

Н.П. Петров

**Трение в машинах и влияние
на него смазывающей
жидкости**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
Н11

Н11 **Н.П. Петров**
Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости / Н.П. Петров –
М.: Книга по Требованию, 2021. – 220 с.

ISBN 978-5-458-10559-0

Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости. Автор Н. Петров, профессор Николаевской инженерной академии и Санкт-Петербургского практического технологического института. Из "Инженерного журнала" 1883 года.

ISBN 978-5-458-10559-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	стр.
§ 1—5. Вступленіе	1
§ 6—7. Различныя роды тренія сопровождающаго движеніе смазанныхъ частей машинъ	6

Треніе твердыхъ тѣлъ.

§ 8—12. Треніе твердыхъ тѣлъ. Законы этого тренія и степе- нь ихъ точности	9
---	---

Треніе жидкостей.

§ 13—14. Треніе жидкостей; гипотезы Ньютона относительно законовъ тренія жидкихъ тѣлъ; законы, найденные другими наблюдателями	12
§ 15—17. Необходимость провѣрки первой гипотезы Ньютона, допускающей, что внутреннее треніе жидкостей пропорціонально первой степени, относительной ско- рости	13

Опыты и изслѣдованія для опредѣленія законовъ тренія жидкостей.

§ 18—20. Первоначальныя наблюденія. Опыты Кушле и опыты Чеши	16
§ 21—22. Опыты Куломба	19
§ 23—27. Опыты Жирара	23
§ 28—30. Невозможность найти законы тренія жидкихъ тѣлъ путемъ однихъ опытовъ, не принимая въ расчетъ законъ относительнаго движенія частицъ жидкости.	31

§ 31—33.	Выводъ уравненій, опредѣляющихъ скорость и количество протекающей жидкости, прямолинейно двигающейся въ очень тонкой трубкѣ, принимая за основаніе гипотезу Ньютона	34
§ 34—43.	Повѣрка правильности различныхъ предположеній, принятыхъ при выводѣ уравненій движенія	46
§ 44—46.	Сравненіе выведенныхъ результатовъ съ опытами Жирара	54
§ 47—50.	Опыты Пуазеля	56
§ 51.	Сравненіе опытовъ Пуазеля съ результатами выведенныхъ уравненій	63
§ 52.	Подтвержденіе гипотезы Ньютона, вытекающее изъ опытовъ Пуазеля	65
§ 53—54.	Опыты Якобсона	66
§ 55.	Величина силы внутренняго тренія воды при различныхъ температурахъ	69
§ 56.	Возраженія противъ правильности гипотезы Ньютона	70
§ 57.	Возраженія Сонне, Дарси и Д. И. Менделѣева	71
§ 58—59.	Возраженія Леви и Клейтца	76
§ 60—61.	Опредѣленіе того вліянія, какое можетъ имѣть членъ, содержащій квадратъ относительной скорости на численную величину двучленной формулы, выражающей величину пропорціональную силѣ внутренняго тренія	80
§ 62—63.	Современное понятіе о величинѣ силы вѣшняго тренія жидкостей	86
§ 64—66.	Соотношеніе между силою внутренняго тренія и температурою сурьиннаго масла, по опытамъ О. Е. Мейера	90
§ 67—74.	Сила тренія, развивающаяся на поверхности вертикальнаго круглаго цилиндра безграничной длины, вращающагося внутри жидкости	95
§ 75—76.	Обстоятельства, составляющія причины сходства и различія идеальнаго случая, для котораго выведены формулы (§72), и случаевъ дѣйствительныхъ, къ которымъ она можетъ быть примѣнена	117

Коэффициентъ тренія машинныхъ частей; его зависимость отъ разныхъ обстоятельствъ.

