135	165	202	206	208	262	270
R въ m/m.	3,8	3,7	3,5	3,5	3,6	3,8	3,9.
S въ kg.	4,6	4,5	4,25	4,25	4,4	4,6	4,75
μ.	0,0093	0,0091	0,0086	0,0086	0,0088	0,0093	0,0095

Таблица № 44.

Нагрузка пята 36,7 kg./cm. ² Температура масла 58—60° C.										
п.	96	140	164	185	193	198	202	210	256	260
R въ m/m.	5,6	5,2	5,2	4,9	4,9	5,0	4,8	4,8	5,1	5,2
S въ kg.	6,9	6,4	6,4	6,0	6,0	6,15	5,9	5,9	6,3	6,4
μ.	0,0099	0,0092	0,0092	0,0087	0,0087	0,0089	0,0085	0,0085	0,0091	0,0092

Таблица № 45.

Нагрузка пята 42,0 kg./cm. ² . Температура масла 58—59° C.					
п.	168	187	202	208	226
R въ m/m.	6,0	5,8	5,6	5,6	5,7
S въ kg.	7,45	7,15	6,90	6,90	7,05
μ.	0,0094	0,0090	0,0087	0,0087	0,0088

Таблица № 46.

Нагрузка пята 47,3 kg./cm. ² Температура масла 58—60° C.								
n.	93	104	148	174	200	220	238	266
R въ m/m.	7,4	7,3	7,0	6,8	6,5	6	6,3	6,4
S въ kg.	9,25	9,10	8,70	8,45	8,10	7,90	7,80	7,90
μ.	0,0104	0,0102	0,0097	0,0095	0,0090	0,0089	0,0087	0,0089

Въ тѣхъ же таблицахъ приведены соотвѣтствующія различнымъ силамъ тренія въ пятѣ значенія коэффиціента тренія μ ; вычисленіе этого коэффиціента сдѣлано на основаніи предположенія равномернаго распределенія давленія по поверхности пята и въ предположеніи независимости коэффиціента тренія отъ скорости движенія трущихся элементовъ пята, т. е. по формулѣ

$$\mu = \frac{S \cdot L}{P \cdot r_m},$$

гдѣ

S —сила, растягивающая пружину при удержаніи подпятниковыхъ плашекъ (3,5,9, см. таблицу II чертежей первой статьи) отъ движенія, вслѣдствіе тренія на поверхности пята;

L —разстояніе точки приложенія силы S къ шпинделю 13 (таблица II первой статьи) отъ центра пята, равное 10 см.;

P —полная нагрузка пята въ kg.;

r_m —средній радіусъ кольцевой поверхности пята и равный 2,75 см.

Всѣ подсчитанныя, такимъ образомъ, значенія коэффиціента тренія изображены въ видѣ кривыхъ (см. Листы II, III, IV, V и VI; масштабъ для коэффиціента тренія: $1^m/m \sim 0,0001$, масштабъ для чиселъ оборотовъ: $1^m/m \sim 1$ обор. въ минуту), показывающихъ зависимость коэффиціента тренія (откладываемого по оси ординатъ) при каждой опредѣленной нагрузкѣ пята (на см.²) отъ числа оборотовъ пята (откладываемого по оси абсциссъ); причемъ, тамъ, гдѣ не было опасности затемнить чертежъ, наносились пунктиромъ среднія вѣроятныя кривыя измѣненія коэффиціента тренія.

На основаніи кривыхъ, изображенныхъ на Листахъ II, III, IV, V и VI, были построены кривыя, показывающія зависимость коэффиціента тренія при опредѣленныхъ числахъ оборотовъ пята отъ измѣненія ея средней нагрузки; послѣднія кривыя нанесены

ломанными¹⁾ линиями на Листахъ VIII, IX, X, XI и XII (масштабъ для коэффициента тренія: $1^m/m \sim 0,0001$, масштабъ для нагрузокъ: $1^m/m \sim 0,2 \text{ kg./cm.}^2$).

Я замѣчу теперь же, что, такъ какъ для дальнѣйшаго намъ необходимо было иногда имѣть значенія коэффициента тренія за предѣлами нашихъ опытовъ, то необходимыя значенія коэффициента находились методомъ интерполированія, и соотвѣтствующія части кривыхъ или цѣлыя кривыя изображались въ такомъ случаѣ на діаграммахъ пунктиромъ.

Выводы
изъ результатовъ
опытовъ.

Просматривая данныя таблицъ и кривыя измѣненія коэффициента тренія, мы замѣчаемъ сначала уменьшеніе коэффициента тренія съ повышеніемъ средней нагрузки пяты; уменьшеніе это, проявляющееся въ особенности сильно при малыхъ нагрузкахъ, постепенно съ увеличеніемъ послѣднихъ дѣлается меньше, и при нѣкоторой опредѣленной для каждаго даннаго числа оборотовъ пяты нагрузкѣ коэффициентъ тренія достигаетъ minimum'a своего значенія, а затѣмъ начинаетъ опять увеличиваться, хотя и не такъ сильно, какъ передъ этимъ уменьшался.

Чѣмъ больше число оборотовъ пяты, тѣмъ при болѣе высокой средней нагрузкѣ коэффициентъ тренія достигаетъ своего minimum'a. Минимальныя значенія коэффициента тренія мало отличаются при различныхъ числахъ оборотовъ пяты другъ отъ друга. Въ предѣлахъ настоящихъ опытовъ, приблизительно, до нагрузки пяты въ $24-25 \text{ kg./cm.}^2$ (при низшихъ температурахъ; при болѣе высокихъ до нѣсколько меньшей нагрузки) коэффициентъ тренія отчетливо съ увеличеніемъ числа оборотовъ увеличивается; начиная же, приблизительно, съ нагрузки въ $28-30 \text{ kg./cm.}^2$ замѣчается обратное явленіе—увеличеніе коэффициента тренія съ уменьшеніемъ числа оборотовъ пяты. Въ интервалѣ нагрузокъ, приблизительно, $24-30 \text{ kg./cm.}^2$ кривыя измѣненій коэффициента тренія при различныхъ числахъ оборотовъ пяты перекрещиваются между собой.

Вліяніе температуры сказывается, какъ это видно изъ данныхъ таблицъ № 47—49, а также изъ графиковъ Листа XIII (масштабъ для коэффициента тренія здѣсь, какъ и раньше: $1^m/m \sim 0,0001$, а масштабъ температуръ: $2^m/m$ соотвѣтствуютъ 1°C) въ уменьшеніи коэффициента тренія съ повышеніемъ температуры; уменьшеніе это проявляется сильнѣе при меньшихъ нагрузкахъ, чѣмъ при большихъ, и при низшихъ температурахъ, чѣмъ при болѣе высокихъ.

¹⁾ Я соединялъ въ данномъ случаѣ, какъ и въ другихъ аналогичныхъ случаяхъ, характерныя точки прямыми линиями, а не плавными кривыми потому, что полученныя, такимъ образомъ, ломанныя линіи, по моему мнѣнію, здѣсь болѣе соотвѣтствуютъ самому характеру значеній коэффициента тренія, подсчитанныхъ весьма грубо.

Таблица № 47.

Коэффициентъ тренія при 100 оборотахъ паты въ минуту.					
Нагрузка паты въ kg./cm. ²	Температура масла въ С°.				
	18—20	27—29	37—39	48—50	58—60
5	0,0242	0,0202	0,0174	0,0157	0,0152
10	0,0158	0,0131	0,0127	0,0116	0,0104
15	0,0137	0,0113	0,0111	0,0097	0,0089
20	0,0118	0,0099	0,0103	0,0098	0,0090
25	0,0106	0,0100	0,0099	0,0099	0,0094
30	0,0105	0,0101	0,0096	0,0099	0,0097
35	0,0106	0,0102	0,0097	0,0099	0,0098
40	0,0107	0,0105	0,0101	0,0102	0,0100
45	0,0109	0,0106	0,0105	0,0105	0,0102

Таблица № 48.

Коэффициентъ тренія при 150 оборотахъ паты въ минуту.					
Нагрузка паты въ kg./cm. ²	Температура масла въ С°.				
	18—20	27—29	37—39	48—50	58—60
5	0,0262	0,0250	0,0206	0,0183	0,0178
10	0,0166	0,0158	0,0144	0,0127	0,0114
15	0,0140	0,0130	0,0119	0,0103	0,0095
20	0,0123	0,0112	0,0111	0,0098	0,0090
25	0,0115	0,0101	0,0098	0,0096	0,0091
30	0,0106	0,0097	0,0091	0,0088	0,0092
35	0,0102	0,0097	0,0089	0,0089	0,0093
40	0,0103	0,0098	0,0093	0,0092	0,0094
45	0,0105	0,0099	0,0097	0,0095	0,0096

Таблица № 49.

Коэффициентъ тренія при 200 оборотахъ пяты въ минуту.				
Нагрузка пяты въ kg/cm ² .	Температура масла въ С°			
	27—29	37—39	48—50	58—60
5	0,0284	219	0,0203	0,0202
10	0,0183	0,0151	0,0138	0,0125
15	0,0147	0,0122	0,0107	0,0104
20	0,0124	0,0114	0,0096	0,0096
25	0,0106	0,0103	0,0092	0,0089
30	0,0099	0,0096	0,0087	0,0087
35	0,0095	0,0091	0,0085	0,0087
40	0,0094	0,0091	0,0086	0,0087
45	0,0095	0,0092	0,0088	0,0089

При высокихъ температурахъ (50—60°), при большихъ нагрузкахъ пяты (выше 30^{kg}/cm.²) и при 150—200 оборотахъ пяты въ минуту замѣчается даже нѣкоторое увеличеніе коэффициента тренія съ повышеніемъ температуры. Минимальныя значенія коэффициента тренія при опредѣленномъ какомъ либо числѣ оборотовъ пяты тоже замѣтно уменьшаются съ повышеніемъ температуры: такъ, при температурѣ 27—29° и при 100 оборотахъ въ минуту разсматриваемое значеніе коэффициента тренія равно 0,0099 (при нагрузкѣ въ 20 kg/cm.²), а при температурѣ 58—60° равно 0,0089 (при нагрузкѣ въ 15 kg/cm.²).

Опыты по
опредѣле-
нію коэф-
фициента
трения «въ
покоѣ».

Наконецъ, нами опредѣлялся еще коэффициентъ тренія для момента сдвига пяты изъ состоянія покоя (коэффициентъ тренія „въ покоѣ“) при различныхъ нагрузкахъ и температурахъ слѣдующимъ образомъ.

Послѣ того, какъ произведенъ былъ какой либо изъ вышеописан-
ныхъ опытовъ съ пятой при опредѣленной нагрузкѣ, пята приводи-
лась въ состояніе покоя. Температура масла въ ваннѣ въ это время
была болѣе или менѣе высокая; притокъ свѣжаго масла въ ванну и
отводъ изъ нея прекращался.

Произведя въ это время извѣстнымъ уже образомъ (вращеніемъ гаекъ 10) сдвигъ подпятниковой плашки 3 ¹⁾, мы опредѣляли по растяженію пружинъ силу, необходимую для преодоленія силы тренія на поверхности пяты въ моментъ этого сдвига.

Затѣмъ, плашка 3 прямо отъ руки повертывалась въ крайнее свое положеніе, когда шпиндель 14 касается одного изъ винтиковъ b, b, и оставалась въ этомъ положеніи на нѣкоторое время въ покоѣ; это повертываніе плашки 3 въ указываемое положеніе было необходимо, чтобы шпиндель 14 при послѣдующемъ новомъ сдвигѣ плашки для опредѣленія силы тренія имѣлъ мѣсто, куда повернуться. Послѣ того, какъ температура масла въ ваннѣ понижалась на нѣкоторое число градусовъ, снова производился сдвигъ плашки 3 вращеніемъ гаекъ 10, и опредѣлялась сила тренія и т. д.

Такимъ образомъ, получены были при различныхъ нагрузкахъ и температурахъ нѣкоторыя опредѣленные величины силы S, а предполагая въ данномъ случаѣ давленіе на поверхности пяты равномерно распределеннымъ, можно было по предыдущему подсчитать и соотвѣтствующіе коэффиціенты тренія.

Величины этихъ коэффиціентовъ тренія приведены въ таблицахъ № 50—58 и изображены въ видѣ кривыхъ, показывающихъ зависимость коэффиціента тренія отъ температуры T, на Листѣ VII (масштабъ для коэффиціентовъ тренія: $1 \text{ m/m} \sim 0,0004$, масштабъ для температуръ: $1 \text{ m/m} \sim 0,2^\circ \text{ C}$).

Таблица № 50.

Нагрузка пяты 4,7 kg./cm ² .			
T°С.	23	27	35
R въ m/m.	8,2	7,8	5,0
S въ kg.	10,3	9,7	6,2
μ.	0,1163	0,1095	0,0700

Таблица № 51

Нагрузка пяты 10,4 kg./cm ² .						
T°С.	17	22	30	33	49	53
R въ m/m.	15,1	14,8	13,5	12,4	12,8	12,9
S въ kg.	19,8	19,4	17,6	16,1	16,7	16,8
μ.	0,1010	0,0990	0,0900	0,0822	0,0852	0,0858

¹⁾ См. Опытъ изслѣдованія распределенія давленій etc., стр. 10 и табл. II.

Таблица № 52.

Нагрузка пята 15,7 kg./cm. ²				
Т° С.	24	30	35	38
R въ m/m.	24,9	15,7	15,0	13,9
S въ kg.	34,1	20,7	19,7	18,2
ρ.	0,1150	0,0800	0,0668	0,0615

Таблица № 53.

Нагрузка пята 21,0 kg./cm. ²			
Т° С.	26	35	49
R въ m/m.	28,2	18,1	13,0
S въ kg.	38,95	24,2	16,9
ρ.	0,0984	0,0612	0,0439

Таблица № 54.

Нагрузка пята 26,2 kg./cm. ²				
Т° С.	30	38	45	55
R въ m/m.	27,9	22,8	19,2	15,4
S въ kg.	38,5	30,9	25,6	20,2
ρ.	0,0780	0,0628	0,0520	0,0410

Таблица № 55.

Нагрузка пята 31,5 kg./cm. ²					
Т° С.	40	45	47	50	60
R въ m/m.	24,9	22,2	21,1	17,1	15,4
S въ kg.	34,1	30,1	28,5	22,7	20,2
ρ.	0,0573	0,0507	0,0480	0,0382	0,0340

Таблица № 56.

Нагрузка пяты 36,7 kg./cm. ²								
Т°С.	36	37	40	41	50	52	60	73
R въ m/m.	29,6	27,9	27,5	26,3	23,0	22,5	19,8	15,0
S въ kg.	41,1	38,5	37,9	36,2	31,3	30,5	26,6	19,7
μ.	0,0592	0,0553	0,0544	0,0522	0,0449	0,0438	0,0382	0,0284

Таблица № 57.

Нагрузка пяты 41,0 kg./cm. ²						
Т°С.	34	38	43	52	64	71
R въ m/m.	35,1	33,8	31,9	26,5	21,9	19,6
S въ kg.	49,3	47,3	44,4	36,5	29,6	26,4
μ.	0,0622	0,0598	0,0561	0,0461	0,0374	0,0334

Таблица № 58.

Нагрузка пяты 47,3 kg./cm. ²				
Т°С.	42	55	60	70
R въ m/m.	31,2	28,2	27,8	23,8
S въ kg.	43,4	39,0	38,4	32,5
μ.	0,0488	0,0438	0,0432	0,0366

Просматривая кривыя Листа VII, замѣчаемъ, что онѣ почти совпадаютъ между собой при различныхъ давленіяхъ; только при высокихъ температурахъ замѣтно нѣкоторое повышение коэффиціента тренія съ увеличеніемъ давленія, но и то весьма небольшое.

Правда, изображенныя на Листѣ VII кривыя не вполне охватываютъ зависимость коэффиціента тренія при различныхъ нагрузкахъ пяты отъ температуры въ предѣлахъ вообще измѣненія ея при опытахъ: при болѣе высокихъ температурахъ намъ не удалось получить величины коэффиціента тренія при малыхъ нагрузкахъ, а при низкихъ

температурахъ у насъ нѣтъ значеній коэффициента при большихъ нагрузкахъ ¹⁾, но все же теченіе этихъ кривыхъ и ихъ взаимная связь, съ большой степенью вѣроятности, указываютъ на справедливость вышеприведеннаго заключенія.

Указанная независимость коэффициента тренія отъ давленія даетъ право думать, что въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ внутреннимъ треніемъ въ жидкости, которое, какъ извѣстно, по гипотезѣ Ньютона не зависитъ отъ давленія.

На то, что въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ внутреннимъ треніемъ въ жидкости, указываетъ и весьма большое паденіе коэффициента тренія съ температурой.

Правда, это паденіе не настолько значительно, какъ приводимое Stribeck'омъ ²⁾ пониженіе съ температурой степени вязкости для того же масла (Gasmotorenöl) Deutz'a, но, съ одной стороны, между коэффициентомъ тренія жидкости и степенью вязкости не существуетъ прямой пропорціональности, а съ другой стороны, возможно, конечно, что масло, употреблявшееся при нашихъ опытахъ, отличалось по своему качеству отъ масла, которымъ пользовался Stribeck; къ сожалѣнію, я самъ не имѣлъ возможности опредѣлить степень его вязкости.

Послѣдніе результаты нашихъ опытовъ существенно отличаются отъ результатовъ опытовъ Stribeck'a съ цапфой, который нашелъ, что „коэффициентъ тренія покоя не зависитъ отъ давленія и температуры подшипника“ ³⁾. Объясненіе такого явленія Stribeck видитъ въ томъ, что въ моменты прекращенія вращенія вала масло не подводится болѣе къ поверхности цапфы, а наоборотъ, даже бывшее между цапфой и вкладышемъ вытекаетъ въ масляную ванну подшипника; такимъ образомъ, оставшееся между цапфой и вкладышемъ незначительное количество масла не въ состояніи предохранить эти поверхности отъ взаимнаго соприкосновенія, и въ моментъ сдвига цапфы возникаетъ треніе между твердыми тѣлами.

Въ нашемъ же случаѣ, очевидно, въ виду того, что масло въ ваннѣ стоитъ на нѣсколько сантиметровъ выше поверхности пяты, слой масла

¹⁾ Причина этому: слишкомъ медленное пониженіе температуры масла въ ваннѣ, требовавшее для своего болѣе или менѣе сильнаго проявленія весьма значительнаго промежутка времени; производить же охлажденіе масла въ ваннѣ подливаніемъ свѣжаго масла представлялось нецѣлесообразнымъ, такъ какъ тогда нельзя было быть увѣреннымъ, что температура масла въ ваннѣ будетъ соответствовать температурѣ смазывающаго слоя на поверхности пяты. Кроме того, въ первое время на эти опыты не обращалось особеннаго вниманія, а желательно было получить только нѣсколько данныхъ о коэффициентѣ тренія въ начальный моментъ сдвига пяты.

²⁾ Stribeck. Die wesentlichen Eigenschaften etc., s. 1342.

³⁾ Ibid, s. 1345—1346.

между трущимися поверхностями пяты и подпятниковой плашки всегда остается; толщина этого слоя, можетъ быть, и незначительна, но достаточна для разъединенія поверхностей пяты и подпятника.

Наконецъ, наши опыты надъ треніемъ пяты въ моментъ сдвига отличаются отъ таковыхъ же опытовъ Stribeck'a надъ цапфой въ чугунномъ подшипникѣ Sellers'a своими предѣлами нагрузокъ: у Stribeck'a эти предѣлы: $0,42 - 22,6 \text{ kg./cm.}^2$, у насъ: $4,7 - 47,3 \text{ kg./cm.}^2$

Что же касается прочихъ вышеописанныхъ результатовъ нашихъ опытовъ, то они весьма близки къ результатамъ опытовъ Stribeck'a (у послѣдняго предѣлы опытовъ для нагрузокъ: $0,43 - 32 \text{ kg./cm.}^2$, для чиселъ оборотовъ цапфы въ минуту: $5,5 - 1100$). Отличіе заключается только въ болѣе высокихъ у насъ величинахъ коэффиціента тренія и въ болѣе медленномъ подъемѣ за критической нагрузкой кривыхъ измѣненія коэффиціента тренія съ увеличеніемъ нагрузки.

Болѣе медленный подъемъ кривыхъ коэффиціента тренія за критической нагрузкой составляетъ, по нашему мнѣнію, весьма существенное достоинство чугунныхъ пятъ, по сравненію съ цапфами въ чугунныхъ подшипникахъ, такъ какъ это даетъ возможность повышать значительно нагрузку за переходомъ ея критической величины, не боясь увеличить чрезмѣрно треніе въ пятѣ. Конечно, только что сказанное, болѣе или менѣе, справедливо только въ предѣлахъ нашихъ опытовъ.

Перехожу теперь ко второй стадіи результатовъ нашихъ опытовъ надъ треніемъ въ пятѣ.

Дѣло въ томъ, что на поверхности пяты скорость движенія ея элементовъ сильно мѣняется въ зависимости отъ разстоянія ихъ отъ центра пяты, а кромѣ того, наши прежнія изслѣдованія о распредѣленіи давленія по поверхности пяты показали, что давленіе это измѣняется по пятѣ.

Поэтому, полученные нами результаты о среднемъ коэффиціентѣ тренія, подсчитанномъ на основаніи предположенія равномернаго распредѣленія давленій по поверхности пяты и независимости коэффиціента тренія отъ измѣненія скорости скольженія различныхъ элементовъ пяты, не даютъ еще дѣйствительной зависимости истиннаго коэффиціента тренія отъ скорости и давленія, и чтобы получить таковую, необходимо принять во вниманіе неравномѣрность распредѣленія давленія по пятѣ и различіе въ скоростяхъ скольженія элементовъ поверхности пяты.

Для этого было поступлено такимъ образомъ. Вся трущаяся поверхность пяты была разбита на чертежѣ ¹⁾ двумя концентрическими

Дальнѣй-
шая об-
работка
результатовъ опы-
товъ.

¹⁾ Опытъ изслѣдованія распредѣленія давленій etc, таблица III.

кругами на три части (кольца); радиусы этихъ дѣлящихъ круговъ были соотвѣтственно: 2,03 см. и 3,46 см., и, такимъ образомъ, ширина кольцевыхъ полосъ пята равнялась приблизительно 1,43 см. Для каждого такого кольца пята, на основаніи данныхъ опытовъ по распредѣленію давленій по пятѣ, подсчитывалось среднее давленіе для каждой средней нагрузки пята и средняя скорость.

Пользуясь, далѣе, ломанными кривыми коэффициентовъ тренія на Листахъ VIII, IX, X, XI и XII, можно было подсчитать болѣе точныя значенія коэффициента тренія слѣдующимъ образомъ. Зная среднее давленіе на каждомъ кольцѣ пята при какой либо средней ея (пята) нагрузкѣ, а также среднюю скорость на этихъ кольцахъ, мы находили соотвѣтствующія этимъ скоростямъ и давленіямъ значенія коэффициентовъ тренія по вышеуказаннымъ кривымъ; принимая коэффициентъ тренія для средняго кольца при соотвѣтствующей ему средней скорости за основной, коэффициенты тренія на крайнихъ кольцахъ выражали въ доляхъ коэффициента тренія средняго кольца; зная, сверхъ того, полное давленіе на каждомъ кольцѣ, его средній радиусъ и силу тренія на пятѣ при рассматриваемой средней нагрузкѣ ея, легко было найти коэффициентъ тренія при давленіи на среднемъ кольцѣ и при соотвѣтствующей ему средней скорости. Пусть, напр., коэффициентъ тренія для средняго кольца при рассматриваемомъ на немъ среднемъ давленіи и средней скорости, согласно съ графиками, будетъ μ , а коэффициенты тренія на крайнихъ кольцахъ пята при соотвѣтствующихъ въ то время имъ (кольцамъ) среднихъ давленіяхъ и скоростяхъ, согласно съ тѣми же графиками, выражаются, какъ $\alpha\beta$ и $\beta\mu$; если назовемъ полныя одновременныя давленія на кольцахъ въ это время черезъ P_1 , P_2 и P_3 , а среднія радиусы колецъ черезъ r_1 , r_2 и r_3 , то получимъ зависимость

$$\mu (P_1 r_1 \alpha + P_2 r_2 + P_3 r_3 \beta) = S L,$$

гдѣ S и L —вышеуказанныя уже обозначенія силы, растягивающей пружины вслѣдствіе тренія на пятѣ, и разстоянія ея точки приложенія отъ центра пята. Только что написанное соотношеніе даетъ возможность опредѣлить коэффициентъ тренія μ , соотвѣтствующій, очевидно, данному среднему давленію на среднемъ кольцѣ пята и его средней скорости.

Конечно, для большей точности результатовъ, слѣдовало бы разбивать поверхность пята на большее число колецъ, но дѣлать это я считалъ не цѣлесообразнымъ въ виду того, что среднія скорости на крайнихъ кольцахъ получались бы тогда такими, которыя выходили бы за предѣлы нашихъ изслѣдованій; такъ, напр., при 50 оборотахъ

пята въ минуту на внутреннемъ кольцѣ получилась бы скорость, равная средней скорости скольженія пяты при 18 оборотахъ въ минуту, при 75 оборотахъ пяты получилась бы скорость, соотвѣтствующая 27 оборотамъ въ минуту; съ другой стороны, на наружномъ кольцѣ при 175 оборотахъ пяты въ минуту получили бы скорость, равную средней скорости пяты при 288 оборотахъ ея въ минуту, при 200 оборотахъ получили бы скорость, равную средней скорости пяты при 330 оборотахъ ея въ минуту и т. д. Даже при дѣленіи поверхности пяты на три кольца, на крайнихъ кольцахъ получались такія скорости, для которыхъ значенія среднихъ коэффиціентовъ тренія приходилось часто находить интерполированіемъ.

Правда, въ этомъ отношеніи, точность значенія коэффиціентовъ тренія для внутренняго крайняго кольца не имѣла особеннаго значенія, такъ какъ вообще относящійся къ этому кольцу въ вышеприведенномъ выраженіи для μ членъ $P_3 r_3 \beta$ составляетъ весьма малую величину, по сравненію съ двумя другими членами, но зато членъ, относящійся къ наружному кольцу, $P_1 r_1 \alpha$ имѣетъ весьма большую величину, и къ опредѣленію соотвѣтствующаго значенія α необходимо было относиться чрезвычайно осторожно.

Кромѣ того, сравнительный подсчетъ коэффиціентовъ тренія при дѣленіи поверхности пяты на 3 и на 5 колецъ показалъ не очень большое вліяніе этого увѣличенія числа колецъ на значенія коэффиціента тренія μ .

Что это дѣйствительно такъ, это показываютъ данныя таблицъ № 59—60, гдѣ приведены параллельно величины коэффиціента тренія при скорости $v = 0,286$ mtr./sk. при температурахъ $27-29^\circ$ и $48-50^\circ$ C, при подсчетѣ ихъ на основаніи дѣленія поверхности пяты на 3 и на 5 колецъ.

На основаніи вышеуказанныхъ подсчетовъ получены значенія коэффиціентовъ тренія при различныхъ давленіяхъ, температурахъ смазывающаго масла и скоростяхъ скольженія трущихся поверхностей, приведенныя въ таблицахъ № 61—65 и изображенныя въ видѣ болѣе или менѣе плавныхъ кривыхъ ¹⁾ на Листахъ VIII, IX, X, XI и XII (масштабъ для коэффиціентовъ тренія: $1^m/m \sim 0,0001$, масштабъ для давленій: $1^m/m \sim 0,2$ kg./cm.²). Конечно, и эти новыя величины коэффиціентовъ тренія не могутъ быть разсматриваемы, какъ совершенно точныя значенія коэффиціента тренія, но только, какъ первая приб-

¹⁾ Подобно предыдущему, и здѣсь тѣ кривыя или части ихъ, въ предѣлахъ которыхъ коэффиціентъ тренія опредѣлялся, главнымъ образомъ, при посредствѣ интерполированія, нанесены пунктиромъ.

Таблица № 60.

Скорость $v = 0,286$ mtr./sk. Температура масла 48—50° С.												
Давленіе между трущимися по- стоями въ kg./cm.^2	6,4	7,0	13,5	14,0	21,5	22,0	25,0	24,5	29,5	36,0	40,5	47,0
Коэффициентъ тренія (μ_1), вычислен- ный на основаніи дѣленія поверх- ности пяты на 3 кольца.	0,0107		0,0078		0,0075		0,0080		0,0084	0,0084	0,0088	0,0091
Коэффициентъ тренія (μ_2), вычислен- ный на основаніи дѣленія поверх- ности пяты на 5 колецъ.		0,0104		0,0077		0,0073		0,0083	0,0088	0,0084		0,0096
Разность въ % между коэффициентен- тами μ_1 и μ_2 по отношенію къ μ_2 .	+2,88%		+1,30%		+2,74%		-3,61%		-4,55%	0%	-3,30%	-5,21%

Таблица № 61.

Коэффициентъ тренія μ при температурѣ масла 18—20° С.									
Скорость сколь- женія трущихся поверхностей въ mtr./sk.	Давленіе между трущимися поверхностями въ kg./cm. ²								
	6,4	13,5	21,5	25,0	29,5	36,0	40,5	47,0	55,0
0,143	0,0105	0,0090	0,0087	0,0095	0,0103	0,0104	0,0108	0,0116	0,0148
0,215	0,0134	0,0102	0,0093	0,0088	0,0090	0,0094	0,0096	0,0098	0,0103
0,286	0,0156	0,0110	0,0095	0,0086	0,0084	0,0087	0,0092	0,0094	0,0097
0,358	0,0170	0,0113	0,0093	0,0085	0,0084	0,0084	0,0086	0,0088	0,0092

Таблица № 62.

Коэффициентъ тренія μ при температурѣ масла 27—29° С.									
Скорость сколь- женія трущихся поверхностей въ mtr./sk.	Давленіе между трущимися поверхностями въ kg./cm. ²								
	6,4	13,5	21,5	25,0	29,5	36,0	40,5	47,0	55,0
0,143	0,0097	0,0073	0,0080	0,0093	0,0104	0,0111	0,0112	0,0131	0,0166
0,215	0,0114	0,0078	0,0076	0,0082	0,0089	0,0093	0,0095	0,0100	0,0110
0,286	0,0129	0,0084	0,0079	0,0075	0,0083	0,0087	0,0090	0,0093	0,0096
0,358	0,0141	0,0088	0,0079	0,0078	0,0077	0,0082	0,0086	0,0089	0,0089
0,430	0,0150	0,0095	0,0083	0,0077	0,0077	0,0079	0,0083	0,0086	0,0087
0,501	0,0158	0,0100	0,0083	0,0079	0,0075	0,0074	0,0076	0,0080	0,0083
0,572	0,0166	0,0104	0,0086	0,0081	0,0075	0,0072	0,0075	0,0077	0,0080

Таблица № 63.

Коэффициентъ тренія μ при температурѣ масла 37—39° С.									
Скорость сколь- женія трущихся поверхностей въ mtr./sk.	Давленіе между трущимися поверхностями въ kg./cm. ²								
	6,4	13,5	21,5	25,0	29,5	36,0	40,5	47,0	55,0
0,143	0,0096	0,0075	0,0076	0,0079	0,0087	0,0091	0,0096	0,0107	0,0134
0,215	0,0104	0,0079	0,0073	0,0077	0,0084	0,0086	0,0091	0,0099	0,0107
0,286	0,0118	0,0085	0,0080	0,0078	0,0079	0,0083	0,0088	0,0092	0,0094
0,358	0,0133	0,0089	0,0083	0,0079	0,0073	0,0077	0,0081	0,0088	0,0091
0,430	0,0144	0,0094	0,0086	0,0081	0,0075	0,0074	0,0073	0,0081	0,0085
0,501	0,0149	0,0098	0,0087	0,0083	0,0074	0,0068	0,0069	0,0075	0,0079
0,572	0,0156	0,0101	0,0089	0,0084	0,0074	0,0070	0,0070	0,0072	0,0077

Таблица № 64.

Коэффициентъ тренія μ при температурѣ масла 48—50° С.									
Скорость сколь- женія трущихся поверхностей въ mtr./sk.	Давленіе между трущимися поверхностями въ kg./cm. ²								
	6,4	13,5	21,5	25,0	29,5	36,0	40,5	47,0	55,0
0,143	0,0092	0,0077	0,0080	0,0084	0,0087	0,0090	0,0096	0,0105	0,0119
0,215	0,0100	0,0074	0,0078	0,0083	0,0086	0,0086	0,0091	0,0096	0,0103
0,286	0,0107	0,0078	0,0075	0,0080	0,0084	0,0084	0,0088	0,0091	0,0094
0,358	0,0114	0,0078	0,0073	0,0080	0,0073	0,0078	0,0082	0,0086	0,0090
0,430	0,0124	0,0082	0,0077	0,0078	0,0075	0,0072	0,0076	0,0080	0,0086
0,501	0,0132	0,0084	0,0075	0,0073	0,0070	0,0066	0,0070	0,0074	0,0083
0,572	0,0139	0,0088	0,0075	0,0073	0,0070	0,0065	0,0066	0,0070	0,0076

Таблица № 65.

Коэффициентъ тренія μ при температурѣ масла 58—60° С.									
Скорость сколь- женія трущихся поверхностей въ mtr./sk.	Давленіе между трущимися поверхностями въ kg./cm. ²								
	6,4	13,5	21,5	25,0	29,5	36,0	40,5	47,0	55,0
0,215	0,0093	0,0069	0,0072	0,0078	0,0084	0,0086	0,0089	0,0093	0,0097
0,286	0,0098	0,0067	0,0068	0,0077	0,0082	0,0085	0,0086	0,0088	0,0092
0,358	0,0104	0,0071	0,0068	0,0074	0,0079	0,0078	0,0083	0,0087	0,0090
0,430	0,0112	0,0074	0,0068	0,0071	0,0073	0,0075	0,0079	0,0083	0,0088
0,501	0,0123	0,0076	0,0072	0,0069	0,0072	0,0073	0,0074	0,0079	0,0083
0,572	0,0133	0,0079	0,0073	0,0072	0,0066	0,0067	0,0066	0,0070	0,0076
0,715	0,0141	0,0083	0,0075	0,0073	0,0071	0,0070	0,0069	0,0069	0,0069

лиженія къ нимъ. Просматривая, какъ данныя таблицъ, такъ и кривыя, мы прежде всего замѣчаемъ сильное пониженіе величинъ коэффициента тренія, по сравненію съ первоначальными средними значеніями его; такимъ образомъ, среднія значенія коэффициента тренія, опредѣленныя на основаніи предположенія равномернаго распределе-

нія давленій по поверхности пяты и для средней скорости скольженія ея трущейся поверхности, выше, чѣмъ соотвѣтствующія дѣйствительныя величины коэффиціента тренія.

Что касается характера кривыхъ, то онъ остался прежній: каждой опредѣленной скорости скольженія трущихся поверхностей соотвѣтствуетъ опредѣленное давленіе (названное еще Sommerfeld'омъ въ его теоретическомъ изслѣдованіи¹⁾ тренія цапфъ „переходнымъ давленіемъ“), при которомъ коэффиціентъ тренія достигаетъ своего minimum'a значенія; до этого переходнаго давленія коэффиціентъ тренія уменьшается съ повышеніемъ давленія, послѣ переходнаго давленія коэффиціентъ тренія увеличивается; переходное давленіе замѣтно повышается съ увеличеніемъ скорости; наименьшія значенія коэффиціента тренія при различныхъ скоростяхъ мало отличаются другъ отъ друга. Въ предѣлахъ опытовъ, при малыхъ давленіяхъ (приблизительно, до давленія въ 20—24 kg./cm.²) коэффиціентъ тренія увеличивается съ увеличеніемъ скорости, при большихъ давленіяхъ (приблизительно, съ 28—30 kg./cm.²) онъ уменьшается съ увеличеніемъ скорости; установить, правда, въ этомъ отношеніи рѣзкую границу въ давленіяхъ не представляется возможнымъ. Чтобы нагляднѣе представить вліяніе температуры смазывающаго масла на коэффиціентъ тренія, составлены, на основаніи данныхъ таблицъ № 61—65, новыя таблицы № 66—68, въ которыхъ параллельно приведены значенія коэффиціента тренія при различныхъ температурахъ и при одной какой либо скорости. На Листѣ XIV масштабъ для коэффиціентовъ тренія: $1^{\text{m}}/\text{m} \sim 0,0001$, а для температуръ: $1^{\text{m}}/\text{m} \sim 0,5^{\circ} \text{C}$) зависимость коэффиціента тренія отъ температуры масла представлена въ видѣ кривыхъ. Последнія съ несомнѣнностью указываютъ на уменьшеніе коэффиціента тренія съ повышеніемъ температуры масла, причемъ оказывается также, что большее или меньшее уменьшеніе коэффиціента съ повышеніемъ температуры масла зависитъ отъ скорости и отъ давленія: при большихъ скоростяхъ оно больше для меньшихъ давленій, при малыхъ скоростяхъ— для большихъ давленій.

Нѣкоторая неправильность въ теченіи кривой измѣненія коэффиціента тренія съ повышеніемъ температуры при скорости $v = 0,143^{\text{mtr.}}/\text{sk.}$ и при большихъ давленіяхъ можетъ быть объяснена ошибкой въ опредѣленіи силы тренія при небольшихъ числахъ оборотовъ пяты и большихъ нагрузкахъ; такъ, напр., у меня находится подъ большимъ сомнѣніемъ коэффиціентъ тренія при температурѣ 29° , при средней нагрузкѣ пяты въ 47,3 kg./cm.² и при числѣ оборотовъ $n = 58$, а къ

¹⁾ *Sommerfeld. Zur hydrodynamischen Theorie etc., s. 128.*

Таблица № 66.

Коэффициентъ тренія при скорости $v=0,143$ mtr./sk.				
Давленіе между трущимися по- верхностями въ kg./cm. ²	Температура масла въ С°.			
	18—20	27—29	37—39	48—50
6,4	0,0105	0,0097	0,0096	0,0092
13,5	0,0090	0,0073	0,0075	0,0077
21,5	0,0087	0,0080	0,0076	0,0080
25,0	0,0095	0,0093	0,0079	0,0084
29,5	0,0103	0,0104	0,0087	0,0087
36,0	0,0104	0,0111	0,0091	0,0090
40,5	0,0108	0,0112	0,0096	0,0096
47,0	0,0116	0,0131	0,0107	0,0105
55,0	0,0148	0,0166	0,0134	0,0119

Таблица № 67.

Коэффициентъ тренія при скорости $v=0,286$ mtr./sk					
Давленіе между трущимися по- верхностями въ kg./cm. ²	Температура масла въ С°.				
	18—20	27—29	37—39	48—50	58—60
6,4	0,0156	0,0129	0,0118	0,0107	0,0098
13,5	0,0110	0,0084	0,0085	0,0078	0,0067
21,5	0,0095	0,0079	0,0080	0,0075	0,0068
25,0	0,0086	0,0075	0,0078	0,0080	0,0077
29,5	0,0084	0,0083	0,0079	0,0084	0,0082
36,0	0,0087	0,0087	0,0083	0,0084	0,0085
40,5	0,0092	0,0090	0,0088	0,0088	0,0086
47,0	0,0094	0,0093	0,0092	0,0091	0,0088
55,0	0,0097	0,0096	0,0094	0,0094	0,0092

Таблица № 68.

Коэффициентъ тренія при скорости $v=0,572$ mtr./sk.				
Давленіе между трущимися по- верхностями въ kg./cm ² .	Температура масла въ С°			
	27—29	37—39	48—50	58—60
6,4	0,0166	0,0156	0,0139	0,0133
13,5	0,0104	0,0101	0,0088	0,0079
21,5	0,0086	0,0089	0,0075	0,0073
25,0	0,0081	0,0084	0,0073	0,0072
29,5	0,0075	0,0074	0,0070	0,0066
36,0	0,0072	0,0070	0,0065	0,0067
40,5	0,0075	0,0070	0,0066	0,0066
47,0	0,0077	0,0072	0,0070	0,0070
55,0	0,0080	0,0077	0,007	0,0076

тому же и при меньшихъ нагрузкахъ въ 42,0 kg./cm.², 36,7 kg./cm.² и нѣкоторыхъ друг. величина силы тренія при этомъ числѣ оборотовъ не была опредѣлена; точно также и при температурахъ 18—20° не было опредѣлено силы тренія при нагрузкахъ пята въ 36,7 kg./cm.² и 42,0 kg./cm.² при числахъ оборотовъ, меньшихъ 98—100 въ минуту.

Отноше-
ніе полу-
ченныхъ
результатовъ
къ
теоріи Н.
Петрова и
къ резуль-
татамъ
опытовъ
Woodbury.

Заканчивая настоящую статью, я не могу обойти молчаніемъ отношенія полученныхъ мною результатовъ къ гидродинамической теоріи тренія Н. Петрова.

Я уже указывалъ въ началѣ статьи, что Н. Петровъ примѣнилъ свою теорію и къ тренію пята въ подпятникѣ, и получилъ, какъ извѣстно, для коэффициента тренія выраженіе ¹⁾, вполне аналогичное съ выраженіемъ коэффициента тренія для цапфы:

$$\mu = \frac{\mu' U}{\left(\varepsilon + \frac{\mu'}{\lambda_1} + \frac{\mu'}{\lambda_2} \right) p},$$

гдѣ

μ' — коэффициентъ внутренняго тренія смазывающей пята жидкости;

¹⁾ Н. Петровъ. Практическіе результаты опытовъ etc., стр. 73 и слѣд.

U — скорость, опредѣляемая уравненіемъ: $U = \omega r$, гдѣ, въ свою очередь, ω — угловая скорость вращенія элемента пяты, а r — величина соотвѣтствующаго радіуса;

ε — толщина смазывающаго пята слоя жидкости;

λ_1 и λ_2 — коэффиціенты тренія смазывающей жидкости о поверхность пяты и подпятника;

p — давленіе, приходящееся на квадратную единицу поверхности пяты.

На основаніи изслѣдованій самого Петрова о треніи въ цапфахъ, а также произведеннаго имъ разбора опытовъ Ламанскаго ¹⁾ и Woodbury, можно заключить, что при измѣненіяхъ давленія p , величина произведенія $\left(\varepsilon + \frac{\mu'}{\lambda_1} + \frac{\mu'}{\lambda_2} \right) \sqrt{p}$ остается, съ сравнительно большою степенью точности, постоянной ²⁾. Если принять справедливость этого положенія и для нашей пяты, то явится возможность представить вышеприведенное выраженіе коэффиціента тренія для нея въ видѣ:

$$\mu = \frac{\mu' U}{k \sqrt{p}},$$

гдѣ

k — постоянная величина при измѣненіяхъ p .

Разъ это такъ, то отсюда слѣдуетъ, что при неизмѣнной скорости U , μ измѣняется обратно пропорціонально корню квадратному изъ p .

Обращаясь къ результатамъ нашихъ опытовъ, возьмемъ значенія коэффиціента тренія до переходнаго давленія при $v=0,501$ mtr./sk и при температурѣ $t=27-29^\circ$ (см. Листъ IX), и сравнимъ отношенія его значеній ($\mu_1, \mu_2, \dots$) при различныхъ давленіяхъ ($p_1, p_2, \dots$) съ отношеніями соотвѣтствующихъ величинъ $\frac{1}{\sqrt{p_1}}, \frac{1}{\sqrt{p_2}}, \dots$. Въ слѣдующей таблицѣ № 69 приведены значенія коэффиціента тренія при соотвѣтствующихъ давленіяхъ, а также величины отношеній коэффиціентовъ тренія и отношенія обратныхъ величинъ корней квадратныхъ изъ соотвѣтствующихъ значеній p .

Данныя этой таблицы указываютъ на довольно близкое совпаденіе разсматриваемыхъ отношеній другъ съ другомъ.

Въ таблицахъ № 70—71 приведены результаты сравненія тѣхъ же отношеній при другихъ скоростяхъ и температурахъ, и также ус-

¹⁾ И. Ламанскій. Изслѣдованіе смазочныхъ маселъ, 1884.

²⁾ Н. Петровъ. Описаніе и результаты опытовъ etc., стр. 417 и слѣд., а также: Практическіе результаты опытовъ etc., стр. 12.

матривается довольно удовлетворительное совпадение данных наших опытовъ съ результатами подсчетовъ по формулѣ Н. Петрова, но необходимо еще разъ указать, что рассматриваемое совпадение имѣетъ мѣсто только при допущеніи равенства $\left(\varepsilon + \frac{\mu'}{\lambda_1} + \frac{\mu'}{\lambda_2} \right) \sqrt{p} = \text{const.}$ и въ предѣлахъ измѣненія коэффициента тренія до переходнаго давленія.

Таблица № 69.

Скорость $v = 0,501$ mtr./sk. Температура масла 27—29° С.												
$p_1, p_2, \dots$ въ kg./cm. ²	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0148	0,0123	0,0109	0,0101	0,0095	0,0091	0,0087	0,0084	0,0081	0,0079	0,0076	0,0075
$\frac{1}{\sqrt{p_1}} : \frac{1}{\sqrt{p_2}}, \dots$	1,135	1,105	1,087	1,072	1,065	1,058	1,052	1,048	1,042	1,038	1,034	
$\mu_1 : \mu_2, \dots$	1,203	1,128	1,080	1,063	1,043	1,046	1,036	1,036	1,026	1,026	1,014	

Таблица № 71.

Скорость $v=0,430$ mtr./sk. Температура масла 37—39°															
$p_1, p_2, \dots$ въ kg./cm.^2	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$\frac{1}{\sqrt{p_1}} : \frac{1}{\sqrt{p_2}}, \dots$	1,120	1,094	1,080	1,070	1,060	1,055	1,048	1,043	1,040	1,037	1,034	1,032	1,030	1,028	
$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0118	0,0104	0,0098	0,0093	0,0090	0,0088	0,0087	0,0086	0,0083	0,0079	0,0076	0,0075	0,0074	0,0074	0,0073
$\mu_1 : \mu_2, \dots$	1,134	1,061	1,054	1,033	1,023	1,012	1,012	1,012	1,036	1,051	1,040	1,013	1,014	1,000	1,014

Что касается вліянія скорости на коэффициентъ тренія, то злѣсь трудно и говорить о согласіи или несогласіи результатовъ нашихъ опытовъ съ данными, получаемыми по формулѣ Н. Петрова, уже по одному тому, что увеличеніе скорости должно измѣнять и величину суммы $\varepsilon + \frac{\mu'}{\lambda_1} + \frac{\mu'}{\lambda_2}$ знаменателя этой формулы, и величину коэффициента (μ') внутренняго тренія жидкости, стоящаго въ числительѣ.

Какъ измѣняются эти величины въ зависимости отъ скорости въ нашемъ случаѣ, мы не знаемъ; если бы даже принять вышеуказанную сумму знаменателя за величину постоянную, какъ допускаетъ иногда Н. Петровъ ¹⁾ для весьма грубыхъ подсчетовъ, и если бы мы знали законъ измѣненія μ' съ увеличеніемъ скорости, то все-таки имѣется, какъ извѣстно, еще новый факторъ, вліяющій на измѣненіе μ при измѣненіи скорости, это—теплопроводность трущихся частей машины. Еще самъ Н. Петровъ указалъ громадное вліяніе теплопроводности на характеръ зависимости коэффициента тренія отъ скорости: при очень большихъ теплопроводностяхъ трущихся частей машинъ, коэффициентъ тренія почти пропорціоналенъ скоростямъ; въ машинахъ же съ малыми или даже обыкновенными теплопроводностями можетъ оказаться, что коэффициентъ тренія будетъ расти съ увеличеніемъ скорости въ меньшей степени, чѣмъ сама скорость, или даже оставаться безъ измѣненія ²⁾. Дѣйствительно, при нашихъ опытахъ оказалось, что, напр., при температурѣ 18—20° С и при давленіи въ 6,4 kg/cm.² коэффициентъ тренія растетъ, съ весьма грубымъ приближеніемъ, пропорціонально $\sqrt{v}$, при высшихъ температурахъ и при большихъ нагрузкахъ пропорціонально $\sqrt[3]{v}$ (см. таблицу № 72).

Увеличеніе коэффициента тренія пропорціонально $\sqrt{v}$ слѣдуетъ также изъ опытовъ Stribeck'a, Dettmar'a, Tower'a и друг., только въ болѣе широкихъ предѣлахъ измѣненія давленій и скоростей.

Наконецъ, обращаясь къ опытамъ Woodbury и сличая результаты ихъ съ результатами нашихъ опытовъ, можно сказать только, что полученныя Woodbury величины коэффициента тренія и законъ измѣненія его съ измѣненіемъ нагрузки пяты въ предѣлахъ, лежащихъ ниже нашей минимальной нагрузки, все же скорѣе подтверждаютъ ¹⁾ полученные нами результаты, чѣмъ противорѣчатъ имъ.

¹⁾ Н. Петровъ. Практическіе результаты опытовъ etc., стр. 12.

²⁾ Н. Петровъ. Описаніе и результаты опытовъ etc., стр. 430.

³⁾ Woodbury. Measurements of Friction etc., s. 534, Table II.

Таблица № 72.

Скорости $v_1, v_2, \dots$ въ mtr./sk.			0,143	0,215	0,286	0,358	0,430	0,501	0,572
$\frac{v_2}{v_1}, \frac{v_3}{v_2}, \dots$			1,50	1,33	1,25	1,20	1,165	1,14	
$\frac{\sqrt{v_2}}{\sqrt{v_1}}, \frac{\sqrt{v_3}}{\sqrt{v_2}}, \dots$			1,225	1,153	1,118	1,095	1,077	1,068	
$\frac{\sqrt[3]{v_2}}{\sqrt[3]{v_1}}, \frac{\sqrt[3]{v_3}}{\sqrt[3]{v_2}}, \dots$			1,145	1,100	1,080	1,060	1,050	1,045	
Температура масла 18—20° С.	Давленіе между трущимися поверхностями.	$p = 6,4 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0105	0,0134	0,0156	0,0170		
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	1,280	1,164	1,090			
		$p = 13,5 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0090	0,0102	0,0110	0,0113		
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	1,133	1,080	1,030			
Температура масла 27—29° С.	Давленіе между трущимися поверхностями.	$p = 6,4 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0097	0,0114	0,0129	0,0141	0,0150	0,0158
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	1,173	1,132	1,093	1,064	1,053	1,051
		$p = 13,5 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0073	0,0078	0,0084	0,0088	0,0095	0,0100
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	1,069	1,077	1,048	1,080	1,053	1,040
Температура масла 58—60° С.	Давленіе между трущимися поверхностями.	$p = 6,4 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0093	0,0098	0,0104	0,0112	0,0123	0,0133
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	1,054	1,061	1,077	1,098	1,081	1,060
		$p = 13,5 \text{ kg./cm.}^2$	$\mu_1, \mu_2, \dots$	0,0069	0,0067	0,0071	0,0074	0,0076	0,0079
			$\frac{\mu_2}{\mu_1}, \frac{\mu_3}{\mu_2}, \dots$	0,971	1,060	1,042	1,027	1,040	1,051

Итакъ, резюмируя все вышеизложенное, я позволилъ бы себѣ вы- Положе-
нія.
сказать слѣдующія положенія, болѣе или менѣе достовѣрныя въ предѣлахъ произведенныхъ опытовъ:

1) Такъ называемый средній коэффициентъ тренія при движеніи пяты, опредѣляемый въ предположеніи равномернаго распредѣленія давленій по поверхности пяты и независимости его отъ скорости скольженія трущихся элементовъ пяты, зависитъ отъ средней нагрузки пяты, числа ея оборотовъ и температуры смазывающаго масла.

2) Для каждаго опредѣленнаго числа оборотовъ пяты существуетъ наименьшее значеніе коэффициента тренія при вполнѣ опредѣленной нагрузкѣ пяты (такъ называемая, переходная или критическая нагрузка).

3) Чѣмъ выше число оборотовъ, тѣмъ при большей средней нагрузкѣ коэффициентъ тренія достигаетъ своего minimum'a значенія.

4) Наименьшія значенія коэффициента тренія при различныхъ числахъ оборотовъ близки между собой.

5) До переходной нагрузки коэффициентъ тренія уменьшается съ увеличеніемъ нагрузки, послѣ же переходной нагрузки увеличивается, но это увеличеніе идетъ медленнѣе, чѣмъ уменьшеніе коэффициента тренія до переходной нагрузки.

6) Какая либо кривая, показывающая при опредѣленномъ числѣ оборотовъ зависимость коэффициента тренія отъ нагрузки, до ея критической величины располагается выше такой же кривой при меньшемъ числѣ оборотовъ; пока эта послѣдняя кривая, послѣ перехода своей критической нагрузки, не пересѣчетъ первую кривую и не расположится, въ свою очередь, выше этой послѣдней.

7) Съ повышеніемъ температуры масла коэффициентъ тренія уменьшается; уменьшеніе это значительнѣе при малыхъ нагрузкахъ и болѣе низкихъ температурахъ (въ предѣлахъ измѣненія числа оборотовъ: 100—200 въ минуту); при высокихъ температурахъ (выше 50°C) и при большихъ нагрузкахъ (выше $30-35 \text{ kg./cm.}^2$) замѣчается нѣкоторое увеличеніе коэффициента тренія съ повышеніемъ температуры (при 150—200 оборотахъ въ минуту).

8) Коэффициентъ тренія для момента сдвига пяты изъ состоянія покоя не зависитъ отъ нагрузки пяты, но зависитъ отъ температуры масла: съ повышеніемъ ея коэффициентъ тренія уменьшается.

9) Вышеприведенныя результаты опытовъ надъ треніемъ пяты въ подшипникѣ, за исключеніемъ послѣдняго положенія, въ общемъ схожи съ результатами опытовъ Stribeck'a надъ треніемъ цапфы въ подшипникѣ, и, такимъ образомъ, оказывается, что законы тренія въ пятѣ мало отличаются отъ законовъ тренія въ цапфѣ.

Замѣченныя погрѣшности.

Страница.	Строка.	Напечатано.	Должно быть.
10	11 сверху	14	1,4
"	13 "	0,0236	0,0237
11	2 снизу	7,4	7,45
12	7 "	0,0238	0,0237
13	2 "	64	6,4
14	11 сверху	8,95	8,85
16	2 снизу	8,6	8,5
18	1 "	0,0090	0,0089
19	6 сверху	0,0095	0,0096
"	11 "	1 60	1,60
20	1 снизу	0,0088	0,0089
21	6 сверху	0,0090	0,0091
22	7 и 8 снизу	коэффициента	коэффициента
27	2 снизу	неудалось	не удалось
"	8 сверху	41,0	42,0
34	5 "	00087	0,0087
35	3 "	въ	въ
41	3 "	1135	1,135
44	7 "	1090	1,090

Листъ чертежей съ кривыми коэффициента тренія при $T=48-50^{\circ}$ С по-
мѣченъ Листомъ IV, вмѣсто: Листъ V.

На листъ IX пропущено для пунктирной кривой при наименьшемъ чис-
лѣ оборотовъ обозначеніе: $n=50$.

На страницѣ 24 въ таблицѣ № 49

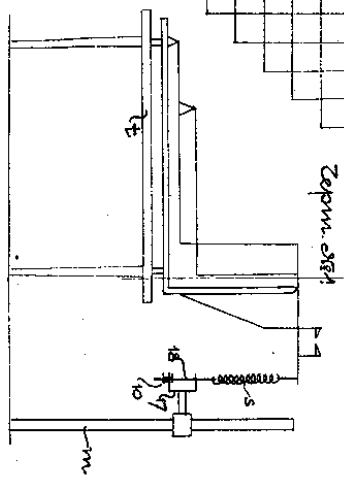
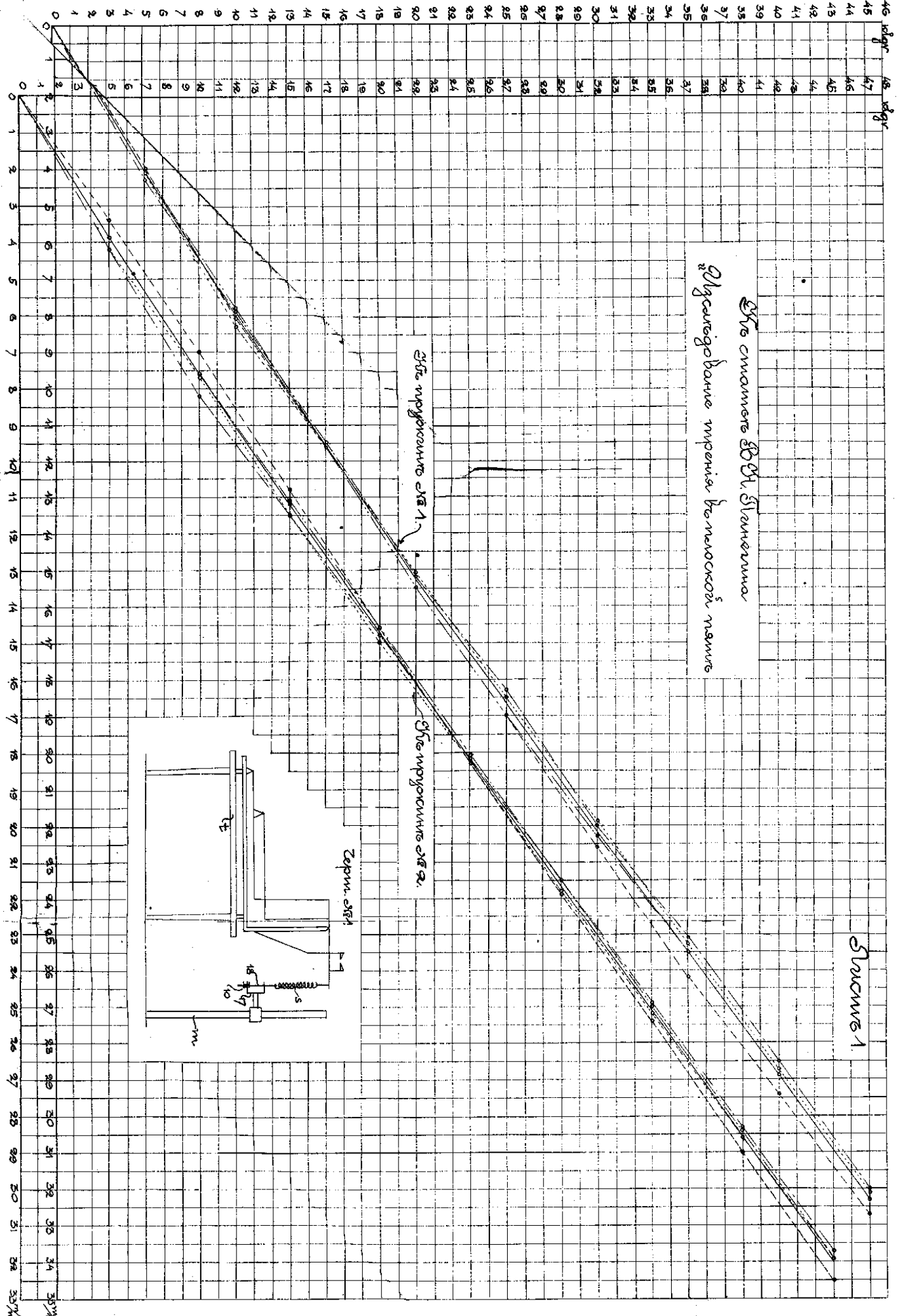
напечатано:

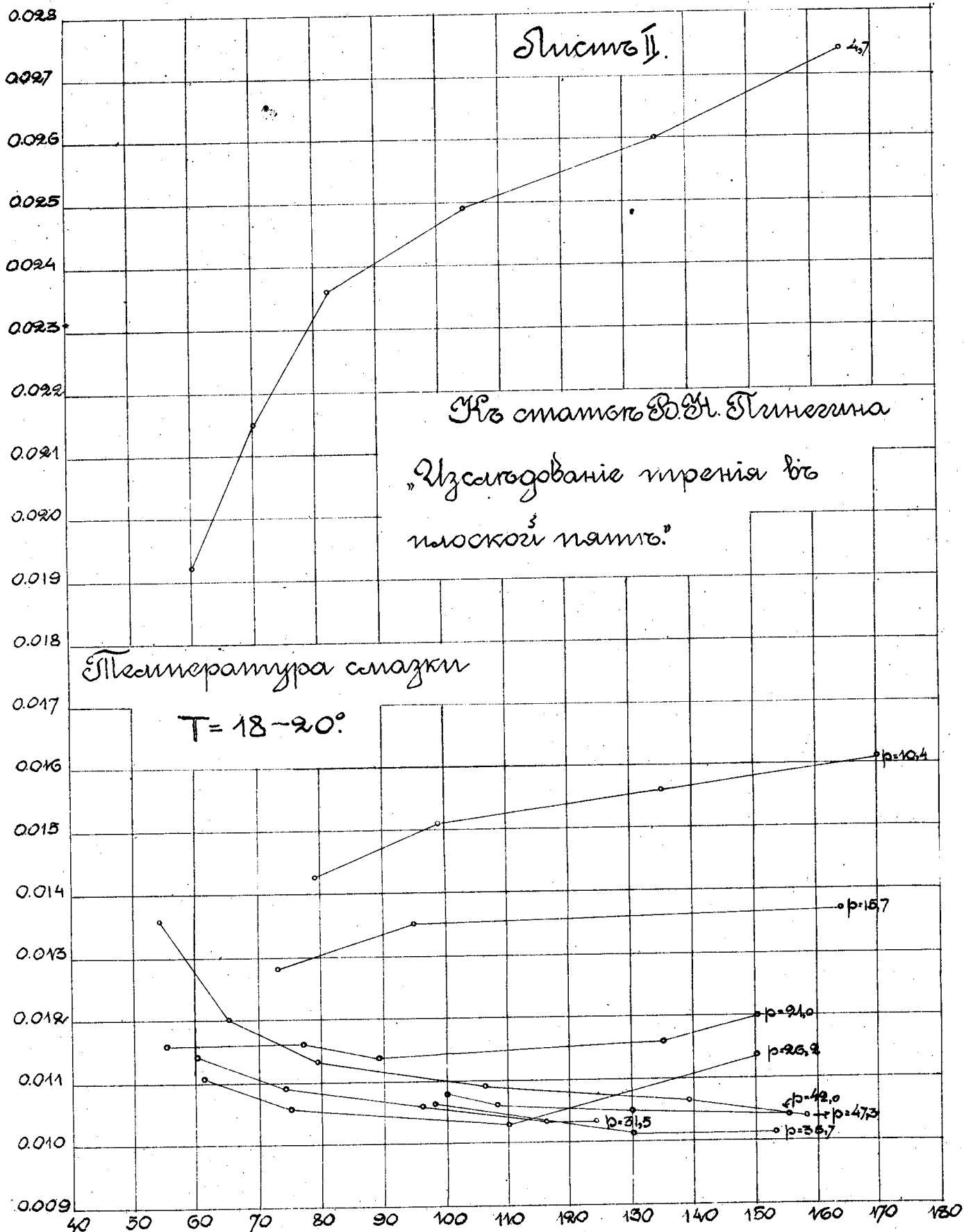
должно быть:

5	0,0284	219	0,0203	0,0202	5	0,0284	0,0219	0,0203	0,0202
10	0,0183		,0138	0,0125	10	0,0183	0,0151	0,0138	0,0125
15	0,0147	0,0122	0,0107	0,0104	15	0,0147	0,0122	0,0107	0,0104

Рисунок 1

Элементы системы
 Обработка данных в масштабе

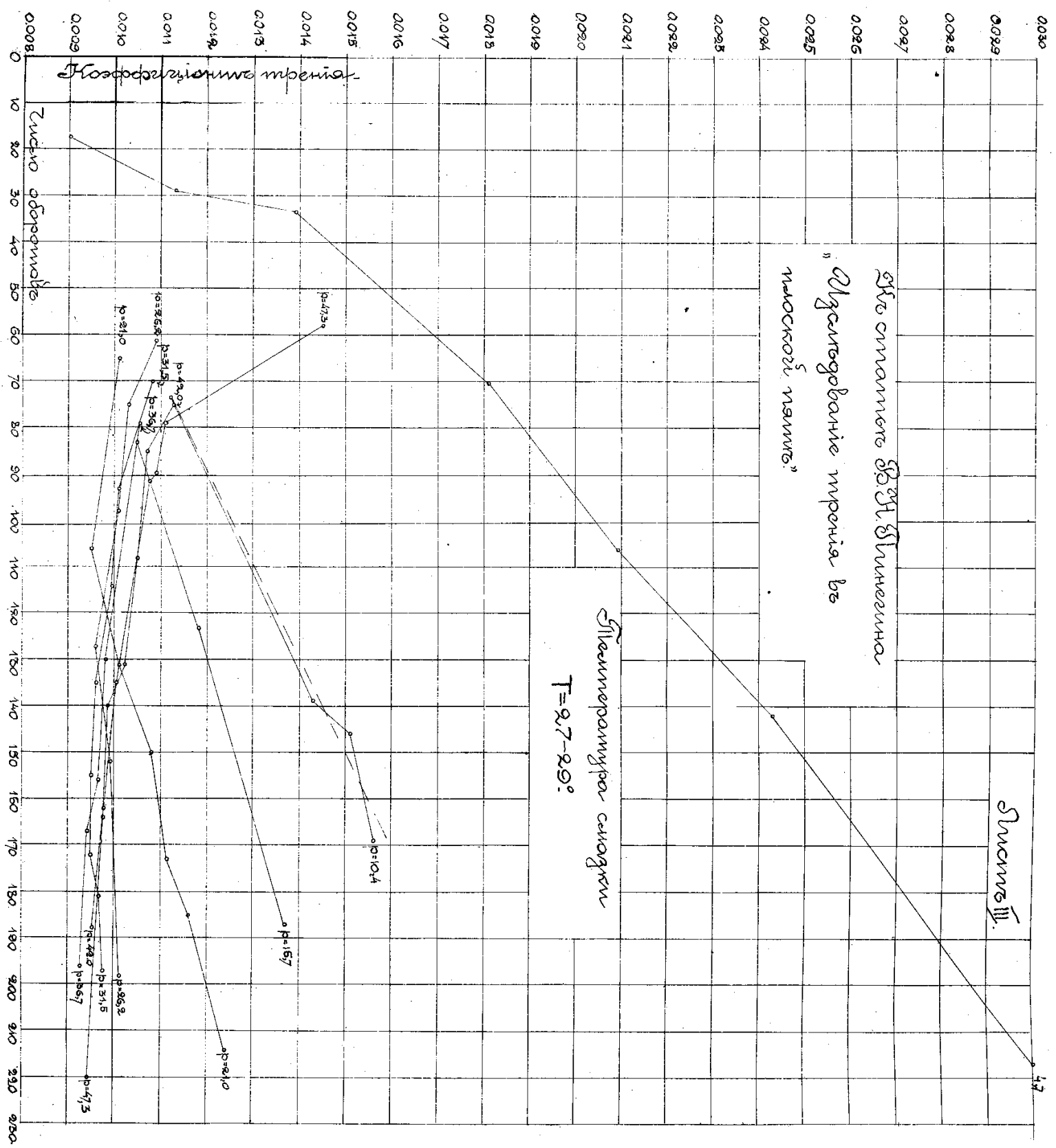


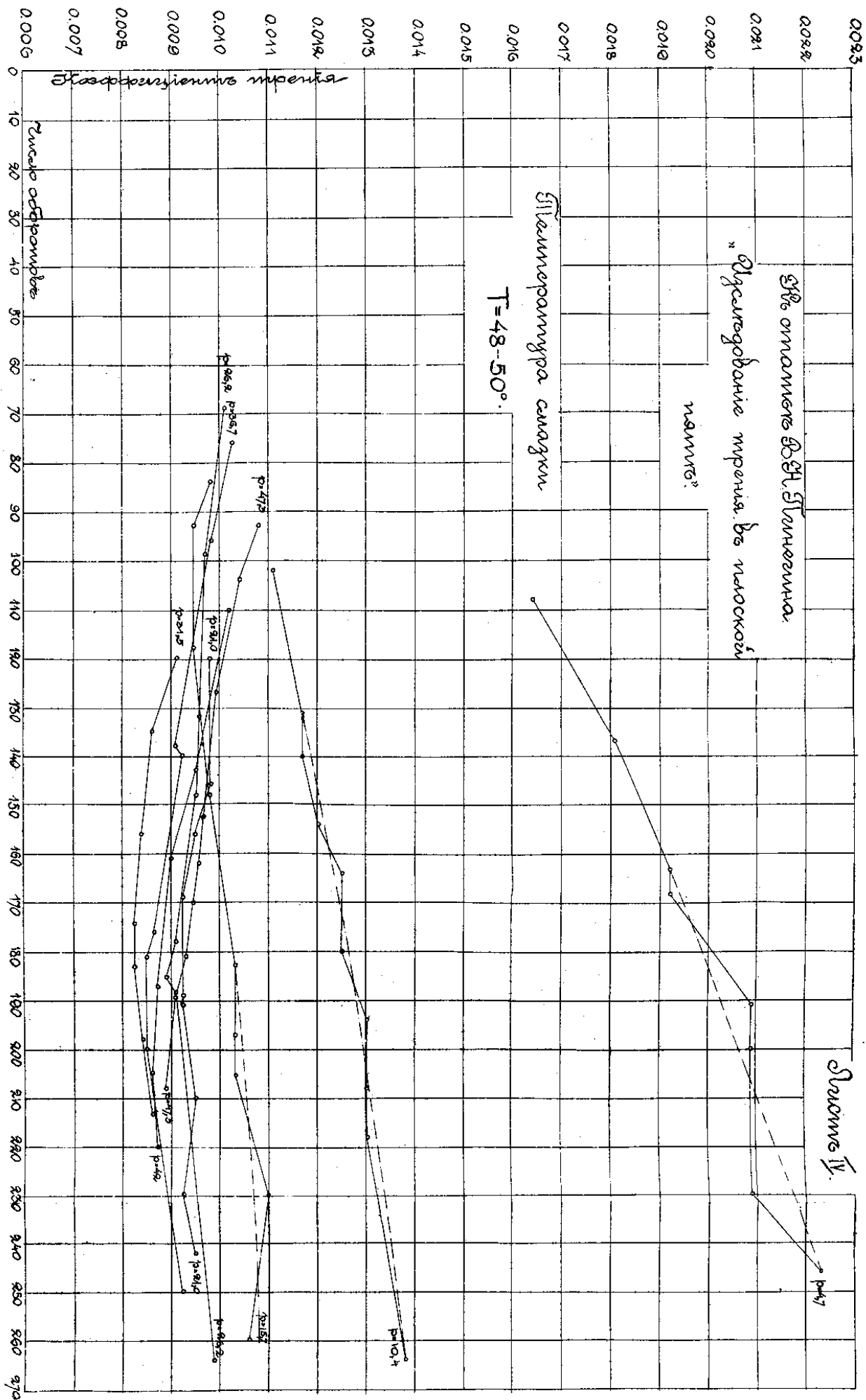


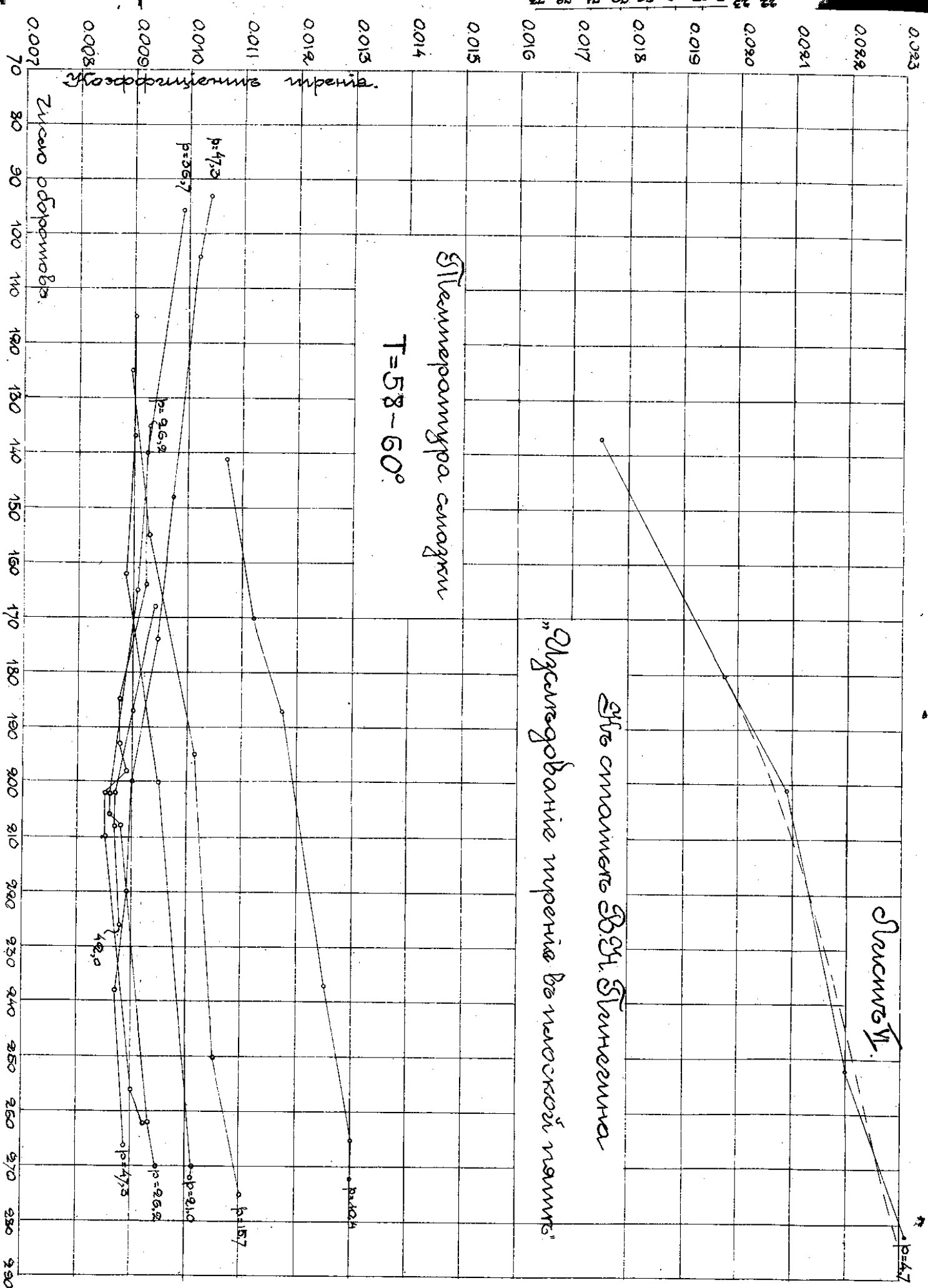
Шумов III.

Эже снание 88.21 Шумовина
 "Одусугование нрениа вэ
 ниской нание"

Шлеинранура сиюгн
 T=2.7-2.9°

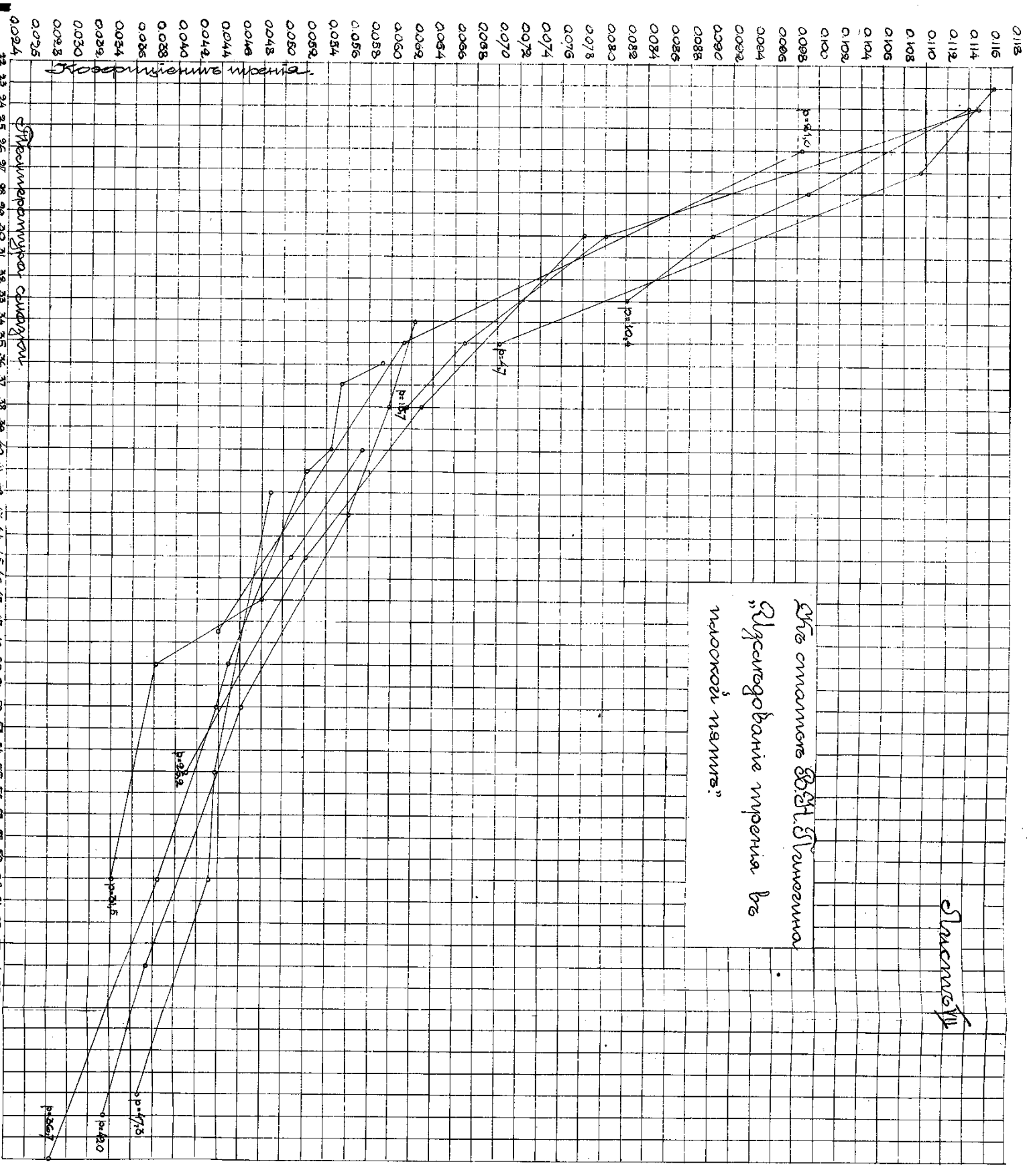






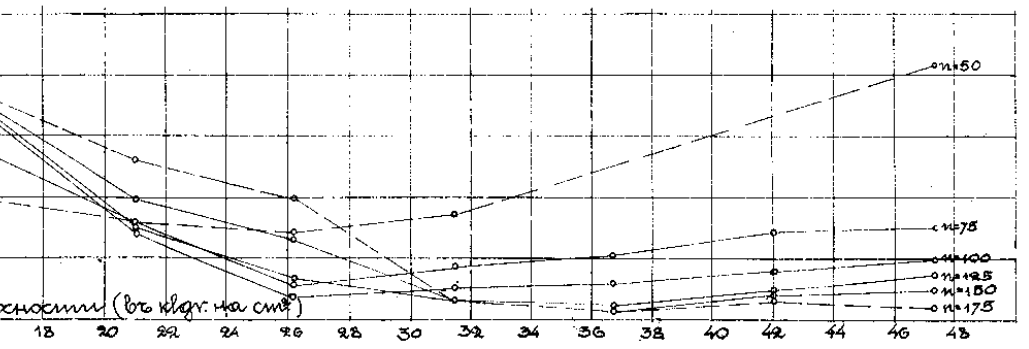
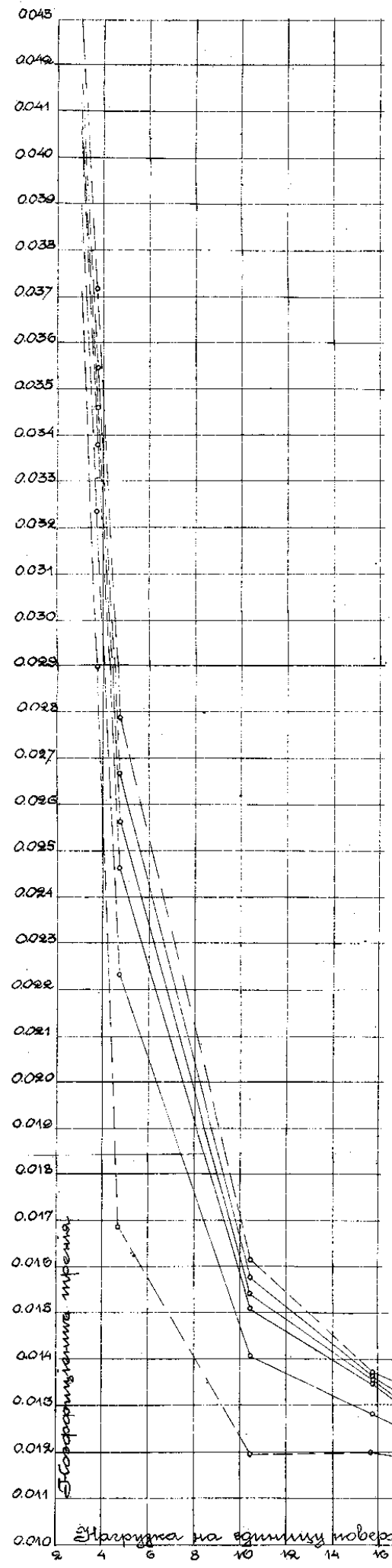
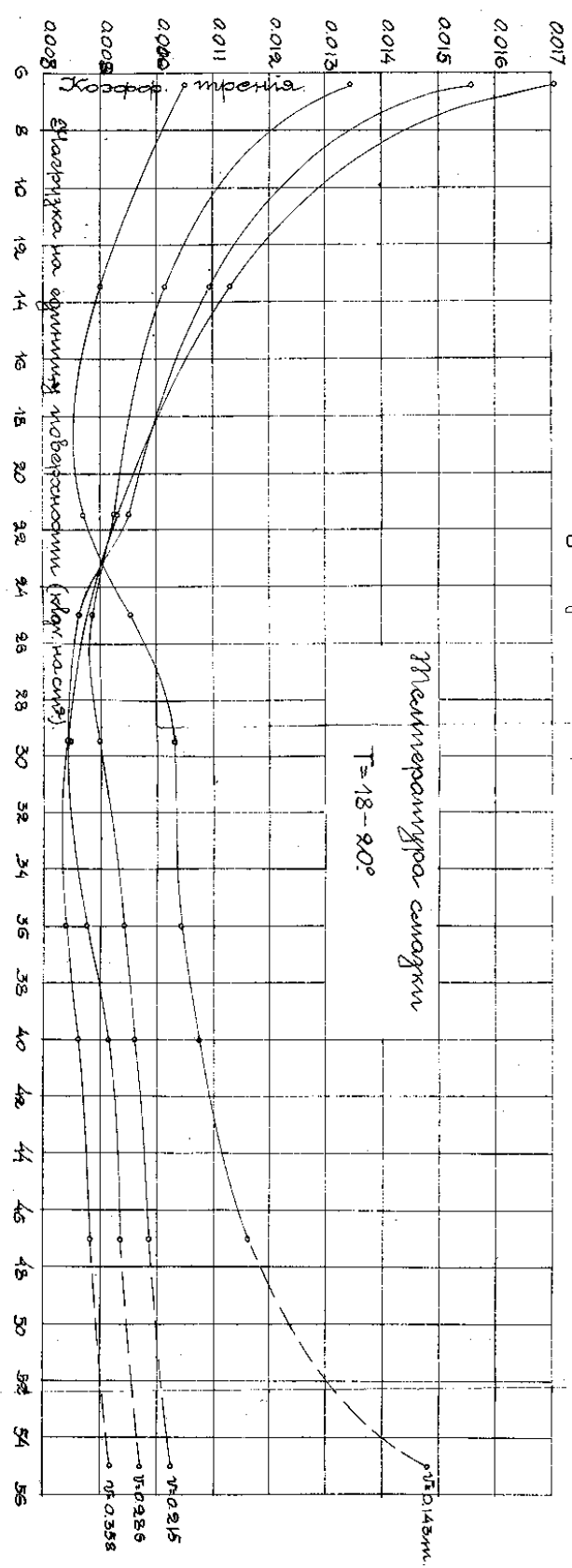
Страница 11

Этот материал
"Изучение империи в
наши дни"



СВ-опаше 28-31. Временна
 "Временна температура в наклонените"

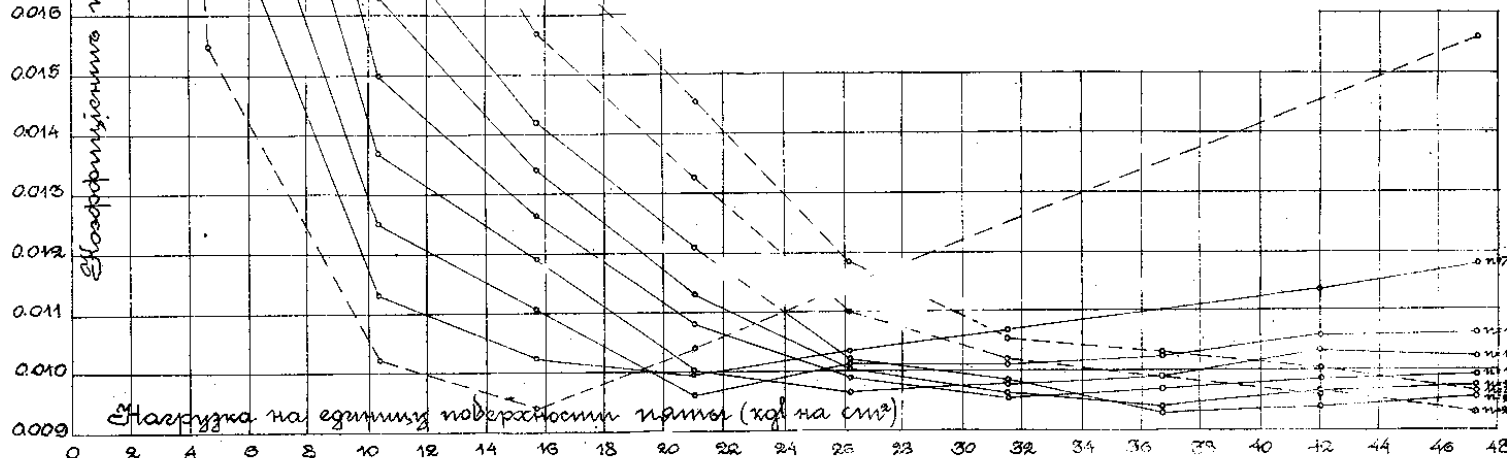
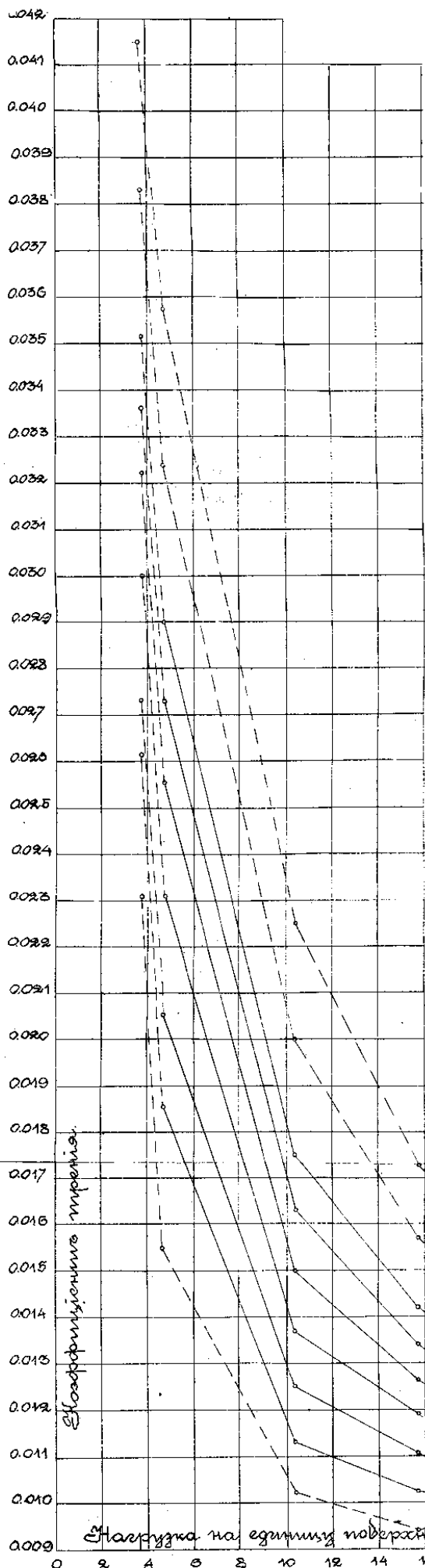
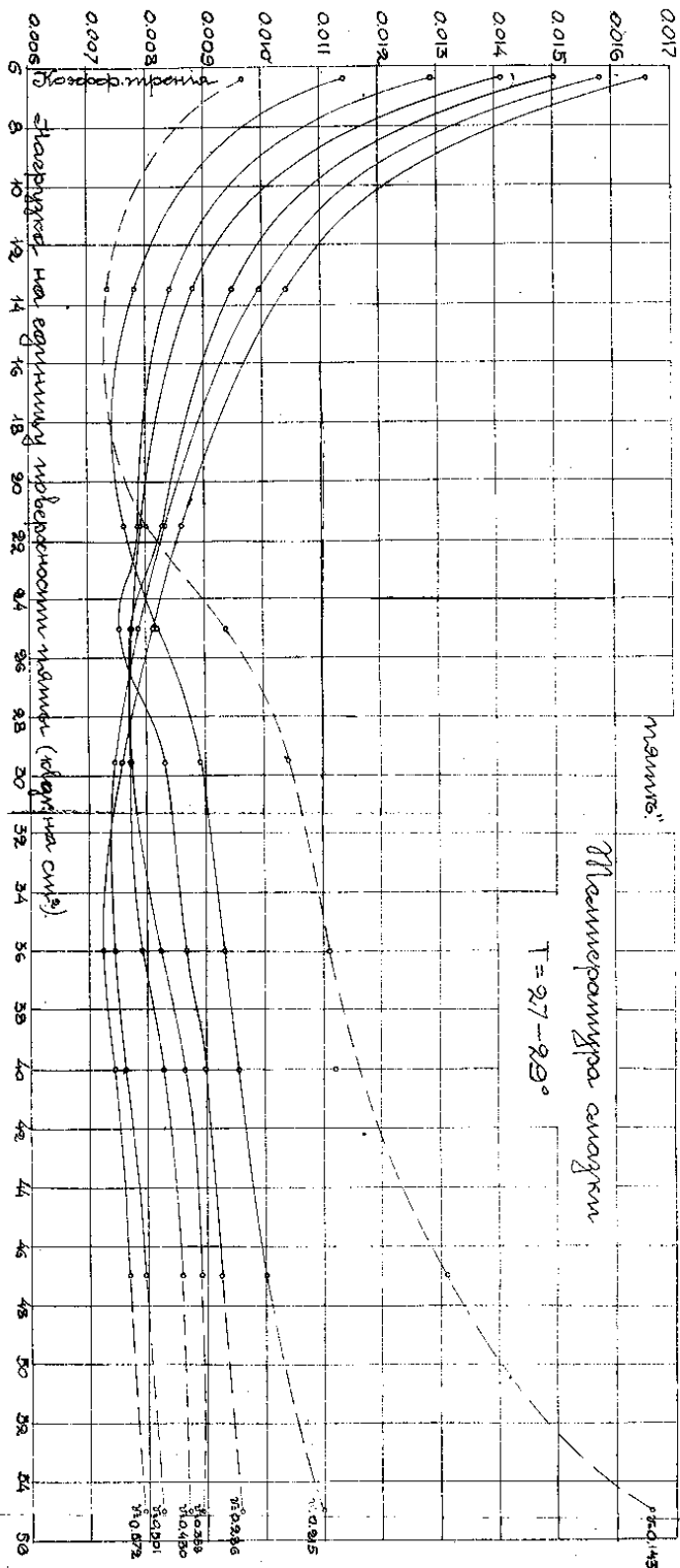
Список VII.

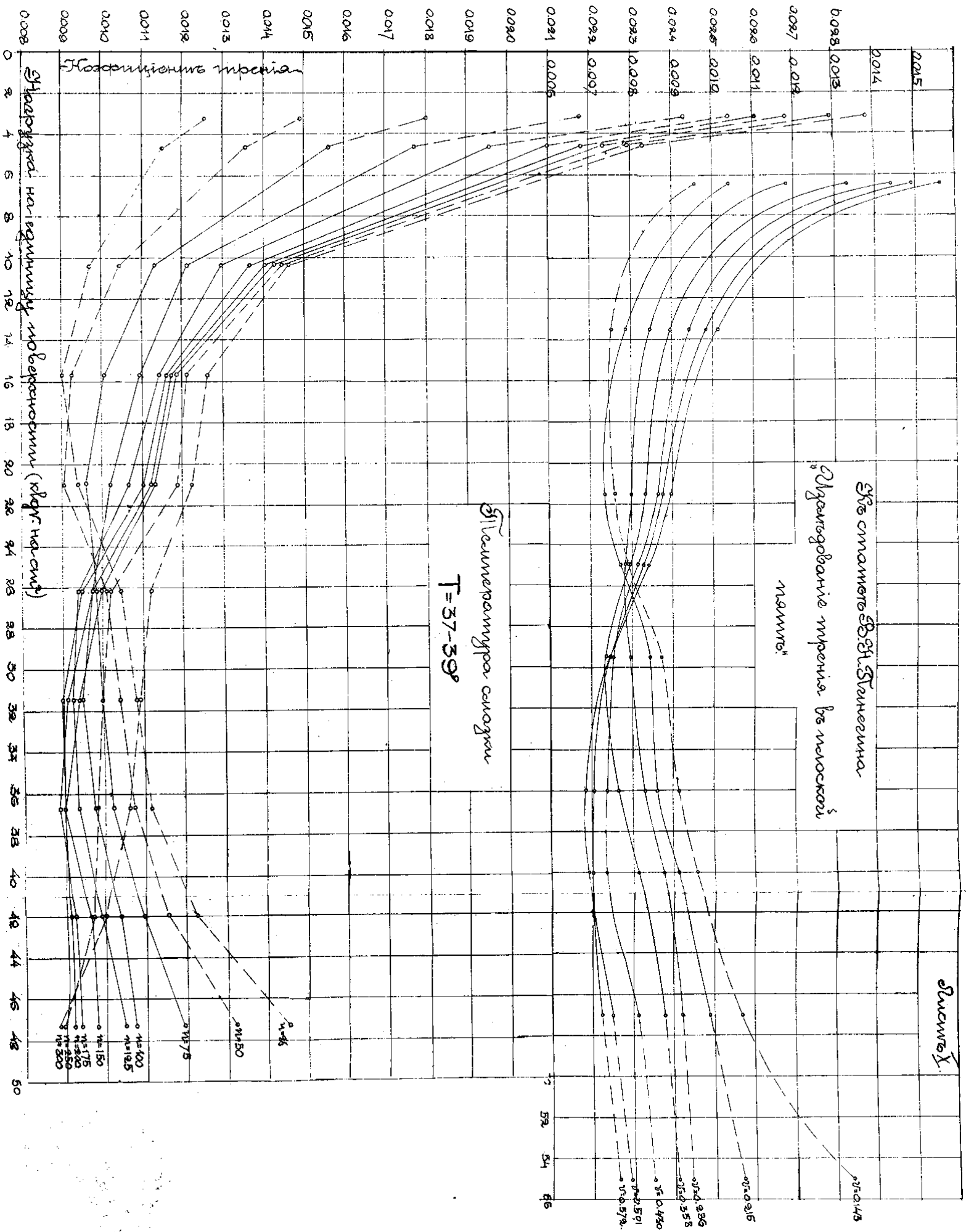


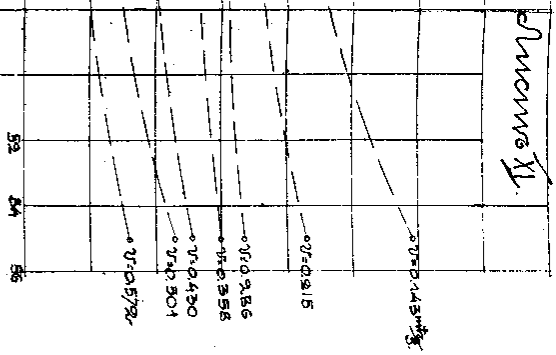
main:

Meunierpomyia curvipes

T = 27-29°







Высечение нрениа въ наоскоу паниа

Этот материал

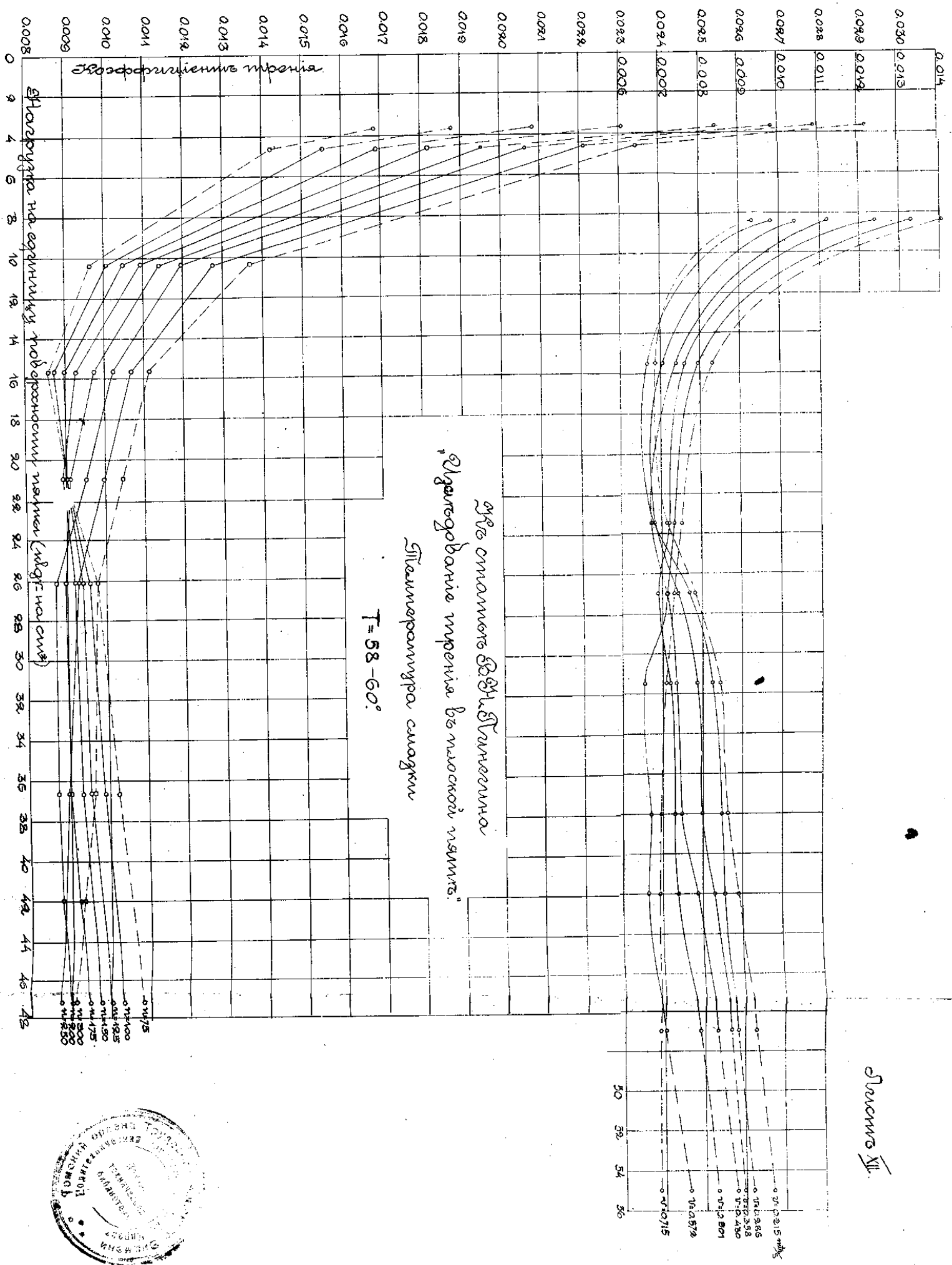
Экспериментальная работа

$T = 48-50^\circ$

Коэффициент нрениа

Загрузка на единицу поверхности (кг/см²)





Lucius XIII

мощно и много:

