

К вопросу об исследовании изменений осевого усилия сверла и его крутящего момента в зависимости от изменения диаметра, глубины погружения и числа оборотов сверла при его работе в чугуне и железе.

Американское спиральное сверло появилось в 60 годах прошлого столетия в Америке и вследствие значительных конструктивных улучшений самого сверла, сделанных заводом Морзе, оно получило весьма значительное распространение в заводской практике. Несмотря на значительную давность появления спирального сверла на практике работа его сравнительно слабо исследована. При работе спиральным сверлом, главная работа производится нижними режущими кромками сверла. В предположении, что нижние режущие кромки сверла работают в горизонтальной плоскости, для работы нижних режущих кромок сверла можно написать следующую математическую зависимость. Если коэффициент резания назовем A , а диаметр сверла D , то элементарная работа одного лезвия при вращении сверла на угол $d\theta$ будет

$$A \cdot dr \frac{b}{2} r d\theta,$$

где b — подача сверла за полный оборот сверла, равная двойной толщине снимаемой стружки, и r — радиус высверливаемого отверстия.

Далее, полная работа одного лезвия сверла за целый оборот будет

$$\frac{1}{2} \int_0^{\pi} \int_0^{\frac{D}{2}} \frac{1}{2} A b \cdot dr \cdot r d\theta = \frac{1}{2} \pi \cdot A b \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{1}{16} \pi A b D^2;$$

следовательно работа двух лезвий сверла будет выражаться так:

$$\frac{1}{8} \pi \cdot A b D^2$$

Таким образом из последнего уравнения видно, что работа сверла зависит от коэффициента резания металла, пропорциональна подача сверла и прямо пропорциональна квадрату диаметра сверла.

Опытов для определения работы сверла произведено сравнительно мало. Так в пятидесятых годах прошлого столетия французский инженер Кокиль производил опыт над работою простым сверлом и пришел к выводу, что работа сверла за один оборот пропорциональна квадрату диаметра и подаче сверла. Опыт производился на токарном станке, при чем предмет вращался, а сверло получало только продольную подачу. Сверло укреплялось в особом рычаге с грузом, которым и удерживалось от вращения; перемещением груза на рычаге достигалось равновесие, а отсюда уже легко определить крутящий момент и работу сверла за один оборот. Такой метод давал возможность исключить вредные сопротивления станка. Для измерения усилия, с которым сверло прижималось к дну высверливаемого отверстия, сверло укреплялось на перемещающемся по станку суппорте, суппорт же приводился в движение грузом через блок; при изменении груза, очевидно, менялась и подача сверла.

В пятидесятых же годах прошлого столетия был произведен опыт со сверлом Кларенвалем, при чем усилие сверла определялось приводным динамометром, а работа холостого хода станка не вычиталась. Из своих опытов Кларенваль заметил, что работа сверла пропорциональна квадрату диаметра сверла плюс некоторый постоянный член, т. е. $Q = A + B D^2$. Затем Кларенваль заметил, что работа сверла возрастает с углублением отверстия, что вполне понятно, ибо растет работа трения сверла о стенки отверстия и о стружки с углублением сверла. Опыт немецкого инженера Гейма ¹⁾ подтвердил пропорциональность работ сверла за один оборот подаче сверла. Метод исследования у Гейма был такой же, как и у Кокиля, но только усилие определялось приводным динамометром. Конечный вывод у всех предыдущих исследователей весьма разноречив и сказать определенно на основании их, как выражается зависимость работы сверла от подачи сверла и его диаметра—невозможно; так, по вычислению Кокиля, давление, необходимое при подаче сверла колебалось от 12 до 20 klg. на 1 mm. длины лезвия сверла (для отверстий в железе), а по вычислениям Риппеля, при тех же условиях, это давление изменяется от 5 до 10 klg.; конечно, это давление сильно зависит от угла заострения сверла и весьма возможно, что такая большая разница произошла от неодинаковой степени заточки сверл. Наконец в 1907—1908 г. в Мунципальной Технологической школе в Манчестере Демстер-Смитом и Р. Поляковым были произведены опыты над силами, действующими на спиральные сверла при работе в чугуне и стали ²⁾. Опыты производились на особо приспособленном горизонтально фрезерном станке, при чем осевое давление определялось по манометру, вставленному в особый резервуар, на стенку которого (мембрану) действовал конец работающего сверла. Крутящий момент сверла определялся особым рычагом, соединенным с обрабатываемым предметом и действующим на платформу весов. Материал для исследований был мягкая сталь, сталь средней твердости и твердая сталь,—затем мягкий чугун, чугун средней твердости и твердый чугун. Из последних опытных исследований автором было получено:

- 1) Расход—нетто энергии выражается

$$\left(\frac{2 \pi \cdot n T}{1000 \cdot 75.6} \text{ лош. сил} \right),$$

т. е. расход собственно на сверление за вычетом сопротивлений в станке, при данном диаметре сверла и данной подаче, пропорционален числу оборотов или скорости резания.

2) Расход нетто энергии пропорционален крутящему моменту и изменяется при работе в мягком чугуне или стали средней твердости как $t^{0.7}$ при данном диаметре сверла и данной скорости резания (где t —есть подача сверла в mm. за 1 оборот).

3) При данной подаче и данной скорости резания расход энергии на сверление увеличивается не так быстро, как диаметр сверла, а лишь как $d^{0.8}$, где d диаметр сверла в mm.

4) Крутящий момент и расход энергии на сверление при работе в стали средней твердости приблизительно в 2,1 раза больше, чем при работе в мягком чугуне, если скорость резания и подача в обоих случаях те же.

¹⁾ Zeitschrift d Vereins deutscher Injenreure. 1862.

²⁾ Бюллетени Политехнического о—ва 1911 г. № 2.

5) Расход нетто энергии на 1 mm^3 в минуту (т. е. удельный расход энергии) не зависит от числа оборотов сверла и обратно пропорционален $d^{0,2} t^{0,3}$ или приблизительно $\sqrt[5]{d} \sqrt[3]{t}$, ибо его величина равна

$$\frac{2 \pi \cdot n T}{1000 \cdot 75 \cdot 60} \cdot \frac{nd^2 tn}{4} = \frac{4 \cdot 2 \pi \cdot ncd^{0,8} t^{0,7}}{1000 \cdot 75 \cdot 60 \pi d^2 tn} = \frac{K}{d^{0,2} t^{0,3}},$$

где C и K постоянные величины. Если диаметр d сверла не меняется и если мы будем давать подачи значения $0,0635 \text{ mm.}$, $0,254 \text{ mm.}$ и $1,016 \text{ mm.}$, то удельный расход энергии будет изменяться в отношении $1:0,66:0,435$; если же t остается постоянным, а d мы будем давать значение $12,7 \text{ mm.}$, $50,8 \text{ mm.}$ и $101,6 \text{ mm.}$, то удельный расход энергии будет изменяться в отношении $1:0,76:0,66$.

6) При сверле с двумя лезвиями действительная глубина стружки, снимаемой каждым лезвием, будет $\frac{1}{2}$, при сверле с 3-мя лезвиями $\frac{1}{3}$ и т. д. Если поэтому увеличить число лезвий, оставив t неизменным, то давление резания будет таково, какое соответствует пропорционально меньшей подаче. Если лезвие сверла заточены не одинаково, так что вся работа сверления выполняется одним лезвием, то давление резания будет то, которое соответствует двойной подаче. Чем меньше подача, тем давление резания и, следовательно, и удельный расход энергии больше.

7) Усилие подачи при работе в чугуне или стали увеличивается не пропорционально подаче при данном диаметре сверла и не пропорционально диаметру при данной подаче.

8) Нижний конец сверла увеличивает крутящий момент весьма незначительно, усилие же подачи приблизительно на 20%

9) При работе в стали с подведением смазки крутящий момент (удельный расход энергии) уменьшатся на 28% при подаче в $0,0635 \text{ mm}$ и на 8% при подаче в $0,726 \text{ mm}$. Уменьшение усилия подачи при смазке может быть оценено для всех подач приблизительно в 25%

10) Наиболее употребительный угол при вершине специальных сверл 120° . Большой угол уменьшает крутящий момент и увеличивает усилия подачи, меньший угол увеличивает крутящий момент и уменьшает усилия подачи. Но так как расход энергии потребный для подачи сверла, составляет максимум 1% от полного расхода ее, то для уменьшения последнего нужно уменьшить крутящий момент; с этой точки зрения сверло с большим углом при вершине экономнее.

11) Уменьшая шаг спирали сверла, можно получить более острый угол резания с меньшим усилием подачи и меньшим крутящим моментом, не сопровождая это изменением обычного в практике угла при вершине сверла (равного 120°); но такое уменьшение сократило бы продолжительность службы сверла.

12) При меньшей величине угла при вершине сверла длина лезвий получается больше; соответственно этому становится больше и опасность притупления сверла.

13) При вычислении времени, потребного для просверливания отверстия определенной глубины, нужно принять во внимание высоту верхушки сверла, последняя составляет

При угле при вершине, равном	90°	$—0,5 d$
" " " "	120°	$—0,29 d$
" " " "	150°	$—0,134 d$

Хотя последние исследования в области работ сверла, произведенные Р. Поляковым и Демпстер-Смитом, были сделаны в довольно широком масштабе и на хорошо приспособленном станке, но полученные ими результаты нельзя считать исчерпывающими. С целью несколько дополнить имеющиеся исследования в области работ спирального сверла в механических мастерских Томского Технологического Института были поставлены мною при содействии студентов института небольшие опыты с указанной целью; для чего был использован небольшой токарный станок (разстоянии между центрами 950 mm. и 165 mm высота центров), к которому был сконструирован особый динамометрический прибор¹⁾. Токарный станок приводился в движение от особого электромотора через распределительный вал.

Сверло закреплялось в особом шпинделе, укрепленном на доске, которая в свою очередь была неразрывно соединена с нижней суппортной доской станка и следовательно могла иметь только вместе с ней поступательное движение вдоль оси станка. Цилиндрическая болванка закреплялась в патроне станка и могла вращаться только вместе с первым; болванка закреплялась так, чтобы ее торцевая плоскость, подлежащая сверлению, была вертикальна. Подача сверла была постоянна и производилась автоматически. Величина подачи, зависящая, при прочих равных условиях, от числа зубцов на сменных шестернях большого трензеля станка, была равна 0,206 mm за один оборот главного шпинделя станка. В виду существования этой подачи, при вращении главного шпинделя станка, сверло нажимало на болванку и величина этого нажатия измерялась при помощи динамометра, укрепленного на той же доске станка, на котором был укреплен шпиндель; устройство самого динамометра, для измерения осевого усилия, заключалось в следующем: на вышеуказанной доске неподвижно укреплялись два подшипника, служащих для поддержки шпинделя, который может иметь два движения: одно вокруг своей оси, другое вдоль; к задней части этого шпинделя, где устроена шариковая пятка (см. фиг. 1) при помощи закаленной и выточенной по шару стальной части, примыкал другой шпиндель, проходящий внутри пружины и задним своим концом, оточенным на конус, упирался в нижний конец стрелки; последняя же, вращаясь возле горизонтальной оси, другим своим концом скользила по шкале с делениями и показывала существующее вдоль оси сверла усилие. Для осуществления центрального растяжения пружины, последняя передним своим концом соединялась наглухо с гайкой особой конструкции, которая уже в свою очередь ввинчивалась в неподвижный подшипник; задний же конец этой пружины, соединенный тоже наглухо и с гайкой той же конструкции, свободно проходил в заднем подшипнике. Указанный динамометр после каждой его работы подвергался проверке и обращалось тщательное внимание на то, чтобы стрелка, при отсутствии осевого давления показывала на шкале ноль. Градуирование шкалы было произведено собственными средствами механических мастерских. Так как при нагрузке пружины до 600 klg. отчеты, наблюдаемые по свободному концу стрелки, были тождественны с отчетами даваемыми при последовательном разгрузении пружины, то можно было заключить, что градуирование дало вполне удовлетворительные результаты. Ввиду нежелательности распаивать пружину, что нужно было для градуирования в механической лабора-

¹⁾ Необходимо отметить, что вследствие недостатка в средствах в мастерских института при постановке опытов приходилось усиленно обращать внимание на удешевление постановки опытов.

тории института и последующей затем спайки для помещения пружины на станке, пришлось отказаться от градуирования на приборах механической лаборатории И—та и заменить ее градуированием на месте работы. Вид этой операции показан на схеме фиг. 2—Для измерения же крутящего момента, необходимого для предотвращения вращения сверла вместе с болванкой, существовал следующий прибор: на той же доске „В“, (см. фиг. 2) была поставлена ферма из полосового железа, снабженная видимыми тремя блоками; эти блоки для уничтожения трения были снабжены шариками на осях. На шпиндель, при помощи шпонки и паза, одевался рычаг, который на конце, соответствующей передней части станка, при помощи спаянного кольца, соединялся с градуированным динамометром; другой же конец последнего, при помощи перекинутой через блоки тонкой стальной проволоки, соединялся с противоположным концом рычага, но не сразу, а при посредстве расположенного внизу шарикового блока; этот блок был устроен таким образом, что мог перемещаться поступательно по вертикальному направлению; этим была достигнута необходимость натянуть или ослабить проволоку и при том так, чтобы стрелка, динамометра расположенного вертикально, показывала ноль и самый рычаг верхней своей выстроганной гранью совпадал с горизонтальной плоскостью; последнее проверялось уровнем. Схема соединений рычага для измерения крутящего момента и расположения натяжного блока изображены на фиг. 3.

Установив прибор вышеуказанным способом и пуская в работу сверло, предохраняли последнее от вращательного движения вместе с болванкой тем, что подвинчивали или отпускали маховичек и тем самым поднимали или опускали нижний подвижной блок до тех пор, пока рычаг не становился горизонтально; для этого требовалось удлинение проволоки за счет пружины динамометра и следовательно стрелка его показывала то или иное деление на шкале.—Так как на рычаге в это время действовала пара сил, то зная отчет по шкале динамометра и длину рычага можно было, в каждый данный момент работы сверла, определить тот крутящий момент, который необходимо затратить для предупреждения вращения сверла.

Первые опыты были произведены с цилиндрическими чугунными болванками, отлитыми в песок, которые после остывания разрезались на три части, длиною каждая около 5"—Химический состав взятого чугуна был таков: всего углерода 2,82%, графита 2,54%, кремния 2,16%, марганца 0,61, фосфора 0,21 и серы 0,07. Материал отличался плотностью и равномерным строением.—Перед каждым сверлением керпом намечалось будущее отверстие.—Работа производилась без смазки.—Все сверла, с которыми производили опыт, были из нового, не бывшего в работе, набора американских спиральных сверл «Морзе», фирмы Шухардт и Шютте. Сверла были диаметрами: $\frac{1}{4}$ " 0, $\frac{3}{8}$ " , $\frac{1}{2}$ " , $\frac{5}{8}$ " , $\frac{3}{4}$ " , $\frac{7}{8}$ " и 1"—с углом при вершине конуса резания около 120—Каждым сверлом было просверлено, при одной и той же окружной скорости на сверле и постоянной для всех сверл подаче два отверстия, были замечены соответствующие показания динамометров, из которых взята средняя величина и занесена в нижеприлагаемые таблицы.

Отсчеты для каждого сверла производились в момент его погружения на свой конус заострения и далее через каждый диаметр до трех диаметров погружения; данные полученные при этом занесены в те же таблицы.

Среднее из всех отсчетов для одного и того-же сверла и одной и той же скорости помещены там же.—В этих же таблицах указаны числа оборотов главного шпинделя станка, соответствующая окружная

скорость на режущей кромке сверла и отклонение от нормальной наиболее выгоднейшей скорости в ту или иную сторону в %.

Изменение числа оборотов главного шпинделя станка производилось совокупно при помощи ступенчатых шкивов на передаточном валу станка и у самого станка, через паразитную ось и при помощи обыкновенного реостата, при помощи которого изменялось число оборотов электромотора работающего на приводе токарного станка. Чтобы не поставить сверло в тяжелые условия работы, так как при работе появляется сила трения режущих кромок сверла об обрабатываемый предмет, результатом чего появляется нагревание и следовательно порча сверла, а эта сила трения находится в прямой зависимости от скорости, то для каждого сверла, в зависимости от обрабатываемого материала и диаметра сверла были выработаны нормы чисел оборотов. Эти нормы взяты с тем расчетом, чтобы окружная скорость на режущих кромках сверла для всех диаметров оставалось приблизительно постоянной и равной наиболее выгоднейшей. Существует указание (см. «Холодная обработка металлов» Т. И. Тихонова изд. 1904 г.), что наиболее выгоднейшая скорость при сверлении должна быть немного меньше скорости обточки на токарном станке, а эта скорость для чугуна равна 75 mm/sec. Проф. Тиме советует брать скорость при сверлении равную скорости при обточке.—Проф. Гатцуг дает данные завода «Морзе» для современных спиральных сверл в виде 100 mm/sec для чугуна и железа. Основываясь на этом, за исходную для опытов, нормальную скорость, принята скорость по таблице завода Шухардт и Шутте, который и рекомендует указанные в таблице скорости сверления применять при обработке материалов его сверлами.

Выдержки из этой таблицы приведены ниже:

Диаметр сверла в м.м.	1 1/2	3 1/2	5 6 1/2	8 9 1/2	11 1/2	13	14,5	16	17 1/2	19 1/2	21	22 1/2	24	25 1/2		
Диаметр сверла в дюймах	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1
При сверлении стали	940	460	310	230	190	150	130	115	100	95	85	75	70	65	62	58
При сверлении железа	1280	660	420	320	260	220	185	160	140	130	115	105	100	90	85	80

В этой таблице для каждого сверла в зависимости от его диаметра при одном и том же материале обрабатываемого предмета, дается число оборотов сверла, (в наших опытах главного шпинделя станка), которое способствует наиболее благоприятной окружной скорости на режущих кромках сверла, что в свою очередь способствует продолжительности службы сверла в обыкновенных заводских условиях. Наиболее выгоднейшее число оборотов для сверл при работе с чугуном принято равным по таблице наиболее выгоднейшему числу оборотов при работе с железом.—При этом окружная скорость на сверле колеблется в пределах 100—150 mm/sec; от этой скорости и взяты отклонения в числах оборотов, а всего для каждого сверла таких вариаций было сделано семь. Результаты этих опытов, как и средние цифры из них помещены в нижеприлагаемые таблицы I—VII.

О том каким образом влияет скорость на сопротивление стружки резанию, говорят опыты, произведенные проф. Селлегреном (Механическая Технология Т. И. Тихонова), который нашел, что увеличение скорости для латуни и чугуна влечет за собою незначительное понижение сопротивления и это уменьшение составляет всего 3—4% в пре-

делах скоростей, которые встречаются в практике. Демистер-Смитом и Р. Поляковым были произведены опыты с целью определить изменение крутящего момента и усилия подачи, при изменении скорости резания в мягком чугуне без смазки; скорость при этих опытах изменялось от 7,5 до 126 оборотов в минуту. Результатом этих опытов было следующее: скорость резания не оказывает сколько-нибудь заметного влияния ни на крутящий момент, ни на усилие подачи. Из этого, как следствие, вытекает, что выгоднее увеличить диаметр сверла или подачу, но не скорость резания, потому что расход нетто-энергии, т. е. расход ее собственно на сверление за вычетом сопротивлений в станке выражается формулой:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{1000 \cdot 75 \cdot 60} \text{ Н.Р.},$$

где T —крутящий момент в klg./metr. ; « n »—число оборотов сверла, в наших опытах—число оборотов главного шпинделя станка; иными словами расход нетто-энергии прямо пропорционален числу оборотов или скорости резания.—Сопротивление в станке тоже возрастает с увеличением скорости, а с изменением подачи остается почти неизменным.

Наши опыты над изменением осевого усилия сверла и его крутящего момента выражены частью в виде цифр помещенных в предыдущих таблицах и частью в виде кривых, построенных с той целью, чтобы составить себе наглядное представление о том, каким образом влияет скорость сверления на изменение усилия подачи, крутящего момента и глубины погружения сверла.

Все данные для кривых взяты из вышеприведенных таблиц. Для каждого сверла в зависимости от его погружения на конце заострения, на один диаметр, на два и на три—получены отсчеты осевого усилия и величины крутящего момента и из последних отсчетов взята средняя цифра. По оси абсцисс отложено число оборотов, а по оси ординат это среднее осевое усилие, таким образом для каждого сверла получены кривые выражающие изменения величины осевого усилия в зависимости от изменения скорости, при том для каждой кривой величина погружения относительно постоянна.

Пунктирными линиями проведены кривые, соответствующие изменению среднего из трех последних горизонтальных усилий при данной скорости, в зависимости от изменения этой скорости. Для каждого же сверла, на этих же диаграммах, построены изменения величины крутящего момента в зависимости от изменения числа оборотов; каждая кривая имеет относительно постоянную величину погружения сверла. По этим четырем кривым получена результирующая кривая, опять обозначенная пунктирной линией, показывающей зависимость вообще изменения крутящего момента от изменения скорости сверла.

Масштабы указаны при каждом кривых. По всем этим кривым видно следующее: (фиг. 4 сверло $\frac{1}{4}$ "—) Осевое усилие увеличивается вместе с увеличением погружения сверла в обрабатываемый предмет, причем за период погружения сверла от своего конуса до первого полного диаметра осевые усилия возрастают довольно сильно; при дальнейшем же погружении сверла от 1-го диаметра на 2-й и далее на 3-й осевые усилия возрастают значительно меньше. Это явление красной нитью проходит по всем диаграммам. Также самое можно сказать и относительно величины крутящего момента. При погружении сверла (см. фиг. 4) на свой конус заострения осевое усилие сверла варьирует в небольших пределах, то увеличиваясь, то уменьшаясь около некоторого среднего давления равного 100 klg. ; пределы изменения этого усилия

8—10 klg.— При погружении сверла на один диаметр, два и три осевое усилие изменяется в малых пределах, но заметно во всех трех случаях уменьшаясь по мере увеличения скорости.—Кривая средних осевых усилий остается почти постоянной, т. е. горизонтальной линией, и показывает усилие равное приблизительно 160 klg.—Крутящий момент изменяется весьма слабо, и кривая среднего крутящего момента почти горизонтальная линия.

Сверло $\frac{3}{8}$ ". При погружении сверла на свой конус заострения осевое усилие тоже варьирует около некоторого среднего усилия и это усилие ≈ 125 klg., пределы варьирования приблизительно те же, что и в предыдущем случае; с приближением к скорости сверла=245 оборотам, осевое усилие остается постоянным и равным 125 klg., затем начинает увеличиваться, приблизительно с 290 оборотов в минуту. Наиболее выгодная скорость будет=220 оборотом (см. таблицу «Морзе» для спиральных сверл). Наиболее же скорость по кривой, при погружении сверла на конус, в смысле минимального значения осевого усилия, тоже получается при 220 оборотах.—При погружении сверла на один, два и три диаметра изменения кривых незначительно; кривая средних давлений на сверло тоже почти горизонтальная линия.— Величина изменения крутящего момента, как в зависимости от изменения погружения сверла, так равно и скорости сверления изменяется тоже в очень небольших пределах.

Сверло $\frac{1}{2}$ " фиг. 5. Нормальная скорость по таблице $n=160$ об. в мин. Осевые усилия изменяются весьма слабо, однако уменьшаются по мере приближения к этой нормальной скорости и далее несколько резко увеличиваются, что ясно заметно из кривых соответствующих целым диаметрам.—Наименьшее усилие наблюдается при 155 оборотах.—Кривая средних давлений идентична со своими кривыми.—Тот же самый характер кривых наблюдается при изменении величины крутящего момента. Принимая во внимание неоднородности чугуна и малую вариацию в скоростях, как например для сверла в $\frac{1}{2}$ ", где нужно было продолжать сверление, можно предположить, что величина изменения осевого усилия и крутящего момента мало зависит от изменения скорости вращения сверла.

Сверло $\frac{3}{8}$ ". Нормальная скорость по таблице: $n=130$ оборотов в минуту.—Величина усилия подачи заметно уменьшается при достижении сверлом скорости близкой к нормальной, но больше ее и равной 145 оборотам в минуту, далее слабо возрастает и начиная со 155 оборотах остается постоянной.—Кривая же крутящего момента, а именно средняя, с указанного предела начинает резко падать с увеличением числа оборотов. Кривые же соответствующие отдельным диаметрам остаются почти постоянными.

Сверло $\frac{3}{4}$ ". Нормальная скорость: $n=105$ оборотов в минуту. Здесь ярче, чем в предыдущих кривых, заметно падение осевого давления и крутящего момента по мере приближения к 105 оборотам и затем крутящий момент слабо возрастает и начиная со 115 оборотов остается до конца исследования постоянным. Осевое же усилие продолжает убывать далее, и это хорошо видно, как по кривым отдельных диаметров, так точно и по кривой средних осевых давлений.—Повышение же осевого усилия при погружении сверла на свой конус заострения при 140 оборотах, просто объясняется запозданием отсчета, так как в пределах до погружения сверла на диаметр усилия подачи возрастают очень быстро. Сверла следующие представляют несколько иную картину.

Сверло $\frac{7}{8}$ ". Нормальная скорость. $n=90$ об. в минуту—Осевое усилие и крутящий момент уменьшаются по мере приближения к $n=70$ об.

в мин., затем увеличиваются, остаются некоторое время постоянными в пределах изменения скорости около 90 об. в мин. (окружная скорость режущих кромок сверла = 106,2 mm/sec) и затем начинают увеличиваться с увеличением числа оборотов.

То же явление наблюдается и у следующего сверла. Возможно предположить, что вообще сверла больших диаметров дадут иную более ясную и отличную кривую изменения осевых усилий и крутящего момента. Возможно, что здесь влияла неоднородность чугуна. К сожалению опытов повторить не удалось.

Сверло 1" фиг. 6. Нормальная скорость при $n=80$ об. в мин. Осевое усилие и крутящий момент изменяются в начале скачками, то увеличиваясь, то уменьшаясь, имеют наименьшее свое значение приблизительно при 90 оборотах в минуту, а затем оба начинают быстро возрастать.—Наблюдаемое у некоторых сверл, напр. $\frac{1}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{5}{8}$ " и 1" низкие значения осевого усилия и крутящего момента, при получении первых четырех точек кривых, при наименьшей скорости объясняется существованием у нового сверла острых режущих кромок, которые при последующих операциях притупляются.

Фиг. 7 и 8 представляют сводку всех средних кривых, тех сверл, с которыми производились исследования. На фиг. 7 изображено изменение осевого усилия, а на фиг. 8 крутящего момента в зависимости от изменения скорости сверления.

По всем этим кривым видно, какое сильное влияние оказывает диаметр сверла на увеличение осевого усилия и крутящего момента, а именно, увеличиваясь сам, диаметр сверла сильно увеличивает эти величины.

Заметного влияния изменения скорости резания на изменение осевого усилия и крутящего момента, у большинства сверл не видно. У сверла в $\frac{3}{4}$ " замечается сильное падение давления с увеличением скорости и в тоже время величина крутящего момента остается без изменения. Сильные вариации в изменениях осевого усилия и крутящего момента у сверла в 1" тоже нарушают общую картину. Но так как оба эти сверла дают законность изменения интересующих нас двух факторов в зависимости от скорости различную, то и исключают друг друга.—Принимая же во внимание неоднородность чугуна, по кривым осевых усилий и крутящим моментам всех остальных сверл можно предположить, что если оба эти фактора остаются не совершенно индифферентными к изменению скорости сверления, то во всяком случае с изменением ее изменяются весьма слабо. Иными словами, подтверждается положение высказанное автором настоящей заметки (в книге „холодная обработка металлов“ издан. 1904 г.), что усилие необходимое для снятия стружки сверлом весьма мало или совсем не зависит от скорости.

Относительно влияния на осевое усилие и крутящий момент губины сверления говорилось раньше.

Вторая половина опытов с сверлом при работе в железе производилась на том же токарном станке, на котором производили опыты с чугуном. Так же укреплялось сверло в шпинделе станка и болванка в его патроне. Осевое усилие сверла измерялось при помощи того же пружинного динамометра с той же градуировкой.—Величина крутящего момента определялась как и в предыдущих исследованиях.—Число оборотов главного шпинделя станка оставалась неизменным, а изменялась только величина подачи, при помощи сменных шестерен большого трензеля станка. Величина подачи в mm. за один оборот главного шпинделя станка, в порядке их возрастания, была следующая:

0,143 mm., 0,1718 mm., 0,19 mm., 0,206 mm. При исследованиях пользовались новым набором американских спиральных сверл „Морзе“ фирмы Шухардт и Шюмме.—Железо, употреблялось для испытаний, было сварочное от одного прута. Химический состав железа был таков: $C=0,14\%$, $Si=0,025$ и $Mn=0,065$, серы и фосфора—следы.

Так же как и при испытаниях с чугуном, брались отсчеты по диаметрам при погружении сверла на свой конус заострения, на один диаметр, два и три.—Далее при данной подаче и диаметре сверла из цифр, соответствующих каждому из отмечаемых погружений сверла, бралась средняя цифра и вносилась в помещаемую далее таблицу. Из четырех цифр, характеризующих осевое усилие и величину крутящего момента при погружении сверла до трех его диаметров, бралась средняя цифра, которая и помещалась в прилагаемых таблицах VIII—XI. Пользуясь данными этих таблиц, построены кривая для наглядного представления о том, каким образом влияет изменение подачи, диаметра сверла и глубины его погружения на изменение осевого давления и крутящего момента. Кривые для каждой данной подачи построены таким образом: по оси абсцисс отложены диаметры сверл, а по оси ординат величины осевых усилий, действующих в момент его погружения на конус заострения, диаметр, два и три диаметра, в эти же моменты отмечены величины крутящих моментов, которые и отложены тоже по оси ординат.—По этим кривым видно следующее (фиг. 9—11). Осевое усилие постепенно возрастает с увеличением диаметра сверла, точно так же, как и величина крутящего момента; осевое усилие и крутящий момент постепенно возрастают с увеличением глубины погружения сверления при одной и той же подаче; осевое усилие и крутящий момент постепенно увеличиваются с увеличением подачи для одного и того же сверла.

Уклонение некоторых точек диаграмм от общего закона объясняется влиянием большей или меньшей затупленности режущих кромок сверла, так как последние при работе в железе заметно сильно притупляются, что видно из следующего: при работе подачи шли в таком порядке: 0,1718 mm; 0,19 mm; 0,206 mm. и 0,143 mm. Сверло $\frac{3}{4}$ " сломалось при подаче 0,1718 mm и было заменено новым, а это обстоятельство и послужило причиной резкого падения осевого усилия при сверле этого диаметра. Влияние этого сверла на кривые видно на всех следующих диаграммах. Сверло $\frac{9}{16}$ " сломалось при подаче = 0,206 mm, повторилась та же картина.—Кривые подачи 0,1718 и 0,19, как полученные работой с еще не сломанными сверлами избежали влияния сверла нового набора. Сверла $\frac{13}{16}$ " совсем не имелось в нашем первом наборе и было заменено из другого, набора посему его влияние видно на диаграммах всех подач.

На фиг. 12 построены кривые изменения осевого усилия и крутящего момента в зависимости от изменения величины подачи. В этом направлении были сделаны опыты Демистер Смитом и Поляковым, которые гласят, что при данном диаметре сверла увеличения усилия подачи при увеличении самих подач, которые встречаются в заводской практике, приблизительно изменяются по закону прямой линии. Крутящий момент изменяется тоже, а именно возрастает, хотя и не так быстро, как усилия подачи.—Кривые, полученные на наших диаграммах, подтверждают эти положения не в полной мере. Так, напр., увеличение осевого усилия в зависимости от увеличения подачи происходит по прямой линии для сверла в $\frac{7}{8}$ "; крутящий момент для этого сверла изменяется тоже по закону близко подходящему к закону изменения, найденному Поляковым. Сверло $\frac{1}{2}$ " имеет кривые такого же характера.

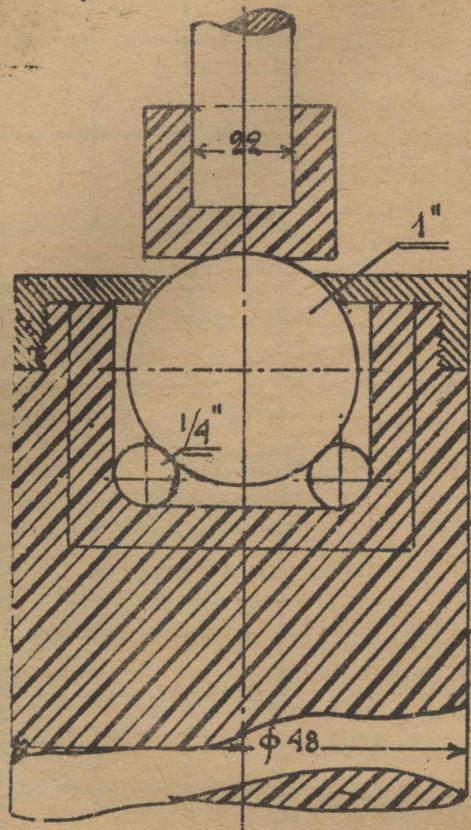
Сверло $11/16''$ тоже приблизительно подчиняется этому же закону. По самому расположению этих кривых видно, что с увеличением диаметра кривые располагаются все выше и выше; из чего следует, что при одних и тех же подачах, с увеличением диаметра сверла, увеличивается осевое усилие и величина крутящего момента.—Отклонение некоторых точек, как например, последней точки в кривой сверла $9/16''$ является следствием поломки сверла при этой подаче $0,206 \text{ mm}$. и замене его новым. Перемещение точек при подаче $= 0,143 \text{ mm}$ кверху (которые, главным образом, повлияли на отклонение построенных кривых от прямых линий) можно объяснить тем обстоятельством, что с подачей $= 0,143 \text{ mm}$ вообще работать не предполагалось, рассчитывали работать со скоростями подач от $0,1718 \text{ mm}$ постепенно увеличивая их до $0,272 \text{ mm}$. за один оборот главного шпинделя станка; но ввиду того, что при одной и той же подаче, осевое усилие увеличилось вместе с увеличением диаметра сверла, а при увеличении подачи это усилие возрастало еще больше, и при подаче $= 0,206 \text{ mm}$ и диаметре сверла $= 7/8''$ это усилие сделалось равным 670 klg . то появилась опасность за целостность станка: в предупреждение чего наибольшая подача и была заменена подачей $= 0,143 \text{ mm}$. Этой подачей пришлось работать после того, как сверла уже проработали с другими высшими подачами, режущие кромки сверл успели сильно затупиться и в результате получились осевые усилия больше, чем при подаче $= 0,1718 \text{ mm}$; это обстоятельство в связи с тем, что сверла в $13/16''$ не имелось в нашем наборе совсем и его пришлось заменить другим, сверла $3/4''$ и $9/16''$ сломались и в дальнейших исследованиях тоже пришлось пользоваться другими сверлами, внесло разногласие в кривые и помешало проследить, с большей или меньшей вероятностью, закон изменения величины силы подачи и крутящего момента с изменением величины самой подачи.

С целью исследовать скорость затупления режущих кромок сверла при работе в железе, было предпринято испытание изменений осевого усилия сверла и его крутящего момента в зависимости от постепенного погружения сверла в обрабатываемый предмет и количество просверленных отверстий; подача оставалась постоянной и равной $= 0,206 \text{ mm}$. Было взято два сверла диаметрами в $1/2''$ и $5/16''$ и ими просверлено ряд отверстий, всего 10 шт. каждым сверлом. Отчеты производились через каждые 3 mm погружения сверла; для чего на шпинделе, в который вставлялось сверло, была закреплена счетная линейка, а на параллелях станка неподвижно укреплен рейсмус, указатель которого показывал величину погружения сверла. На основании полученных данных из последних наблюдений построены кривые изменений осевого усилия и крутящего момента в зависимости от изменения продолжительности сверления и величины погружения сверла (см. фиг. 13) По оси абсцисс отложены 1-ое сверление, 2-ое, 3-ее и т. д. по оси ординат осевые усилия.—Из этих кривых видно, как сильно в зависимости от погружения сверла возрастает осевое усилие: за период погружения сверла на первые 3 mm осевое усилие растет быстро, потом медленнее по мере дальнейшего углубления. В это же самое время видно, как сильно тупится сверло во время работы: сверло в $1/2''$ затупилось значительно скорее чем сверло в $5/16''$.

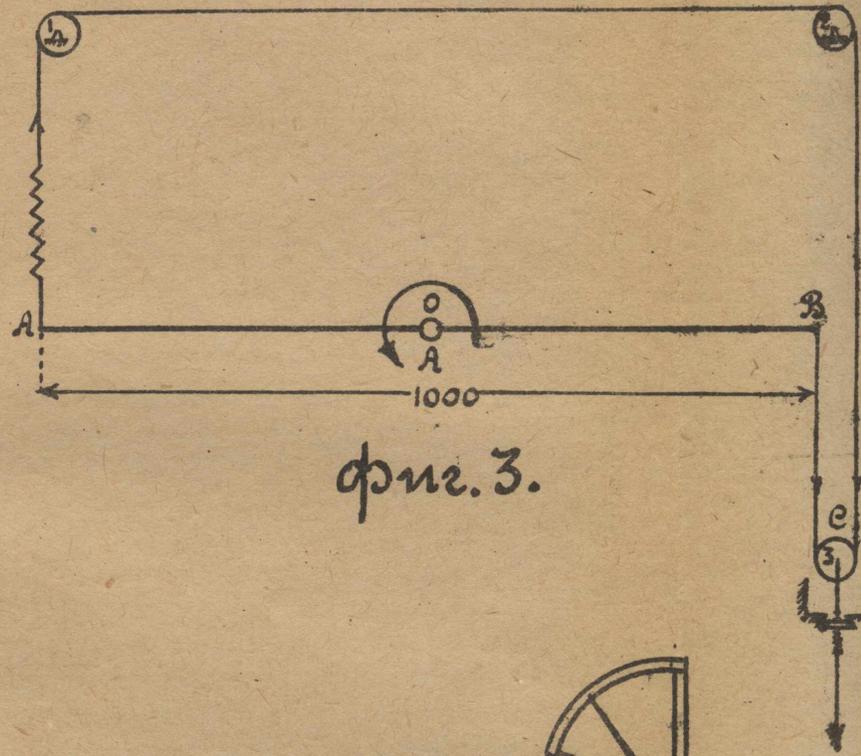
В заключение необходимо отметить, что результат последних небольших опытов в многом согласуются с данными из опытов г. Полякова. Некоторые детали работ сверла, вследствие создавшихся местных условий, остались без детального освещения, но к продолжению указанных опытов будет приступлено в недалеком будущем при наступлении более благоприятных условий для работ.

К статье проф. П. И. Тихонова:

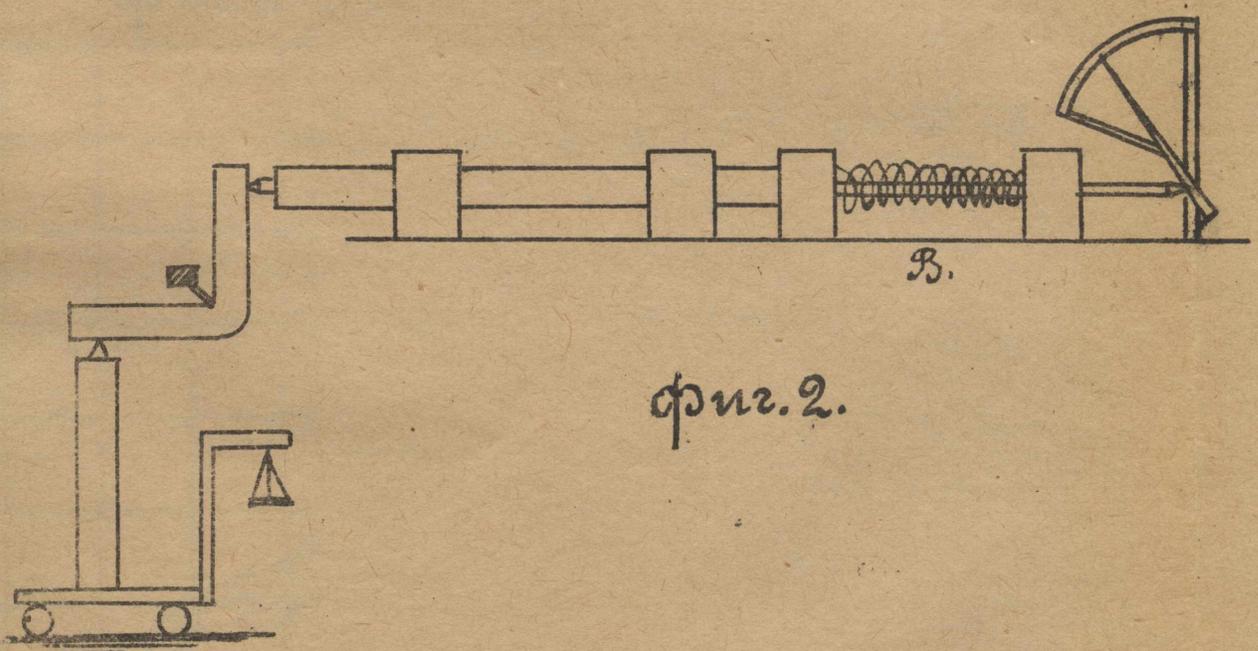
«К вопросу об исследовании изменений осевого усилия сверла и его крутящего момента.»



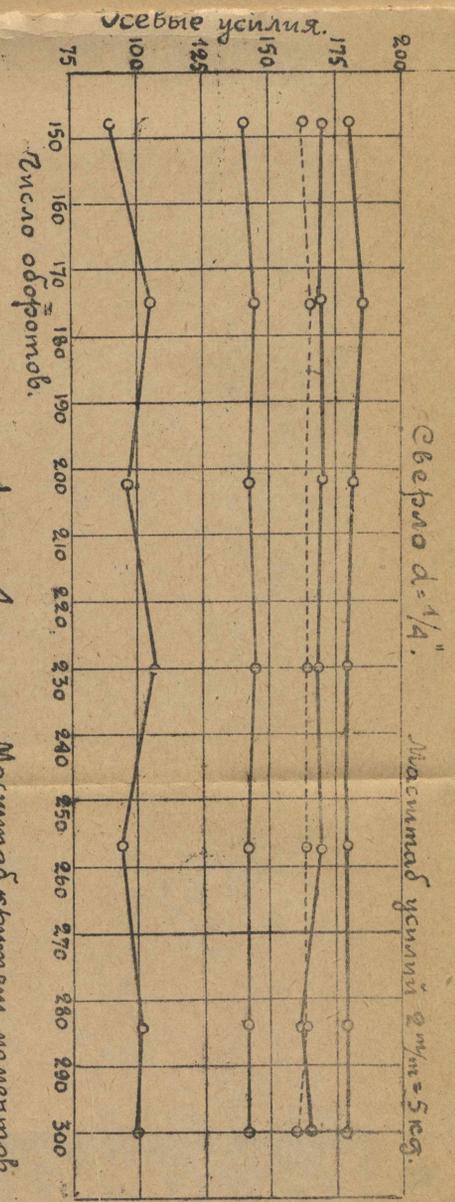
фиг. 1.



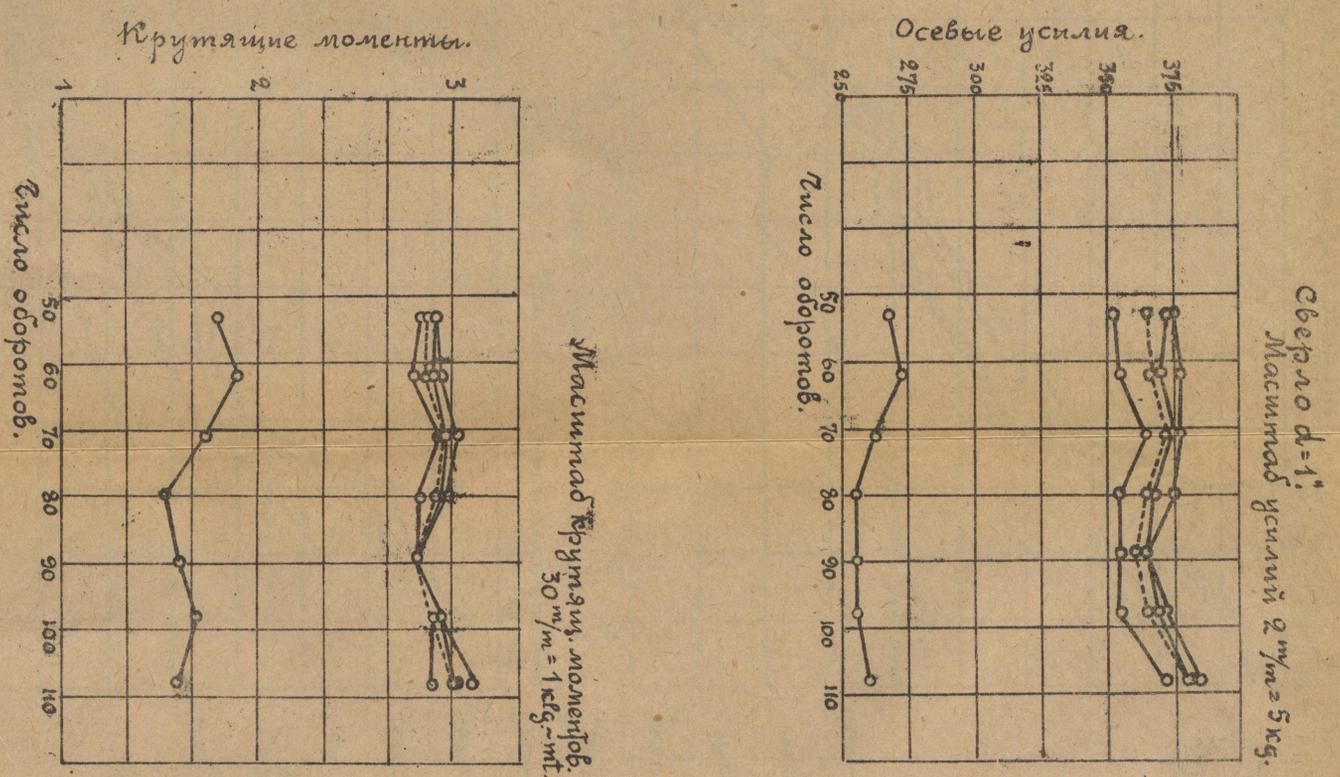
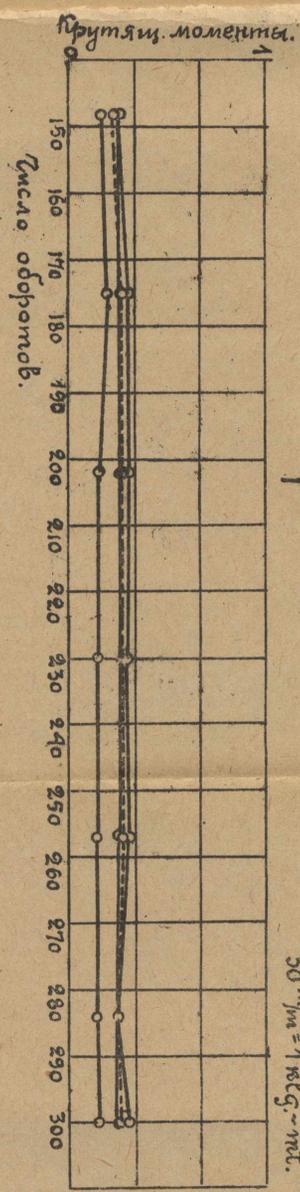
фиг. 3.



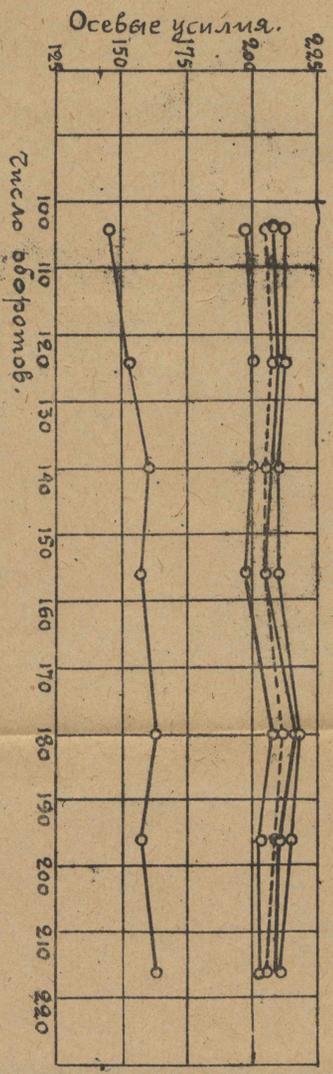
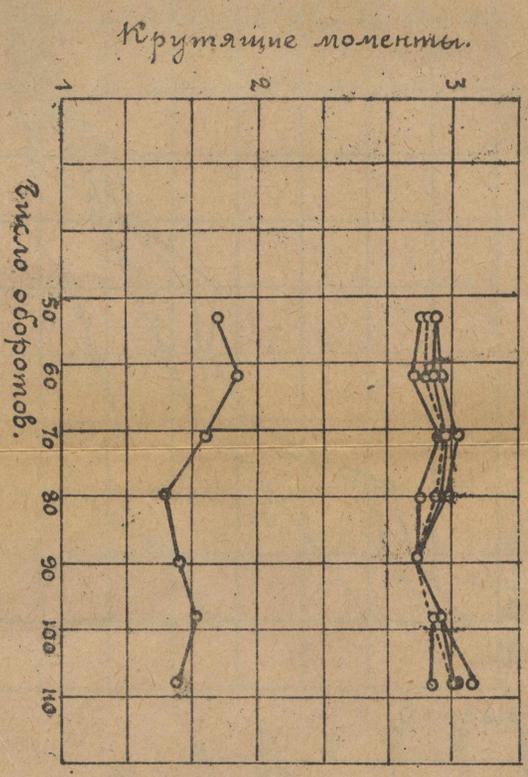
фиг. 2.



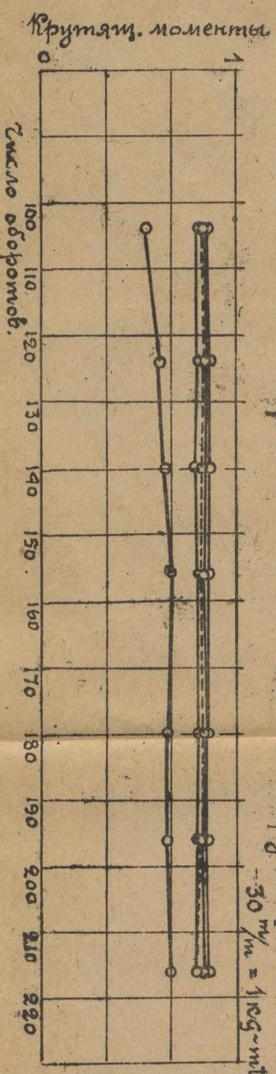
Фиг. 4.



Масштаб крутящ. моментов. 30 $\text{м/м} = 1 \text{ кг-мт}$.

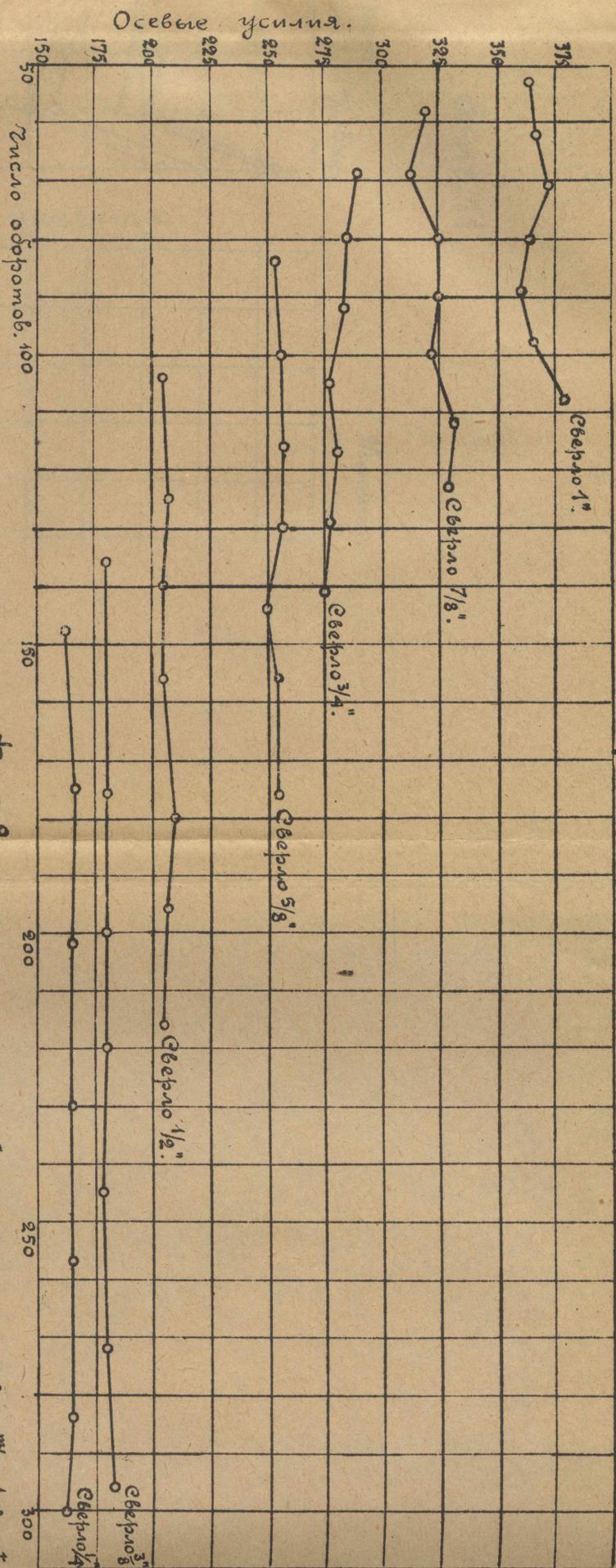


Фиг. 5.



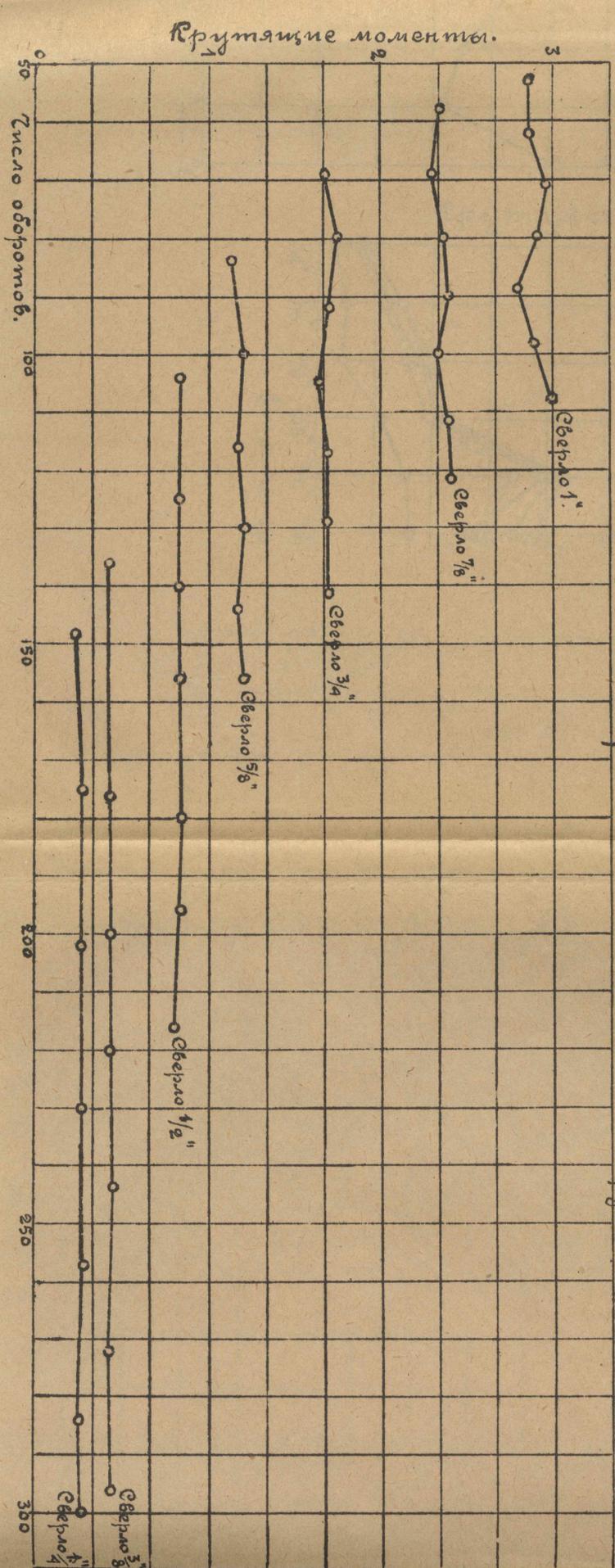
Фиг. 7.

Машинд' усилни 2 м/м = 5 кг.



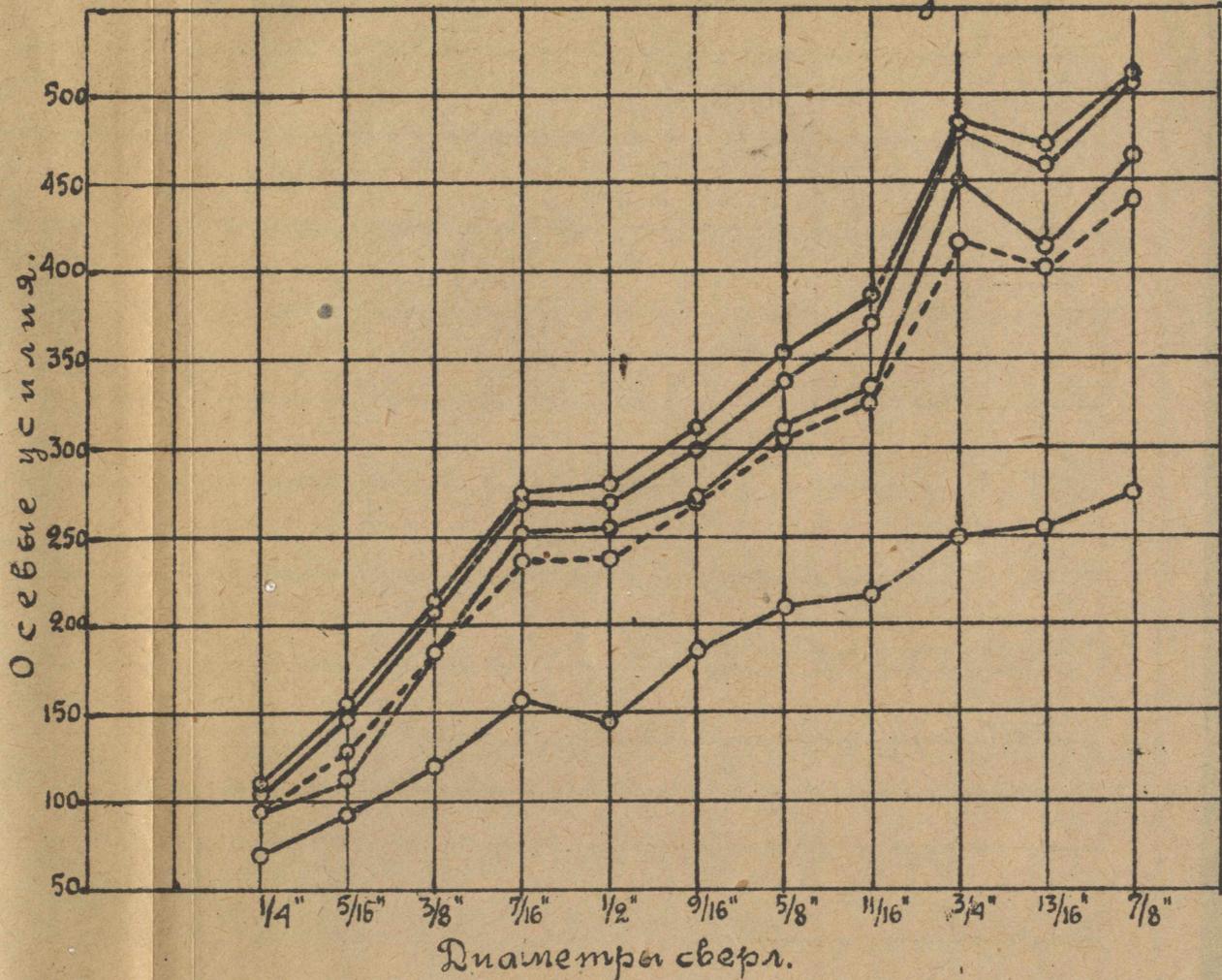
Фиг. 8.

Машинд' крутящяи. моментом 30 м/м = 1 кг-мт.



Подача 0,143 м/м за 1 оборот.

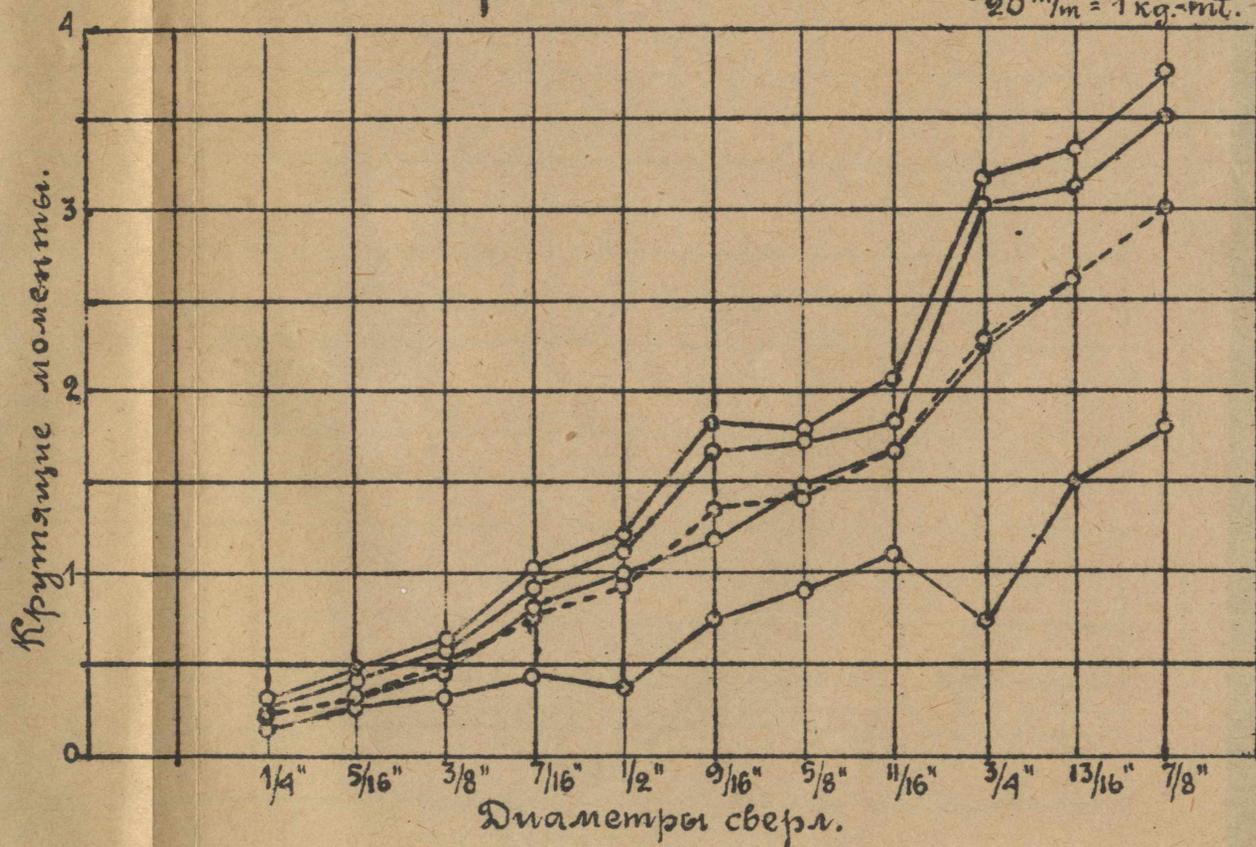
Масштаб усилий 1 м/м = 5 кг.



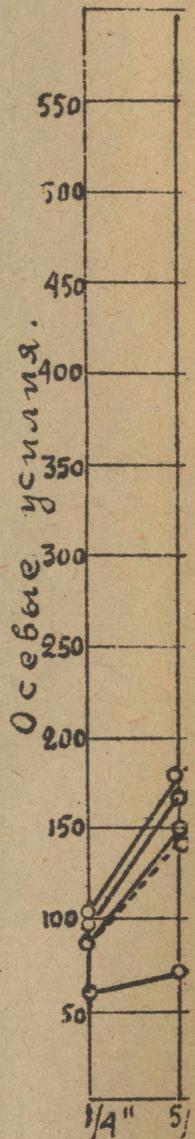
Диаметры сверл.

Физ. 9.

Масштаб крутящих моментов 20 м/м = 1 кг-мт.



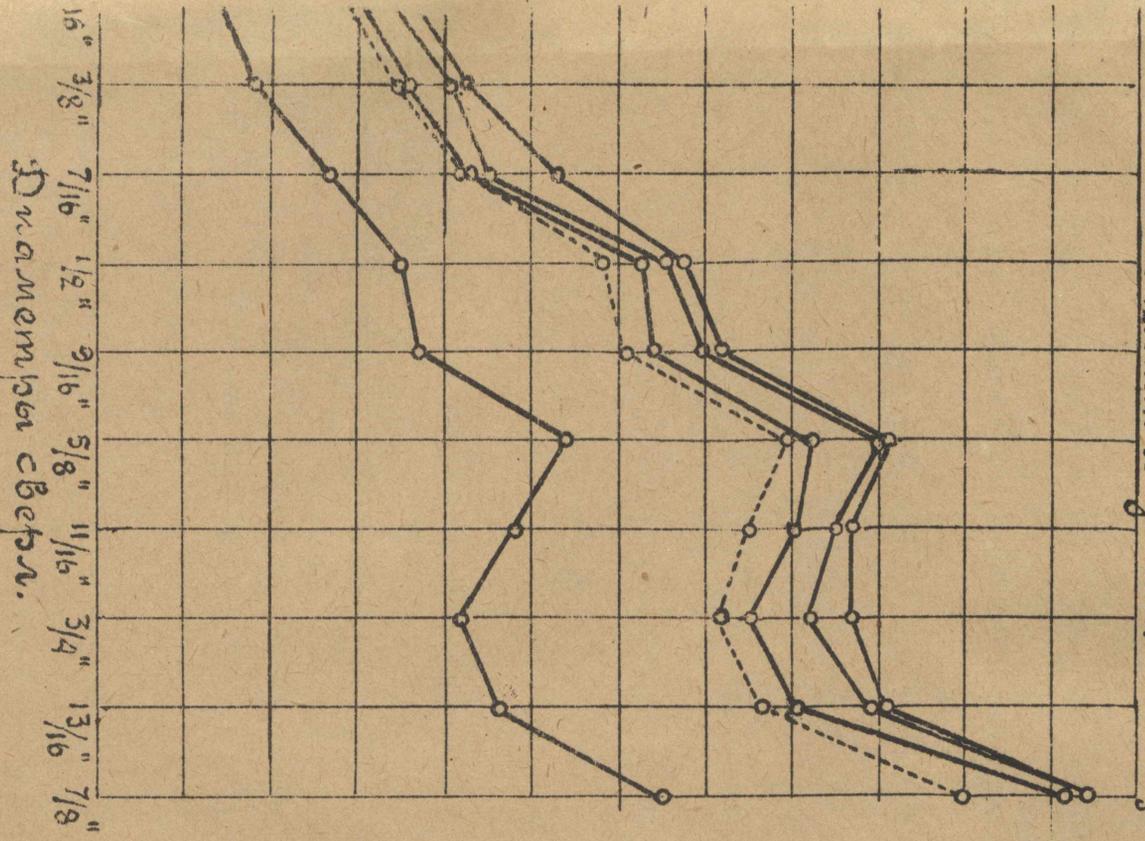
Диаметры сверл.



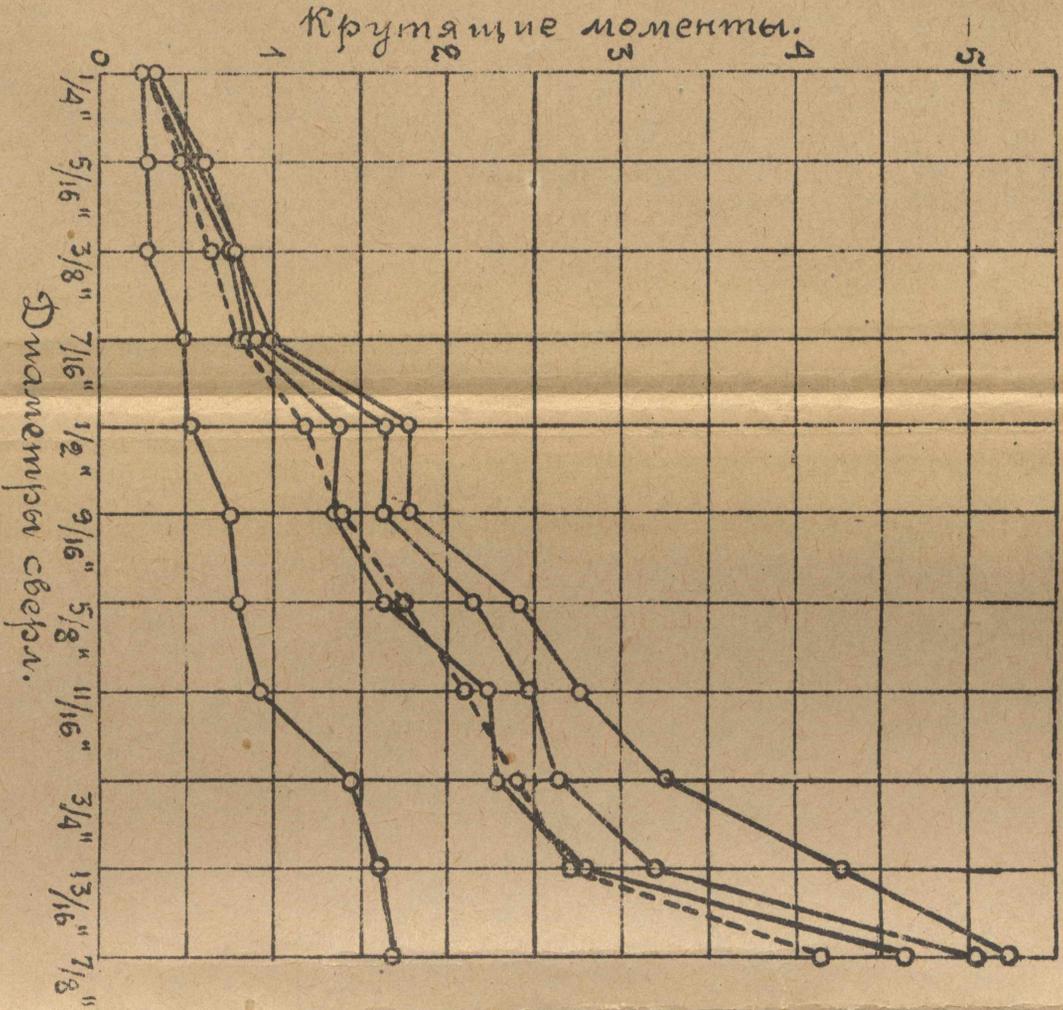
П

фрм. 2.10.

огара 0,1718 м/м. за 1 оборот.
 Масштаб усилии 1 м/м = 5 кг

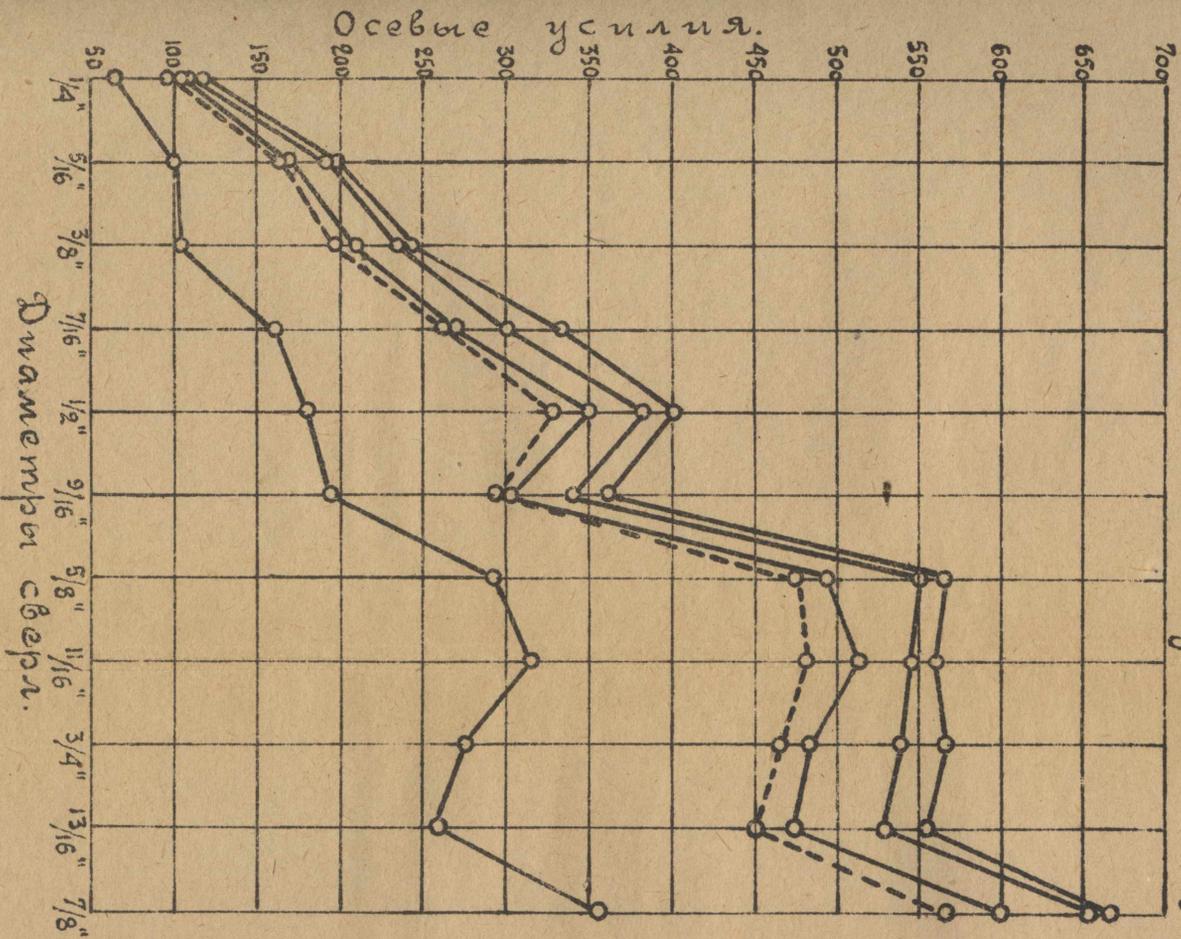


Масштаб крутящих моментов
 20 м/м = 1 кг-мт.

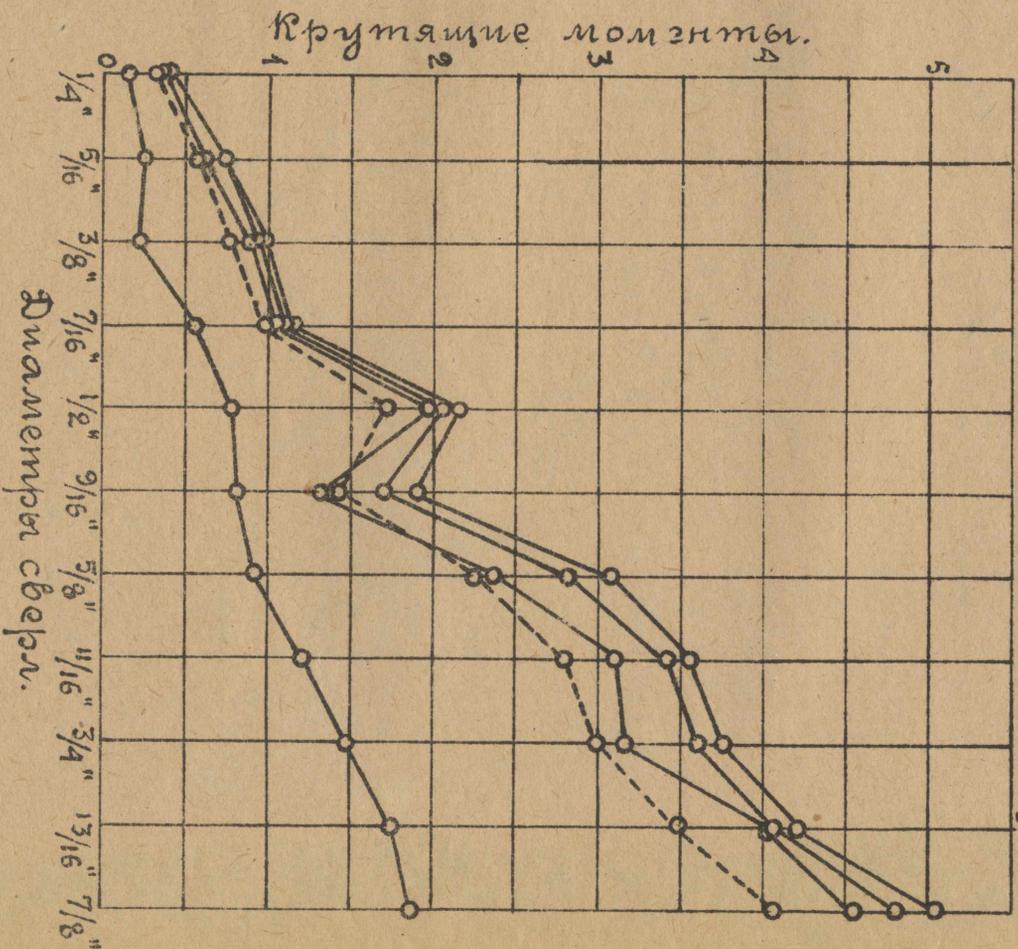


Фиг. 11.

Площадь 0,206 м² за 1 оборот.
 Масштаб усилий 1 м² = 5 кг.



Масштаб крутящих моментов
 20 м² = 1 кг-м.



Диаметр сверла: $d=1/4''$.

Подача=0,206 мм;

Нормальная скорость сверла:

Осевое усилие=P klg.

n=320 об. в мин.; v=106,34 мм/сек

Крутящий момент=Q klg./метр

«П» ЧИСЛО ОБОРОТОВ В МИНУТУ. «V» СКОРОСТЬ В ММ СЕК.	УКЛОНЕНИЕ В 0/0.	№.№ БОЛВАЛ- КИ.	P.	Q.	№.№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 3-х.	
								P.	Q.	P.	Q.
n=148 v=49,136	—	1	85	0,15	1	95	0,15	90	0,15	—	—
	—	—	140	0,25	—	140	0,25	140	0,25	163,3	0,25
	—	—	170	0,25	—	170	0,25	170	0,25	—	—
	—	—	180	0,25	—	180	0,25	180	0,25	—	—
n=175 v=58,1	—	1	105	0,20	1	105	0,2	105	0,2	—	—
	—	—	145	0,25	—	145	0,25	145	0,25	166,6	0,283
	—	—	170	0,30	—	170	0,3	170	0,30	—	—
	—	—	185	0,30	—	185	0,3	185	0,30	—	—
n=202 v=67,064	—	1	90	0,15	1	105	0,15	97,5	0,15	—	—
	—	—	140	0,25	—	145	0,25	142,5	0,25	165	0,283
	—	—	170	0,30	—	170	0,30	170	0,30	—	—
	—	—	180	0,30	—	185	0,30	182,5	0,30	—	—
n=230 v=76,36	—	1	110	0,15	1	105	0,15	107,5	0,15	—	—
	—	—	145	0,25	—	145	0,25	145	0,25	165	0,283
	—	—	170	0,30	—	170	0,30	170	0,30	—	—
	—	—	180	0,30	—	180	0,30	180	0,30	—	—
n=257 v=85,324	—	1	90	0,15	1	100	0,15	95	0,15	—	—
	—	—	140	0,25	—	145	0,25	142,5	0,25	164,2	0,283
	—	—	170	0,30	—	170	0,30	170	0,30	—	—
	—	—	180	0,30	—	180	0,30	180	0,30	—	—
n=284 v=94,288	—	1	105	0,15	1	100	0,15	102,5	0,15	—	—
	—	—	145	0,25	—	140	0,25	142,5	0,25	163,3	0,25
	—	—	170	0,25	—	165	0,25	167,5	0,25	—	—
	—	—	180	0,25	—	180	0,25	180	0,25	—	—
n=300 v=99,6	—	1	100	0,15	1	100	0,15	100	0,15	—	—
	—	—	140	0,25	—	145	0,25	142,5	0,25	162,5	0,283
	—	—	165	0,30	—	165	0,30	165	0,30	—	—
	—	—	180	0,30	—	180	0,30	180	0,30	—	—

Диаметр сверла: $d=3/8''$.

Подача=0,206 мм.

Нормальная скорость сверла:

 $n=220$ об. в мин.; $v=109,3$ мм/сек.

m v	Уклонение в 0/0.	№ болван- ки.	P.	Q.	№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 3-х.	
								P.	Q.	P.	Q.
n=136 v=67.7	—	1	115	0,30	1	120	0,30	117,5	0,30	—	—
	—	—	170	0,45	—	170	0,45	170	0,45	179,16	0,458
	—	—	180	0,50	—	185	0,45	182,5	0,45	—	—
	—	—	185	0,45	—	185	0,45	185	0,475	—	—
n=176 v=87.55	—	1	125	0,30	1	130	0,30	127,5	0,30	—	—
	—	—	170	0,40	—	175	0,40	172,5	0,40	180	0,441
	—	—	180	0,45	—	185	0,45	182,5	0,45	—	—
	—	—	180	0,45	—	190	0,50	185	0,475	—	—
n=200 v=99.5	—	1	125	0,30	1	130	0,30	127,5	0,30	—	—
	—	—	175	0,40	—	170	0,40	172,5	0,40	181,6	0,433
	—	—	185	0,45	—	185	0,45	185	0,45	—	—
	—	—	185	0,45	—	190	0,45	187,5	0,45	—	—
n=220 v=109.24	—	1	110	0,30	1	130	0,30	120	0,30	—	—
	—	—	175	0,45	—	175	0,45	175	0,45	180,8	0,45
	—	—	180	0,45	—	185	0,45	182,5	0,45	—	—
	—	—	185	0,45	—	185	0,45	185	0,45	—	—
n=244 v=121.3	—	1	120	0,30	2	130	0,30	125	0,30	—	—
	—	—	165	0,45	—	170	0,45	170	0,45	179,1	0,458
	—	—	180	0,45	—	185	0,45	182,5	0,45	—	—
	—	—	180	0,45	—	190	0,50	185	0,45	—	—
n=272 v=136	—	2	120	0,35	2	130	0,35	125	0,35	—	—
	—	—	170	0,45	—	180	0,45	175	0,45	181,6	0,458
	—	—	180	0,45	—	180	0,45	182,5	0,45	—	—
	—	—	185	0,45	—	190	0,50	187,5	0,475	—	—
n=296 v=147	—	2	125	0,35	2	130	0,35	127,5	0,35	—	—
	—	—	175	0,40	—	180	0,45	177,5	0,425	184,1	0,441
	—	—	185	0,45	—	185	0,45	185	0,45	—	—
	—	—	190	0,45	—	190	0,45	190	0,45	—	—

Таблица III.

Диаметр сверла: $d=1/2''$.

Подача=0,206 мм.

Нормальная скорость:

 $n=160$ об. в мин.; $v=108,8$ мм/сек.

№ п.к. № в.к.	Уклонение в %	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 3-х.	
								P.	Q.	P.	Q.
n=104 v=70,72	—	2	140	0,50	2	150	0,55	145	0,525	—	—
	—	—	195	0,80	—	200	0,80	197,5	0,80	205,8	0,83
	—	—	205	0,85	—	210	0,85	207,5	0,85	—	—
	—	—	210	0,85	—	215	0,85	212,5	0,85	—	—
n=124 v=84,32	—	2	150	0,60	2	160	0,60	152,5	0,60	—	—
	—	—	200	0,80	—	200	0,80	200	0,80	207,5	0,83
	—	—	210	0,85	—	210	0,85	210	0,85	—	—
	—	—	215	0,85	—	210	0,85	212,5	0,85	—	—
n=140 v=95,2	—	2	160	0,65	2	160	0,60	160	0,625	—	—
	—	—	200	0,80	—	200	0,80	200	0,80	205,8	0,825
	—	—	210	0,80	—	205	0,85	207,5	0,825	—	—
	—	—	210	0,85	—	210	0,85	210	0,85	—	—
n=156 v=106,08	—	2	160	0,70	2	156	0,65	157,5	0,675	—	—
	—	—	200	0,80	—	195	0,80	197,5	0,80	204,1	0,808
	—	—	205	0,80	—	205	0,80	205	0,80	—	—
	—	—	210	0,85	—	210	0,80	210	0,825	—	—
n=180 v=122,4	—	3	160	0,65	3	165	0,65	162,5	0,65	—	—
	—	—	210	0,80	—	205	0,80	207,5	0,80	213,1	0,83
	—	—	215	0,85	—	215	0,85	215	0,85	—	—
	—	—	220	0,85	—	215	0,85	217,5	0,85	—	—
n=196 v=133,28	—	3	155	0,60	3	160	0,70	157,5	0,65	—	—
	—	—	205	0,80	—	200	0,80	202,5	0,80	209,1	0,83
	—	—	210	0,85	—	210	0,85	210	0,85	—	—
	—	—	215	0,85	—	215	0,85	215	0,85	—	—
n=216 v=146,88	—	3	160	0,65	3	165	0,70	162,5	0,675	—	—
	—	—	205	0,80	—	200	0,80	202,5	0,80	2	,825
	—	—	210	0,85	—	205	0,80	207,5	0,825	—	—
	—	—	212	0,85	—	210	0,85	210	0,85	—	—

Таблица IV.

Диаметр сверла: $d=5/8''$.

Подача=0,206 мм.

Нормальная скорость сверла:

 $n=130$ об. в мин.; $v=108,85$ мм/сек.

"n"	Уклонение в 0/0	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 3-х.	
								P.	Q.	P.	Q.
n=84 v=70,308	—	3	185	0,84	3	195	0,90	190	0,87	—	—
	—	—	245	1,15	—	245	1,15	245	1,15	254,5	1,18
	—	—	260	1,2	—	255	1,20	267,5	1,20	—	—
	—	—	262	1,2	—	260	1,20	261	1,20	—	—
n=100 v=83,70	—	3	190	0,9	4	200	0,95	195	0,925	—	—
	—	—	245	1,15	—	255	1,20	250	1,175	257,5	1,23
	—	—	255	1,20	—	260	1,30	257,5	1,25	—	—
	—	—	260	1,25	—	270	1,30	265	1,275	—	—
n=116 v=97,092	—	4	195	0,85	4	200	0,95	197,5	0,90	—	—
	—	—	250	1,15	—	250	1,15	250	1,15	258,3	1,19
	—	—	260	1,20	—	260	1,20	260	1,20	—	—
	—	—	265	1,20	—	265	1,25	265	1,225	—	—
n=130 v=108,81	—	4	200	1,00	4	190	0,85	195	0,925	—	—
	—	—	252	1,20	—	250	1,15	251	1,175	257,6	1,21
	—	—	260	1,25	—	260	1,20	260	1,225	—	—
	—	—	262	1,30	—	262	1,20	262	1,25	—	—
n=144 v=120,53	—	4	200	0,90	4	195	0,90	197,5	0,90	—	—
	—	—	145	1,15	—	245	1,15	245	1,15	251,6	1,18
	—	—	255	1,20	—	250	1,20	252,5	1,20	—	—
	—	—	260	1,20	—	255	1,20	257,5	1,20	—	—
n=156 v=130,57	—	5	195	0,90	5	195	0,95	195	0,925	—	—
	—	—	250	1,15	—	250	1,20	250	1,175	255,8	1,225
	—	—	260	1,25	—	255	1,25	257,5	1,25	—	—
	—	—	260	1,25	—	260	1,25	260	1,25	—	—
n=176 v=147,32	—	5	200	0,90	6	205	0,95	202,5	0,925	—	—
	—	—	250	1,15	—	250	1,15	250	1,15	255,8	1,18
	—	—	255	1,20	—	260	1,20	257,5	1,20	—	—
	—	—	255	1,20	—	260	1,20	260	1,20	—	—

Таблица V.

Диаметр сверла: $d=3/4''$.

Подача=0,206 мм.

Нормальная скорость сверла:

 $n=105$ об. в мин.; $v=107,15$ мм/сек.

"n"	Уклонения в 0/0.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 3-х.	
								P.	Q.	P.	Q.
n=69 v=70,38	—	6	210	1,05	6	210	1,05	210	1,05	—	—
	—	—	275	1,65	—	280	1,70	277,5	1,675	290	1,69
	—	—	295	1,70	—	290	1,70	292,5	1,70	—	—
	—	—	300	1,70	—	300	1,70	300	1,70	—	—
n=80 v=81,6	—	6	210	1,10	6	270	1,10	210	1,10	—	—
	—	—	275	1,75	—	275	1,75	275	1,75	285,3	1,78
	—	—	290	1,80	—	290	1,80	290	1,80	—	—
	—	—	292	1,80	—	292	1,80	291	1,80	—	—
n=92 v=93,84	—	7	215	1,15	7	220	1,25	217,5	1,20	—	—
	—	—	280	1,70	—	275	1,65	277,5	1,675	284,1	1,72
	—	—	290	1,80	—	280	1,70	285	1,75	—	—
	—	—	295	1,80	—	285	1,70	290	1,75	—	—
n=105 v=107,1	—	7	220	1,30	7	215	1,20	217,5	1,25	—	—
	—	—	270	1,60	—	270	1,60	270	1,60	277,8	1,65
	—	—	280	1,65	—	280	1,70	280	1,675	—	—
	—	—	285	1,70	—	282	1,70	283,5	1,70	—	—
n=117 v=119,34	—	7	215	1,20	8	220	1,20	217,5	1,20	—	—
	—	—	265	1,60	—	285	1,70	275	1,65	281,1	1,70
	—	—	280	1,70	—	290	1,75	285	1,725	—	—
	—	—	282	1,70	—	295	1,75	283,5	1,725	—	—
n=129 v=131,58	—	8	215	1,15	8	215	1,20	215	1,175	—	—
	—	—	275	1,65	—	270	1,70	272,5	1,675	278,3	1,70
	—	—	280	1,70	—	280	1,70	280	1,70	—	—
	—	—	280	1,75	—	280	1,70	282,5	1,725	—	—
n=141 v=143,82	—	8	215	1,10	8	210	1,15	212,5	1,125	—	—
	—	—	270	1,65	—	270	1,70	270	1,675	275,8	1,70
	—	—	280	1,70	—	275	1,70	277,5	1,70	—	—
	—	—	280	1,75	—	280	1,70	280	1,725	—	—

Таблица VI.

Диаметр сверла: $d=7/8$ "

Подача = 0,206 mm.

Нормальная скорость сверла:

 $n=90$ об. в мин.; $v=105,97$ mm/sec.

» n ^o	» v ^o	Уклонения в 0/0	№№			№№			Среднее.		Среднее из 3-х.	
			Р.	Q.	Р.	Q.	Р.	Q.	Р.	Q.		
n=58	v=68,44	—	9	240	1,75	9	245	1,75	242,5	1,75	—	—
			—	310	2,35	—	310	2,30	310	2,325	320,6	2,39
			—	325	2,45	—	320	2,40	322,5	2,425	—	—
			—	330	2,45	—	330	2,40	330	2,425	—	—
n=69	v=81,42	—	9	230	1,60	9	240	1,75	235	1,675	—	—
			—	300	2,25	—	300	2,25	300	2,25	312,5	2,28
			—	320	2,25	—	315	2,30	317,5	2,275	—	—
			—	320	2,30	—	320	2,35	320	2,325	—	—
n=80	v=94,4	—	10	250	2,00	10	250	1,75	250	1,875	—	—
			—	325	2,25	—	310	2,30	317,5	2,275	326,6	2,36
			—	335	2,45	—	325	2,35	330	2,40	—	—
			—	340	2,40	—	325	2,40	332,5	2,40	—	—
n=90	v=106,2	—	10	230	1,75	11	250	1,75	240	1,75	—	—
			—	310	2,35	—	320	2,35	315	2,35	325,8	2,39
			—	320	2,40	—	340	2,40	330	2,40	—	—
			—	325	2,40	—	340	2,45	332	2,425	—	—
n=100	v=118	—	11	240	1,60	11	240	1,60	240	1,60	—	—
			—	320	2,30	—	315	2,30	317,5	2,30	321,6	2,35
			—	325	2,35	—	320	2,35	322,5	2,35	—	—
			—	325	2,40	—	325	2,40	325	2,40	—	—
n=112	v=132,16	—	11	240	1,70	12	250	1,70	245	1,70	—	—
			—	315	2,20	—	330	2,40	322,5	2,30	332,5	2,40
			—	325	2,35	—	345	2,50	335	2,425	—	—
			—	330	2,40	—	350	2,55	340	2,475	—	—
n=122	v=143,96	—	11	240	1,60	12	245	1,70	242,5	1,65	—	—
			—	325	2,25	—	315	2,40	320	2,375	329,13	2,42
			—	335	2,45	—	330	2,45	332,5	2,45	—	—
			—	335	2,45	—	335	2,45	335	2,45	—	—

Таблица VII.

Диаметр сверла: $d = 1''$.

Подача = 0,206 мм.

Нормальная скорость сверла:

 $n = 80$ об. в мин ; $v = 106,4$ мм/сек.

"п"	"v"	Уклонение в %	№№			№№			Среднее.		Среднее из 3-х.	
			Р.	Q.	№№	Р.	Q.	Р.	Q.	Р.	Q.	
$n = 53$	$v = 70,49$	—	13	265	1,80	12	260	1,80	262,5	1,80	—	—
			—	355	2,90	—	350	2,80	352,5	2,85	366,6	2,88
			—	375	2,90	—	370	2,90	372,5	2,90	—	—
			—	380	2,90	—	370	2,90	375	2,90	—	—
$n = 62$	$v = 82,46$	—	14	280	1,90	14	265	1,90	272,5	1,90	—	—
			—	360	2,80	—	350	2,80	355	2,80	367,5	2,88
			—	370	2,90	—	370	2,90	370	2,90	—	—
			—	380	2,90	—	375	3,00	377,5	2,95	—	—
$n = 71$	$v = 94,43$	—	15	265	1,80	15	260	1,70	267,5	1,75	—	—
			—	370	3,00	—	360	2,90	365	2,95	372,5	2,98
			—	380	3,00	—	370	2,95	375	2,975	—	—
			—	380	3,10	—	375	2,95	377,5	3,025	—	—
$n = 80$	$v = 106,4$	—	16	260	1,60	16	250	1,50	255	1,55	—	—
			—	360	2,90	—	350	2,80	355	2,85	365,8	9,92
			—	375	3,00	—	360	2,85	367,5	2,925	—	—
			—	380	3,00	—	370	2,90	375	2,975	—	—
$n = 89$	$v = 118,37$	—	17	260	1,70	17	250	1,50	255	1,60	—	—
			—	360	2,85	—	350	2,80	355	2,835	361,7	2,825
			—	370	2,90	—	360	2,75	365	2,825	—	—
			—	370	2,90	—	360	2,75	365	2,825	—	—
$n = 98$	$v = 130,34$	—	18	260	1,80	18	250	1,6	255	1,70	—	—
			—	360	3,00	—	350	2,80	355	2,90	365,8	2,916
			—	375	2,95	—	365	2,90	370	2,925	—	—
			—	375	2,95	—	370	2,90	372,5	2,925	—	—
$n = 108$	$v = 143,64$	—	19	260	1,60	19	260	1,60	260	1,60	—	—
			—	375	2,90	—	370	2,90	372,5	2,90	380	3,02
			—	390	3,10	—	375	3,00	382,5	3,05	—	—
			—	390	3,10	—	380	3,10	385	3,10	—	—

П о д а ч а 1-а я.

0,143 мм за один оборот главного шпинделя станка.

Диаметр сверла.	№№ бол-ванки.	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
1/4"	13	60	0,10	13	80	0,20	70	0,15	—	—
	—	90	0,20	—	100	0,25	95	0,225	94,375	0,231
	—	100	0,25	—	105	0,25	102,5	0,25	—	—
	—	100	0,40	—	112	0,30	110	0,30	—	—
5/16"	13	90	0,30	13	95	0,25	92,5	0,275	—	—
	—	100	0,35	—	125	0,30	112,5	0,325	126,375	0,375
	—	140	0,40	—	155	0,45	147,5	0,425	—	—
	—	150	0,45	—	160	0,50	155	0,475	—	—
3/8"	12	110	0,30	12	130	0,35	120	0,325	—	—
	—	182	0,45	—	190	0,50	185	0,475	182,5	0,500
	—	205	0,55	—	215	0,60	210	0,575	—	—
	—	210	0,60	—	220	0,65	215	0,625	—	—
7/16"	1	160	0,45	1	155	0,45	157,5	0,45	—	—
	—	245	0,80	—	260	0,85	252,5	0,825	238,75	0,806
	—	265	0,90	—	275	0,95	270	0,925	—	—
	—	270	1,00	—	280	1,05	275	1,025	—	—
1/2"	13	140	0,35	13	150	0,40	145	0,375	—	—
	—	250	0,95	—	260	1,05	255	1,000	237,5	0,931
	—	260	1,10	—	280	1,15	270	1,125	—	—
	—	270	1,20	—	290	1,25	280	1,225	—	—

Продолжение таб. VIII.

Диаметр сверла.	№№ бол- ванки.	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
9/16"	13	190	0,75	13	180	0,75	185	0,75	—	—
	—	275	1,10	—	270	1,25	272,5	1,175	267,5	1,356
	—	300	1,60	—	300	1,75	300	1,675	—	—
	—	315	1,85	—	310	1,80	312,5	1,825	—	—
5/8"	13	200	0,80	13	220	0,90	210	0,85	—	—
	—	310	1,45	—	315	1,50	312,5	1,475	303,75	1,456
	—	330	1,65	—	350	1,75	340	1,70	—	—
	—	345	1,75	—	360	1,85	352,5	1,80	—	—
3/4"	14	355	0,70	14	245	0,80	250	0,75	—	—
	—	460	2,25	—	450	2,25	455	2,25	417,5	2,306
	—	480	3,95	—	480	3,05	480	3,05	—	—
	—	480	3,15	—	490	3,2	485	3,175	—	—
11/16"	13	210	1,10	13	225	1,10	217,5	1,10	—	—
	—	320	1,60	—	350	1,75	335	1,675	325,625	1,694
	—	350	1,80	—	390	1,85	370	1,825	—	—
	—	370	2,00	—	400	2,15	385	2,075	—	—
13/16"	14	250	1,50	14	260	1,50	255	1,50	—	—
	—	400	2,50	—	430	2,75	415	2,625	400,625	2,644
	—	450	3,00	—	470	3,25	460	3,125	—	—
	—	465	3,15	—	480	3,50	472,5	3,325	—	—
7/8"	14	260	1,85	14	290	1,75	275	1,80	—	—
	—	430	3,00	—	500	3,0	465	3,0	498,025	2,644
	—	460	3,25	—	545	3,75	502,5	3,5	—	—
	—	470	3,50	—	550	4,0	510	2,75	—	—

Подача 2 я

0,1718 мм за один оборот главного шпинделя станка.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
1/4"	2	40	0,25	8	80	0,25	60	0,25	—	—
	—	75	0,28	—	100	0,30	87,5	0,29	85,75	0,2925
	—	85	0,28	—	108	0,35	96,5	0,315	—	—
	—	88	0,28	—	110	0,35	99,0	0,315	—	—
3/16"	2	50	0,25	8	90	0,30	70	0,275	—	—
	—	140	0,50	—	162	0,50	151	0,50	141,5	0,4875
	—	155	0,50	—	180	0,65	167,5	0,575	—	—
	—	165	0,60	—	190	0,70	177,5	0,60	—	—
3/8"	2	68	0,25	8	115	0,30	91,2	0,275	—	—
	—	168	0,75	—	196	0,75	182	0,75	172,5	0,64375
	—	188	0,75	—	220	0,80	204	0,775	—	—
	—	195	0,75	—	230	0,80	212,5	0,775	—	—
7/16"	3	118	0,45	8	155	0,50	136,5	0,475	—	—
	—	190	0,85	—	240	0,85	215	0,85	210,375	0,800
	—	190	0,80	—	262	1,00	226	0,90	—	—
	—	255	0,90	—	273	1,05	264	0,975	—	—
1/2"	1	170	0,50	8	180	0,55	175	0,525	—	—
	—	308	1,25	—	320	1,50	314	1,375	289	1,32
	—	327	1,60	—	330	1,70	328,5	1,65	—	—
	—	332	1,80	—	345	1,75	338,5	1,775	—	—

Продолжение таблицы IX.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
2 1/16"	2	170	0,75	8	200	0,75	185	0,75	—	—
	—	300	1,25	—	340	1,50	320	1,375	303,5	1,381
	—	328	1,50	—	370	1,75	349	1,625	—	—
	—	340	1,75	—	380	1,80	360	1,775	—	—
3/8"	5	270	0,8	8	270	0,80	270	0,80	—	—
	—	400	1,5	—	420	2,30	410	1,65	396,875	1,750
	—	438	2	—	465	2,30	491,5	2,15	—	—
	—	432	2,3	—	480	2,50	456	2,40	—	—
1 1/16"	3	220	0,80	8	260	1,05	240,0	0,925	—	—
	—	375	2,00	—	430	2,50	402,5	2,25	376,5	2,106
	—	392	2,25	—	465	2,70	428,5	2,475	—	—
	—	400	2,40	—	470	3,15	439	2,775	—	—
3/4"	9	180	1,5	10	240	1,35	210	1,425	—	—
	—	360	2,25	—	390	2,35	375	2,30	375,5	2,406
	—	400	2,65	—	420	2,65	410	2,65	—	—
	—	430	3,00	—	440	3,5	435	3,25	—	—
1 3/16"	8	230	1,70	7	230	1,5	230	1,6	—	—
	—	405	2,85	—	400	2,75	402,5	2,80	383,125	2,725
	—	440	3,15	—	450	3,25	445	3,20	—	—
	—	450	3,25	—	460	3,35	455	3,30	—	—
7/8"	8	310	1,75	10	340	1,60	325	1,675	—	—
	—	550	4,5	—	560	4,8	555	4,65	501,25	4,15
	—	555	4,8	—	580	4,3	562,5	5,05	—	—
	—	555	4,9	—	580	4,55	562,5	5,125	—	—

П о д а ч а 3-я.

0,19 mm за один оборот главного шпинделя станка.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
1/4"	5	60	0,2	9	60	0,20	60	0,20	—	—
	—	102	0,3	—	105	0,35	103,5	0,325	97,625	0,294
	—	110	0,3	—	112	0,35	111	0,325	—	—
	—	115	0,3	—	118	0,35	116,5	0,325	—	—
5/16"	5	72	0,20	9	102	0,30	87	0,25	—	—
	—	170	0,55	—	170	0,55	170	0,55	163	0,540
	—	190	0,65	—	195	0,70	192,5	0,675	—	—
	—	200	0,65	—	205	0,70	202,5	0,675	—	—
3/8"	5	110	0,30	9	140	0,50	125	0,40	—	—
	—	200	0,60	—	218	0,80	209	0,70	204,5	0,687
	—	230	0,80	—	248	0,85	239	0,825	—	—
	—	240	0,80	—	250	0,85	245	0,825	—	—
7/16"	6	125	0,35	9	148	0,50	136,5	0,425	—	—
	—	228	0,85	—	250	0,80	239	0,825	236,125	0,825
	—	270	0,90	—	280	1,10	275	1,0	—	—
	—	290	1,0	—	298	1,10	294	1,05	—	—
1 1/2"	6	198	0,5	9	195	0,6	196,5	0,55	—	—
	—	320	1,5	—	340	1,7	330	1,60	315,375	1,481
	—	360	1,8	—	370	1,8	365	1,80	—	—
	—	360	2,0	—	380	1,95	370	1,975	—	—

Продолжение таблицы X.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
9 $\frac{1}{16}$ "	6	198	0,60	9	220	0,75	209	0,675	—	—
	—	360	1,50	—	365	1,70	357,5	1,60	336,625	1,487
	—	370	1,70	—	395	1,90	382,5	1,80	—	—
	—	380	1,70	—	415	2,05	397,5	1,875	—	—
5 $\frac{1}{8}$ "	6	260	0,70	9	270	0,90	265	0,80	—	—
	—	420	1,75	—	445	1,90	432,5	1,875	416,0	1,925
	—	450	2,40	—	505	2,55	477,5	2,475	—	—
	—	458	2,50	—	520	2,70	489	2,60	—	—
11 $\frac{1}{16}$ "	6	248	0,85	9	275	1,10	261,5	0,975	—	—
	—	420	2,60	—	470	2,90	445	2,75	—	—
	—	435	2,80	—	505	3,05	470	2,925	—	—
	—	440	3,00	—	510	3,20	475	3,10	—	—
3 $\frac{1}{4}$ "	7	280	1,50	10	255	1,30	267,5	1,40	—	—
	—	418	2,60	—	410	2,85	414	2,725	404,125	2,631
	—	460	3,20	—	460	3,00	460	3,10	—	—
	—	470	3,30	—	480	3,30	475	3,30	—	—
13 $\frac{1}{16}$ "	10	270	1,85	—	—	—	270	1,85	—	—
	—	460	3,10	—	—	—	460	3,10	430	3,10
	—	490	3,65	—	—	—	490	3,65	—	—
	—	500	3,80	—	—	—	500	3,80	—	—
7 $\frac{1}{8}$ "	10	370	1,90	9	—	1,80	375	1,85	—	—
	—	565	4,05	—	—	5,3	565	4,575	537,5	4,100
	—	595	4,3	—	—	5,45	595	4,875	—	—
	—	620	4,55	—	—	5,6	620	5,1	—	—

П о д а ч а 4-а я.

0,206 мм. За один оборот главного шпинделя станка.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее по 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
1/4"	11	65	0,15	11	65	0,15	65	0,15	—	—
	—	102	0,40	—	110	0,40	106	0,40	99,25	0,346
	—	110	0,40	—	112	0,42	111	0,41	—	—
	—	115	0,40	—	115	0,45	115	0,425	—	—
5/16"	11	110	0,30	11	90	0,20	100	0,25	—	—
	—	185	0,65	—	160	0,60	172,5	0,625	165,25	0,581
	—	200	0,80	—	185	0,65	192,5	0,725	—	—
	—	202	0,75	—	190	0,70	196	0,725	—	—
3/8"	11	110	0,25	11	100	0,20	105	0,225	—	—
	—	215	0,95	—	205	0,85	210	0,90	198,725	0,762
	—	240	1,00	—	230	0,90	235	0,95	—	—
	—	245	1,00	—	240	0,95	242,5	0,975	—	—
7/16"	11	170	0,70	11	150	0,40	160	0,55	—	—
	—	260	1,00	—	280	1,10	270	1,05	265,625	0,965
	—	290	1,12	—	310	1,10	300	1,110	—	—
	—	300	1,20	—	365	1,10	332,5	1,12	—	—
1/2"	11	140	0,80	11	220	0,65	180	0,725	—	—
	—	350	2,00	—	350	2,00	350	2,00	328,125	1,737
	—	385	2,10	—	380	2,05	382,5	2,075	—	—
	—	405	2,20	—	395	2,10	400	2,15	—	—

Продолжение таб. XI.

Диаметр сверла.	№№	P.	Q.	№№	P.	Q.	Среднее.		Среднее из 4-х.	
							P.	Q.	P.	Q.
9/16"	12	190	0,80	12	200	0,85	195	0,825	—	—
	—	300	1,25	—	300	1,40	300	1,325	298,75	1,437
	—	330	1,60	—	350	1,80	340	1,70	—	—
	—	350	1,80	—	370	2,00	360	1,90	—	—
5/8"	10	305	0,85	11	280	1,00	292,5	0,925	—	—
	—	500	2,45	—	490	2,25	495	2,35	475,605	2,294
	—	540	2,85	—	560	2,80	550	2,825	—	—
	—	550	2,90	—	580	3,25	565	3,075	—	—
3/4"	11	285	1,65	12	265	1,30	275	1,475	—	—
	—	480	3,25	—	485	3,10	482,5	3,175	466,25	3,00
	—	520	3,60	—	560	3,60	540	3,60	—	—
	—	550	3,75	—	585	3,75	567,5	3,75	—	—
11/16"	11	290	1,15	12	340	1,25	315	1,20	—	—
	—	495	3,00	—	530	3,20	512,5	3,10	482,50	2,812
	—	530	2,25	—	560	3,55	545	3,40	—	—
	—	545	3,40	—	570	3,70	557,5	3,55	—	—
13/16"	11	290	1,75	12	230	1,75	260	1,75	—	—
	—	485	4,4	—	455	3,75	470	4,075	453,005	3,519
	—	540	4,3	—	515	4,00	527,5	4,05	—	—
	—	560	4,30	—	550	4,1	555	4,20	—	—
7/8"	10	370	1,75	12	340	2,00	355	1,875	—	—
	—	590	4,05	—	610	5,05	600	4,55	568,75	4,061
	—	640	4,30	—	670	5,30	655	4,80	—	—
	—	660	4,55	—	670	5,5	665	5,025	—	—