§ 77.	Выводъ формулы, выражающей величину коэффициента тренія машинныхъ смазанныхъ частей	124
§ 78.	Повѣрка правильности состава формулы	126
§ 79—81.	Опыты Гирна	128
§ 82—84.	Вліяніе внутренняго тренія жидкости и вліяніе температуры	134

	СТР.
§ 85. Совокупное влияние температуры и средней толщины смазывающего слоя	141
§ 86. Влияние скорости	142
§ 87. Влияние величины трущейся поверхности	145
§ 88. Результаты опытовъ Гирна подтверждаютъ уравнение § 77	147
§ 89. Влияние средней толщины смазывающего слоя . . .	147
§ 90. Зависимость коэффициента трения машинныхъ частей, не принимая въ расчетъ температуру, указываемая Гирномъ	149
§ 91. Опреѣленіе средней толщины смазывающего слоя .	152
§ 92—94. Опыты Терстона	154
§ 95. Невозможность сѣлать изъ нихъ правильные выводы относительно влияния температуры, скорости и давленія	157
§ 96. Зависимость коэффициента трения отъ скорости, не принимая въ расчетъ температуры, указываемое Терстономъ	163
§ 97. Влияніе относительной нагрузки, указываемое Терстономъ	164
§ 98—99. Опыты Кирхвегера	166
§ 100—103. Разборъ опытовъ Кирхвегера	170
§ 104. Зависимость толщины смазывающего слоя отъ относительнаго давленія и истекающая отсюда связь между результатами разныхъ наблюденій .	176
§ 105. Влияніе толщины смазывающего слоя, указываемое опытами Кирхвегера	179
§ 106—107. Геттингенскіе опыты	181
§ 108—109. Вліяніе изгиба цапфы на величину коэффициента тренія	184

В ы в о д ы.

§ 110. Выводы изъ описанныхъ опытовъ, относящіеся къ коэффициенту тренія	187
§ 111—114. Выводъ уравненія, связывающаго величину силы тренія съ величинами: внутренняго тренія жидкости, скорости, поверхности прикосновенія, полной нагрузки, теплопроводности трущейся машинной части, температуры окружающей среды и съ качествами органическаго масла, въ случаѣ установившагося движенія	189
§ 115. Невозможность теперь же найти подобное уравненіе для минеральнаго масла	197
§ 116. Сила тренія при обстоятельствахъ неустановившихся.	198
§ 117. Сила тренія въ случаѣ непосредственнаго прикосновенія твердыхъ частей машинъ	198

§ 118—119.	Необходимость новыхъ опытовъ для изученія силы тренія	199
§ 120.	Неправильность современныхъ соображеній при опредѣленіи размѣровъ цапфъ	202
§ 121.	Недостаточность современныхъ соображеній при опредѣленіи относительной нагрузки	204
§ 122.	Недостатки современныхъ опытовъ при опредѣленіи вліянія металла на величину силы тренія	205
§ 123.	Главные черты организаціи желательныхъ опытовъ .	206

ТРЕНИЕ ВЪ МАШИНАХЪ И ВЛІЯНІЕ НА НЕГО СМАЗЫВАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ.

§ 1. Въ послѣднее десятилѣтіе нефтяная промышленность получила у насъ чрезвычайно сильное развитіе. Заводы, занимавшіеся первоначально добываніемъ керосина изъ нашей нефти, были очень озабочены весьма малымъ выходомъ его сравнительно съ выходомъ изъ американской нефти. Въ то время, какъ въ Америкѣ получали до 70% керосина, у насъ приходилось ограничиваться 30% и считать остальные 70% отбросомъ. Это обстоятельство заставило, да, можно сказать, и по-нынѣ еще заставляеть, наши керосиновые заводы изыскивать средства для превращенія ихъ остатковъ въ какіе-нибудь полезные продукты. Результатомъ такихъ изысканій явилось, между прочимъ, приготовленіе смазывающихъ веществъ. На рынокъ получилось, вмѣстѣ съ растительными маслами, множество минеральныхъ маселъ. Въ это же почти время явились въ продажѣ смазочныя масла, получаемыя при сухой перегонкѣ дерева. Цѣна новыхъ смазочныхъ матеріаловъ оказалась вообще гораздо ниже прежде изготовлявшихся растительныхъ маселъ или животныхъ жировъ, и сверхъ того, сами минеральныя масла и жиры, и масло отъ сухой перегонки дерева, предлагавшіеся по весьма различнымъ цѣнамъ, имѣли видимо

весьма различныя свойства. Одни изъ нихъ были прозрачны, слегка окрашены въ желтый цвѣтъ, по виду очень похожи на растительныя масла и могли бы быть получены даже совершенно безцвѣтными, какъ вода; другіе были гораздо темнѣе, и множество изъ нихъ было почти чернаго цвѣта. Густота ихъ и кажущаяся возможность смазыванія были до крайности различны. Не будь цѣна этихъ маселъ, въ особенности черныхъ, въ три, въ четыре раза ниже растительныхъ маселъ, къ которымъ техники давно привыкли,—очень можетъ быть, что они не обратили бы большаго вниманія на новыя смазочныя масла, несмотря на то, что эти масла, независимо отъ цѣны, представляютъ нѣкоторыя несомнѣныя преимущества передъ растительными.

Но возможность сдѣлать большую, нерѣдко многотысячную экономію въ расходахъ на смазочныя матеріалы побудила технику испытать новыя вещества. Опыты показали, что смазываніе нашими минеральными маслами, вообще говоря, совершенно возможно, но иногда оказывались и довольно большія неудобства. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ nepoзвoлитeльнoe нaгрѣвaніe смазанныхъ частей машинъ появлялось уже слишкомъ часто. Въ чемъ заключалась причина неудачъ—это еще и до сихъ поръ не вполне выяснилось. Рѣшеніе этого вопроса, конечно, интересуется технику, но, вмѣстѣ съ тѣмъ, возникъ другой, несравненно болѣе важный вопросъ, имѣющій значеніе въ экономической жизни народа.

§ 2. Машинныя части смазываютъ для того, чтобы уменьшить вредную работу тренія; а бывшіе уже опыты показываютъ, что различныя смазывающія вещества не одинаково достигаютъ этой цѣли; что при различныхъ условіяхъ смазыванія, треніе можетъ быть чрезвычайно различно, что въ одномъ случаѣ оно можетъ быть больше чѣмъ въ другомъ въ 1,5, въ 2 и даже иногда въ 8 и 10 разъ. Очевидно, что если дешевое масло вызоветъ несоотвѣтственно большую работу тренія, то и весьма большія сбереженія на смазкѣ могутъ не окупить излишнихъ расходовъ на топливо; мало того, эти расходы могутъ въ нѣсколько разъ

превзойти сбереженія, сдѣланныя на смазкѣ. Расходы на топливо для машинъ, считающіеся у насъ въ Россіи десятками милліоновъ, заслуживаютъ самаго серьезнаго вниманія. Увеличеніе расхода на топливо въ 5⁰%, въ 10⁰% можетъ легко явиться вслѣдствіе неудовлетворительныхъ условій смазыванія, а это выразится въ народномъ хозяйствѣ потерями милліоновъ рублей.

Таковы теперь причины, заставляющія нашихъ техниковъ обратить все свое вниманіе на правильный выборъ смазочныхъ матеріаловъ, и немудрено, что у нихъ безпрестанно является вопросъ: какъ выбрать смазочный матеріалъ?

Тѣ же самыя причины побудили и меня написать эту статью, чтобы по мѣрѣ моихъ силъ содѣйствовать развитію техники.

§ 3. Изученіе обстоятельствъ, вліяющихъ на силу тренія машинныхъ частей, мнѣ казалось тѣмъ болѣе необходимымъ, что есть несомнѣнныя указанія на возможность появленія очень различныхъ силъ тренія при употребленіи даже одного и того же смазывающаго вещества, но при измѣненіи нѣкоторыхъ условій смазыванія, напримѣръ притока смазки. Эти изслѣдованія, наконецъ, могутъ показать техникамъ, въ какой мѣрѣ правильно распространенное между всѣми убѣжденіе, что цапфы въ машинахъ надо дѣлать какъ возможно болѣе тонкими, съ тѣмъ чтобы уменьшить пути, проходимые точками приложенія силъ тренія, и слѣдовательно, чтобы уменьшить работу тренія. Это, повидимому, столь понятное правило нельзя теперь считать несомнѣннымъ, допуская даже, что длина цапфъ будетъ достаточно велика, чтобы смазка не выдавливалась. Нѣкоторые опыты заставляютъ думать, что уменьшать діаметръ полезно только до извѣстнаго предѣла. Уменьшеніе діаметра цапфы за этимъ предѣломъ, увеличивая гибкость цапфы, увеличиваетъ тѣмъ самымъ величины силъ тренія болѣе, чѣмъ уменьшаетъ проходимые ими пути, и слѣдовательно не уменьшаетъ, а увеличиваетъ работу силъ тренія.

Изученіе указанныхъ вопросовъ относится теперь, безъ сомнѣнія, къ числу выдающихся потребностей техники или инженернаго дѣла, понимая это выраженіе въ его обширномъ смыслѣ.

§ 4. Для разрѣшенія всѣхъ вопросовъ, касающихся тренія, было бы достаточно одного: правильно опредѣлить зависимость коэффициента тренія отъ свойствъ смазывающаго вещества и отъ другихъ обстоятельствъ, имѣющихъ на него вліяніе. Къ сожалѣнію, надо, однако, сказать, что совершенно полное опредѣленіе представляетъ крайнія трудности.

Въ виду того множества опытовъ, которые были сдѣланы надъ треніемъ машинныхъ частей, такое замѣчаніе можетъ сначала показаться, по меньшей мѣрѣ, страннымъ, но оно дѣйствительно справедливо. Всѣ бывшіе до-нынѣ опыты надъ треніемъ машинныхъ частей представляютъ результаты совокупнаго вліянія многихъ обстоятельствъ, изъ которыхъ каждое могло весьма много измѣнять окончательный результатъ опыта, опредѣлявшаго величину отыскиваемого коэффициента тренія. Пока нѣтъ надобности выдѣлять вліяніе котораго нибудь изъ обстоятельствъ, обуславливающаго величину работы силъ тренія, до тѣхъ поръ результаты сдѣланныхъ опытовъ могутъ приносить пользу, указывая, главнымъ образомъ, наиболѣе часто встрѣчающіяся величины силъ тренія. Но какъ только интересъ сосредоточивается на вліяніи какого нибудь одного обстоятельства, бывшіе опыты, не исключая и опыта Терстона, доставляютъ слишкомъ недостаточный и мало надежный матеріалъ. Въ настоящей статьѣ насъ интересуетъ именно вліяніе отдѣльныхъ обстоятельствъ, и въ особенности то вліяніе, которое оказываютъ свойства смазывающаго вещества.

Такое рѣшеніе вопроса возможно только въ томъ случаѣ, если мы найдемъ способъ открыть всѣ элементы, вліяющіе на изучаемый нами коэффициентъ тренія, другими словами, если мы найдемъ всѣ тѣ перемѣнныя независимыя, отъ которыхъ зависитъ изслѣдуемая функція, и если вліяніе на нее каждой перемѣнной изучимъ *въ отдельности*.

Безъ отдѣльнаго изученія вліянія каждой переменной обойтись нельзя, потому что, изучая вліяніе какой нибудь переменной и опуская въ то же время вліяніе другой, тоже изменяющей свою величину, независимо отъ нашего произвола, мы получимъ измѣненія функціи, соотвѣтствующія разнымъ совокупностямъ нѣсколькихъ переменныхъ, а предполагая, что измѣняется всего только одна избранная нами переменная, и приписывая такимъ образомъ этой переменной совсѣмъ не то, что на самомъ дѣлѣ она можетъ произвести, мы можемъ сдѣлать самыя ошибочныя заключенія.

§ 5. Всестороннее изученіе вопроса сдѣлается возможнымъ только послѣ обширныхъ и хорошо организованныхъ опытовъ, для которыхъ мы постараемся указать главнѣйшія условія, соотвѣтствующія современному состоянію дѣла, и остановимся, главнымъ образомъ, на изученіи вопроса, какое вліяніе могутъ оказать свойства смазывающей жидкости на величину коэффиціента тренія. Вліяніе другихъ элементовъ будетъ тоже указано въ той мѣрѣ, въ какой теперь это возможно. Что касается вліянія жидкости, употребляемой въ видѣ смазки, то оно существенно зависитъ отъ ея внутренняго тренія и отъ тренія съ твердыми тѣлами. Рѣшеніе этого частнаго вопроса достигается только послѣ установленія, несомнѣннымъ образомъ, тѣхъ законовъ, которымъ подчиняются силы тренія жидкихъ тѣлъ, проявляющіяся внутри жидкостей и на ихъ поверхностяхъ прикосновенія съ твердыми тѣлами. Объ этихъ законахъ физики держатся еще разныхъ взглядовъ, совсѣмъ неспособныхъ слиться въ одинъ. Къ одному изъ этихъ взглядовъ надо примѣннуть, а другой надо отбросить. Правильный выборъ между двумя существующими воззрѣніями представляется, въ настоящемъ случаѣ, дѣломъ первостепенной важности, такъ какъ законы эти составляютъ основу нашего изслѣдованія. Пока не получимъ возможности правильно остановиться на томъ или другомъ законѣ тренія жидкихъ тѣлъ, до тѣхъ поръ и изученіе вопроса о вліяніи свойствъ жидкой смазки на треніе машинныхъ частей будетъ невозможно. Чтобы сознательно примѣннуть къ одному

взгляду и отбросить другой, есть только одинъ вѣрный путь: надо прослѣдить всѣ тѣ характерные опыты и изслѣдованія надъ треніемъ жидкихъ тѣлъ, которые привели физиковъ къ неодинаковымъ заключеніямъ о законахъ тренія. Путь этотъ, правда, не легокъ, но такъ какъ онъ неизбѣженъ и необходимъ, то сколько бы мѣста и времени для него ни потребовалось, во всякомъ случаѣ слѣдуетъ сдѣлать это дѣло прежде всего. Это изслѣдованіе дѣйствительно занимаетъ довольно большую долю статьи и скорѣе относится къ области физики, чѣмъ къ технике, но я рѣшился его здѣсь помѣстить, чтобы освободить читателя, серьезно интересующагося настоящимъ техническимъ вопросомъ, отъ необходимости розыскивать и изучать тотъ разбросанный матеріалъ, безъ котораго нельзя приступить къ основательному разрѣшенію задачи. Мнѣ казалось это какъ бы отступленіе тѣмъ болѣе позволительнымъ и даже должнымъ, что инженерное дѣло и вообще техника пришли теперь въ тотъ фазисъ ихъ развитія, когда для рѣшенія многихъ вопросовъ физическіе методы изслѣдованія оказываются безусловно необходимыми. Да и вообще можно уже сказать, что чѣмъ больше техника будетъ развиваться, тѣмъ чаще въ ней будутъ встрѣчаться вопросы, требующіе для своего рѣшенія самыхъ строгихъ способовъ изслѣдованія. Справедливость этого замѣчанія болѣе всего обнаруживается при изученіи нарождающейся теперь технической отрасли, получившей названіе электротехники.

§ 6. Обращаясь теперь къ нашему прямому дѣлу, надо прежде всего замѣтить, что во время движенія машины относительное движеніе смазанныхъ ея частей сопровождается относительнымъ движеніемъ частицъ смазывающаго вещества одной по другой, движеніемъ частицъ смазки относительно твердыхъ тѣлъ, и наконецъ иногда и относительнымъ движеніемъ нѣкоторыхъ мѣстъ самихъ твердыхъ тѣлъ, безъ посредства смазывающаго вещества.

Каждый изъ этихъ трехъ родовъ относительнаго движенія возбуждаетъ треніе: