

Инженер Д. М. РОЗЕНБЕРГ

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ НАИВЫГОДНЕЙШИХ УСЛОВИЙ РЕЗАНЬЯ МЕТАЛЛОВ

(на токарных станках)

С 7-ю ЧЕРТЕЖАМИ

Томск

1928

К вопросу о выборе наивыгоднейших условий резанья металлов.

(На токарных станках).

К статье, 7 чертежей.

Производительность работы на металлорежущих станках зависит от большого числа факторов, различным образом, связанных между собой и влияющих друг на друга, и для решения вопроса о наивыгоднейшей обработке металлов необходимо, по мнению Тэйлора, решить сложную математическую задачу со многими переменными¹⁾. Эта задача, в которую неизвестными входят условия работы резанья, имеет большое число возможных к осуществлению решений, каждое из которых характеризуется своей производительностью и только одно из всех дает комбинацию условий, характеризуемую максимальной возможной производительностью, т. е. удовлетворяет требованию сравнительной экономичности.

Критерием экономичности процесса снятия стружки может служить время, затрачиваемое на производство одной и той же операции при различных условиях, и та комбинация условий работы, которая связана с наименьшей затратой времени, будет наиболее выгодна.

Если обозначим:

T — время в минутах

L — длина обрабатываемого предмета в мм.

D — диаметр " " в метр.

n — число оборотов " " в минуту

s — подача в мм/об. (путь, проходимый инструментом за 1 оборот параллельно оси обработ. предм.)

t — глубина резанья в мм. (полуразность диаметров до и после снятия стружки)

v — скорость рез. в мтр/мин.

q — поперечное сечение стружки в мм.².

то аналитическое выражение времени, потребного на обработку (для операций с вращательным движением обрабатываемого предмета или инструмента), будет:

$$T = \frac{L}{n s} \quad (1)$$

Здесь L величина наперед заданная и изменение T может происходить лишь за счет изменения величины ns , которая представляет собой не что иное, как длину пути, проходимого резцом в единицу времени параллельно оси обрабатываемого предмета.

С другой стороны:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D};$$

$$\text{и } s = q : t;$$

$$\text{т. е. } T = \frac{L \cdot t \cdot \pi \cdot D}{q \cdot v} \quad (2)$$

¹⁾ Гипплер. Токарное дело. 1922 г.

Здесь заданными величинами являются L , D и t (t находится в зависимости от припуска на обработку) и величина T зависит от произведения qv , представляющего собой объем стружки в см.³, снимаемый в минуту. Чем больше будут величины ps и qv , тем меньше будет затрата времени, тем больше производительность, а потому за характеристику производительности работы и принимаются обыкновенно величины произведений ps или qv .

Необходимо различать работу обдирки от отделочной работы, так как в первом случае ставится целью удаление всего лишнего материала в возможно короткое время, во втором же, кроме того, необходимо соблюдение некоторых дополнительных условий, как чистота обработанной поверхности, точность размеров, формы и т. д., но и в этом случае, при обязательном соблюдении дополнительных условий, показателем производительности могут служить те же величины.

Работа снятия стружки не может мыслиться без наличия трех компонентов: машины орудия (станка), режущего инструмента (резца) и обрабатываемого материала; первые два являются активно действующими и каждый из них, и станок, и резец, обладает в каждом данном случае определенной мощностью¹⁾ и нормальной производительностью и только при полном соответствии их производительных способностей и при условии их нормального использования, можно достигнуть максимального эффекта, получить наиболее экономические условия работы. Но обычно не наблюдается полного соответствия мощности станка и производительной способности режущего инструмента и в этом случае, как показал Гипплер²⁾, нужно стремиться в целях повышения производительности, в первую очередь к использованию станка путем подбора к нему соответствующего инструмента, хотя теоретически, как это мы покажем в дальнейшем, при всяком станке и инструменте можно достигнуть одновременного их использования.

О нормальной производительности станка и инструмента и о степени их использования можно судить из зависимостей, которые мы имеем для стойкости резца и мощности станка.

Для станка имеем:

$$N_e = \frac{P \cdot v}{4500} \quad (3)$$

Здесь:

N_e — мощность в HP в месте отделения стружки или полезная мощность станка;

P — давление резанья в кгр.;

v — скорость резанья, допускаемая мощностью станка в мтр/мин.

Для стойкости резца имеем зависимость

$$v_u = \frac{C_r}{s^p \cdot t^q} \quad (4)$$

Здесь:

v_u — скорость резанья, допускаемая данным резцом

s — подача за один оборот в мм.

t — глубина резанья в мм.

¹⁾ Здесь под мощностью станка нужно понимать не только его мощность в лошадиных силах, но и стабильность его конструкции, прочность передаточных механизмов и т. д.

²⁾ Рейндль. Режущий инструмент. Статья Гипплера: Экономическое снятие стружки.

C_1 — постоянная величина, зависящая от материала резца, его размеров, термической обработки, углов заточки и установки, формы режущей грани, продолжительности работы без переточки, свойств обрабатываемого материала, свойств применяемой в работе смазочно-охлаждающей жидкости, стабильности объекта обработки и станка.

Таким образом:

$$C_1 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8$$

p и r — показатели степени, зависящие от материала обработки.

Уравнение (4) представляет собой общий вид эмпирических зависимостей, полученных на основании исследований последних 30 лет. Все экспериментаторы этого периода—Тейлор¹⁾, Герберт и Риппер²⁾, Фридрих³⁾, Дени⁴⁾ и другие приходят к выводу, что зависимость для скорости резанья, допускаемой резцом, иначе говоря, для стойкости резца, имеет вид степенной функции, при чем показатели степеней (p и r) у подачи и глубины резанья всегда меньше единицы и $p \geq r$. Один лишь проф. Никольсон дает зависимость вида

$$v = \frac{A}{q+B} + C \dots \text{для стали}$$

$$\text{и } v = A_1 + B_1 \cdot q \dots \text{для чугуна.}$$

но эти данные по различным причинам не имеют в настоящее время практического значения⁵⁾.

Для давления резанья P в формуле (3) на основании опытов Тейлора⁶⁾, Тиме⁷⁾, Зворыкина⁸⁾, Никольсона⁹⁾, Саввина¹⁰⁾, Фридриха¹¹⁾, Риппера¹²⁾, Тихонова¹³⁾, Челюсткина⁹⁾, Клопштока¹⁴⁾ и других, можно общий вид зависимости дать уравнением:

$$P = C_2 \cdot s^l \cdot t^m \dots \dots \dots (5)$$

Здесь:

P — давление резанья в килограммах

s — подача за один оборот в мм.

t — глубина резанья в мм.

C_2 — постоянная величина, зависящая от качества обрабатываемого материала, углов заточки, углов установки и формы режущей грани резца, рода смазочно-охлаждающей жидкости, а потому может быть представлена в виде:

$$C_2 = K'_1 \cdot K'_2 \cdot K'_3 \cdot K'_4 \cdot K'_5 \dots$$

l и m — показатели степени, зависящие от материала обработки.

Зависимость (5), так же, как и зависимость (4), чисто эмпирического характера, так как мы все еще не имеем точного теоретического

1) Тейлор. Искусство резать металлы.

2) R.E.F.A. Стр. 230; Engineering. 1910 г.

3) Z.V.D.J. 1914 г., № 10 и 12. Ueber die Wärm Vorgänge...

4) R.E.F.A. Стр. 230; Genie Civil. 1917 г.

5) R.E.F.A. Стр. 231.

6) Катков. Исследование и использование станков 1925 г.; стр. 244.

7) Тиме. Сопротивление металлов и дерева резанью. 1870 г.

8) Зворыкин. Работа и усилие, необходимые для отделения металл. струж. 1893 г.

9) Челюсткин. Влияние размеров стружки на усилие резанья металла. 1925 г.

10) Саввин. О сопротивлении металлов резанью. 1908 г.

11) Friedrich. Ueber den Schnittwiderstand... Z.V.D.J. 1909 г.

12) Челюсткин. Влияние размеров стружки на усил. рез. металлов.

13) Тихонов. О коэффициенте резанья металлов. Томск, 1910 г.

14) Klopstock. Die Untersuchung der Dreharbeit. 1926 г., Вестник Металлопромышленности. 1928 г., № 1, стр. 71.

обоснования, объясняющего явления, происходящие при превращении металла в стружку и попытки дать таковое пока еще не увенчались успехом¹⁾.

Подставляя из (5) в (3) значение для P , получим:

$$N_e = \frac{C_2 \cdot s' \cdot t^m \cdot v}{4500} \dots \dots \dots (6)$$

В большинстве случаев задача для выбора условий резанья в производстве ставится в таком виде: на данном станке обточить предмет определенного материала и заданного диаметра; глубина резанья дана или находится из величины припуска на обработку. Необходимо найти скорость резанья (число оборотов) и подачу, которые дадут возможность в наиболее короткое время произвести обработку, т. е. характеризуются величиной $(ns)_{\max}$ или $(qv)_{\max}$.

Материал резца, его форма, термическая обработка и условия работы (с охлаждением или без) обыкновенно являются постоянными для данной производственной операции. Для решения поставленной задачи приходится пользоваться приведенными выше зависимостями для мощности станка (6) и стойкости резца (4). Казалось бы, решив два уравнения с двумя неизвестными (величины N_e , t , p , r , l , m , C_1 , C_2 постоянны в каждом данном случае), мы найдем величины s и v , удовлетворяющие условию одновременного использования станка и инструмента, но помимо того, что такая комбинация далеко не всегда дает наивыгоднейшие условия обработки ($ns_{\max}$)²⁾, в большинстве случаев, мы к тому же не сможем осуществить величину скорости резанья v , удовлетворяющую системе уравнений (4) и (6). Действительно, станок, обладая установленным рядом чисел оборотов, при заданном диаметре обработки может дать лишь вполне определенные скорости резанья $v_i = \pi \cdot D \cdot n_i$, которые мы не в состоянии изменить без специальной перенастройки станка. Иначе говоря, совместное разрешение уравнений (4) и (6) не дает нам ответа на задачу и разрешить ее можно, как мы сейчас покажем, лишь рядом попыток.

Если мы возьмем станок со ступенчатым шкивом, как тип наиболее распространенный в нашем производстве, то каждая ступень шкива его имеет свою мощность и число оборотов и при заданном диаметре дает вполне определенную скорость резанья.

Взяв какое-либо из его чисел оборотов n_1 и найдя скорость резанья $v_1 = \pi \cdot D \cdot n_1$, подставим ее величину в равенства (4) и (6) наряду с соответствующей этому числу оборотов мощностью и другими известными величинами. Тогда из уравнения (4) можем получить подачу, допустимую резцом:

$$s_u = \left[\frac{C_1}{t^r \cdot v_u} \right]^{\frac{1}{p}} \dots \dots \dots (7)$$

из уравнения же (6) подачу, допускаемую мощностью станка (N_{e1}):

$$s_{ст} = \left[\frac{N_{e1} \cdot 4500}{C_2 \cdot t^m \cdot v} \right]^{\frac{1}{l}} \dots \dots \dots (8)$$

при чем

$$s_u \geq s_{ст}$$

¹⁾ Глебов. Процесс резанья, как единая эмпирич. формула. Стр. 28—29, 1923 г.

²⁾ Рейндль. Режущий инструмент. Статья Гипплера.

Из этих двух величин подачи мы можем, при условии отсутствия перегрузки станка и инструмента, осуществить наименьшую и произвести ее на число оборотов (n_1), (или на глубину резанья t и скорость резанья v_1), даст характеристику производительности $n_1 \cdot s_1$, (или $q \cdot v_1$) при данном числе оборотов. Прделаав такие же выкладки для других чисел оборотов, при чем в расчете будут фигурировать в каждом случае своя скорость резанья

$$v_i = \pi D \cdot n_i \dots \dots \dots (9)$$

и своя мощность станка Ne_i , соответствующие взятому числу оборотов (n_i),—найдем, при каком числе оборотов характеристика производительности $n_i \cdot s$ (или $q \cdot v_i$) будет наибольшей, это и будет наивыгоднейшая комбинация. При этом необходимо следить, чтобы получаемое в каждом случае сечение стружки $q = ts$ было допустимо не только стойкостью резца и мощностью станка, но и прочностью перелаточных механизмов (механизма подачи) и условием стабильности объекта обработки. Так как пособием к выбору условий резанья обыкновенно служит составленная заранее технико-нормировочная карта (паспорт) станка, то максимальное сечение стружки, допустимое прочностью механизма подачи и берется из этой карты, куда оно должно быть своевременно занесено, полученное одним из известных способов расчета¹⁾, судить же о соблюдении условия стабильности объекта обработки можно на основании имеющихся в литературе материалов, дающих максимальное сечение стружки в зависимости от рода обрабатываемого материала и соотношения размеров изделия²⁾.

Таким образом, для определения условий работы нужно решить три уравнения для каждого числа оборотов станка. Вполне понятно, что метод аналитического подсчета для определения наивыгоднейших условий резанья, как являющийся достаточно кропотливым, отнимающим много времени, утомительным и безусловно не свободным от случайных ошибок, как следствие достаточно сложных подсчетов, не может быть признан годным в повседневной работе.

В последнее время появилось много разнообразных приборов для определения условий резанья, обыкновенно построенных в виде счетных линеек, ведущих свое начало от счетной линейки, построенной впервые Тэйлором и его сотрудником Бартом. Каждая из этих линеек сконструирована на основании результатов тех исследований, которые либо произведены ее автором, либо признаются им наиболее соответствующими действительности и заслуживающими внимания. Мы в дальнейшем изложении даем теорию и способ построения разработанного нами прибора, основанного на соединении графиков—номограмм, который может быть легко осуществлен, при чем в основу могут быть положены все те исследования, в результате которых получены зависимости для давления резанья и скорости резанья, соответствующие общему виду уравнений (4) и (5). Прибор дает возможность опреде-

¹⁾ Глебов. Искусство наивыгодн. обработки металлов. 1927 г., 83 стр.

Катков. Исследование и использование...

Рафалович. Паспортизация станков, 1928 г.

Вестник металлопром. 1927 г., № 7—8. Кривоухов. Анализ работы токарн. станков.

²⁾ Орендлихер. Техническое нормирование работы металлопром. предпр., 1926 г. стр. 187.

Хегнер. Пособие по предварит. калькулирован. 26 г., стр. 246.

Вестник металлопром. 1927 г., № 11. Статья Орендлихера „Современное положение вопроса об обработке металлов“.

лять условия наивыгоднейшего резанья, а также разрешать некоторые вопросы, связанные с использованием станков и исследованием их кинематической сущности.

Все дальнейшие выводы и построения будем делать, исходя из основных зависимостей для стойкости резца и мощности станка:

$$v_u = \frac{C_1}{s^p \cdot t^r} \quad (4)$$

$$N_e = \frac{C_2 \cdot s^l \cdot t^m \cdot v}{4500} \quad (6)$$

Так как уравнение (4) и (6) представляют собой степенные функции, то, если мы их будем строить в логарифмических координатах, они получают простейшее графическое выражение.

Уравнение (4) представляет собой уравнение плоскости, расположенной в пространственной системе трех координат $\lg v$, $\lg s$ и $\lg t$. Действительно, если мы его прологарифмируем, что необходимо для определения вида зависимости и построения ее, то получим

$$\lg v_u = \lg C_1 - p \cdot \lg s - r \cdot \lg t;$$

или

$$\lg v_u + p \cdot \lg s + r \cdot \lg t - \lg C_1 = 0 \quad (10)$$

т. е. подобное уравнению плоскости в пространстве

$$Ax + By + Cz + D = 0.$$

Его можно привести к виду уравнения плоскости в отрезках на осях:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1,$$

и в этом случае получим:

$$\frac{\lg v_u}{\lg C_1} + \frac{\lg s}{\frac{\lg C_1}{p}} + \frac{\lg t}{\frac{\lg C_1}{r}} = 1 \quad (11)$$

Эта плоскость будет отсекают на осях координат отрезки: на оси $\lg v$ — отрезок $\lg C_1$; на оси $\lg s$ — отрезок $\frac{\lg C_1}{p}$; на оси $\lg t$ отрезок $\frac{\lg C_1}{r}$. Величины C_1 , r и p всегда положительны, при чем $C_1 > 1$; $r > 0$ и $p > 0$, а потому отрезки на осях будут все положительны.

Подобно этому для уравнения (6) будем иметь:

$$\lg v + l \cdot \lg s + m \cdot \lg t - \lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right] = 0 \quad (12)$$

Здесь N_e в каждом данном случае величина постоянная, т. е. зависимость (12) для станка постоянной мощности.

Уравнение плоскости в отрезках на осях будет

$$\frac{\lg v}{\lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right]} + \frac{\lg s}{\frac{1}{l} \cdot \lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right]} + \frac{\lg t}{\frac{1}{m} \cdot \lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right]} = 1. \quad (13)$$

и отрезки на осях $\lg v$, $\lg s$ и $\lg t$ соответственно будут

$$\lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right], \frac{1}{l} \lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right] \text{ и } \frac{1}{m} \lg \left[\frac{4500 N_e}{C_2} \right] :$$

все они будут положительны, так как обыкновенно:

$$4500 N_e > C_2; l \leq 1; m \leq 1.$$

На черт. 1 представлена зависимость для стойкости резца по уравнению (11). Каждая точка плоскости Q связывает три координаты, удовлетворяющие уравнению (11), т. е. отвечающие условию использования данного резца и, зная положение плоскости Q , можно по заданной величине $v_1 = \pi D n_1$ получить s_1 при заданном t_1 .

Проведем плоскость, удовлетворяющую равенству

$$v_1 = \pi D n_1 = \text{const.}$$

Она, будучи параллельна координатной плоскости $\lg s$, $\lg t$, пересечет плоскость Q по прямой AB , для которой будет действительно то же равенство. Прямая AB , как и ее проекция ab , связывает все величины s и t , удовлетворяющие условию использования резца при скорости резанья $v_1 = \text{const.}$ и, задавшись величиной t , можно получить сопряженную с ней величину s и наоборот. Определение этих величин по черт. 1 может идти порядком, отмеченным буквами

$$\lg v_1 \rightarrow B \rightarrow b \rightarrow k \rightarrow \lg s_1; \\ \lg t_1 \rightarrow k \rightarrow \lg s_1;$$

из этого следует, что для решения уравнения (11) нет необходимости знать положение плоскости Q в пространстве, важно лишь знать положение cd —прямой пересечения плоскости Q с координатной плоскостью $\lg v$, $\lg s$, и направление прямой AB , или ее проекции ab , которые, как видно из чертежа, идут параллельно ed —прямой пересечения плоскости Q с координатной плоскостью $\lg s$, $\lg t$.

Основываясь на этом, не трудно заменить пространственную систему чертежа 1, как неудобную для использования, плоскостной (черт. 2), повернув координатную плоскость $\lg s$, $\lg t$, как это показано на черт. 1 стрелкой, на 90° до совмещения с координатной плоскостью $\lg v$, $\lg s$, так, чтобы ось $\lg t$ служила продолжением оси, $\lg v$; при этом мы, правда, ограничиваем протяжение осей v и t , но это не вызовет никаких осложнений, т. к. величины v и t , с которыми приходится оперировать в практике, имеют ограниченные пределы.

Полученная плоскостная система представлена на черт. 2, при чем за начало координат приняты условно значения v_0 , s_0 , t_0 , как минимум, встречающийся в практике¹⁾. Положение прямой cd легко определяется из уравнения (10), если положим $t = t_0 = \text{const.}$ При этом уравнение плоскости превращается в уравнение прямой

$$\lg v_u = -p \cdot \lg s + [\lg C_1 - r \cdot \lg t_0] \dots \dots (14)$$

расположенной в координатной системе $\lg v$, $\lg s$ и наклоненной к положительному направлению оси абсцисс ($\lg s$) под углом α , тангенс которого

$$\text{tg } \alpha = -p \cdot \frac{\mu_v}{\mu_s} \dots \dots \dots (15)$$

¹⁾ На черт. 2 и далее нами обозначены не логарифмы величин, а самые величины — как это обыкновенно делается для удобства использования логарифм. графиков.

где μ_v — масштаб делений шкалы $\lg v$
 μ_s " " " " $\lg s$

Уравнение прямой ed получим, положив в том же уравнении (10)
 $v_u = v_0 = \text{const.}$

$$-\lg t = \frac{p}{r} \cdot \lg s - \frac{1}{r} \cdot [\lg v_0 - \lg C_1] \dots \dots (16)$$

Она делает с положительным направлением оси абсцисс ($\lg s$)
 угол β и

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{p}{r} \cdot \frac{\mu_t}{\mu_s} \dots \dots \dots (17)$$

где μ_t — масштаб делений шкалы $\lg t$.

Прямую cd назовем прямой стойкости резца, прямую ed — направлением $v_u = \text{const.}$, потому что передвигаясь по этому направлению мы всегда будем иметь различные значения s и t , которые удовлетворяют условию использования резца (уравнению 4) при условии $v_u = \text{const.}$

Все приведенные рассуждения предполагают постоянство величин C_1 , p и r , тогда как они являются лишь условно постоянными для каждого данного случая и могут меняться с изменением основных факторов работы. На величину p и r влияет изменение рода обрабатываемого материала, на величину C_1 влияет род обрабатываемого материала, его качество, качество резца, наличие или отсутствие охлаждения и т. д., что нами уже указывалось ранее. Изменение величин p , r и C_1 не изменит вида зависимости даваемой уравнением (10) и (11) и, изменяя в (11) величины знаменателей, тем самым будет менять положение в пространстве плоскости, определяемой этими уравнениями, что вызовет на черт. 2 изменение положения и направления прямых cd и ed .

Придавая величине C_1 различные значения, будем получать в пространстве (черт. 1) различные плоскости, расположенные параллельно плоскости Q , что обуславливается пропорциональным изменением отрезков на осях (знаменателей в уравнении (11)).

В плоскостной системе (черт. 2) будем получать прямые параллельные cd и ed . Изменение величин p и r повлечет за собой не пропорциональное изменение отрезков на осях (знаменателей в уравнении 11) что даст плоскостям в пространстве различный наклон; на черт. 2, будем иметь различно наклоненные прямые.

В дальнейшем при разборе конкретного примера станет ясным, как отразятся эти изменения на графике черт. 2, сейчас же при условии постоянства величин C_1 , p и r по черт. 2 мы можем для каждой заданной скорости резанья v найти величины s и t , использующие полностью стойкость данного резца, как это и сделано для частного случая (v_1 , s_1 , t_1) на черт. 2.

Если бы мы теперь провели для уравнений мощности станка (12) и (13) рассуждения подобные тем, которые проведены для уравнений (10) и (11), то и результаты получились бы вполне аналогичные. Мы пришли бы к выводу, что пространственную систему можно заменить плоскостной, подобной черт. 2, но здесь в координатах $\lg v$. $\lg s$ была бы нанесена прямая постоянной мощности станка, в координатах

$\lg t \cdot \lg s$ прямая или вернее направление $P = \text{const.}$ ¹⁾ Уравнение первой прямой нетрудно получить, положивши в уравнении (12) $t = t_0 = \text{const.}$

$$\lg v = -l \cdot \lg s + \left[\lg \left(\frac{4500 N_e}{C_2} \right) - m \cdot \lg t_0 \right] \dots (18)$$

Прямая наклонена к оси абсцисс под углом γ , причем

$$\operatorname{tg} \gamma = -l \cdot \frac{\mu_v}{\mu_s} \dots \dots \dots (19)$$

Уравнение второй прямой ($P = \text{const.}$) получим, положив в (12) $v = v_0 = \text{const.}$

$$- \lg t = \frac{l}{m} \cdot \lg s + \frac{1}{m} \cdot \left[\lg v_0 - \lg \left(\frac{4500 N_e}{C_2} \right) \right] \dots (20)$$

Прямая делает с положительным направлением оси абсцисс угол „ δ “ и

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{l}{m} \cdot \frac{\mu_t}{\mu_s} \dots \dots \dots (21)$$

Нанеся эти прямые на черт. 2, получим черт. 3, на котором fg — прямая $N_e = \text{const.}$ и gh — прямая $P = \text{const.}$

Идя параллельно направлению gh , мы будем получать значения s и t , использующие при данной скорости станок мощности N_e .

При построении уравнений (12) и (13) нами приняты были постоянными величины N_e , C_2 , l и m . В действительности же они будут постоянными только в каждом данном случае, изменение же их будет влиять на положение плоскости уравнения (12) в пространстве, а значит и на положение прямых $N_e = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$ Изменение обрабатываемого материала, его качества, углов резца и формы режущей грани, а также наличие и сорт смазочно-охлаждающей жидкости влияют на величину C_2 . Без ущерба для точности можно не принимать во внимание влияние наличия охлаждения, так как по опытам проф. Саввина²⁾ при наличии даже обильного охлаждения обычно употребляющимися в практике средствами, можно ожидать изменение величины C_2 в пределах лишь 1% — 3%.

Изменение обрабатываемого материала влечет за собой также и изменение величин l и m , причем для случая обработки железа и стали мы будем иметь одни значения, для чугуна другие, для бронзы — третьи и т. д.

По уравнению (13) можно заключить, что изменяя значения C_2 и N_e мы будем получать различные плоскости параллельные друг другу, а на черт. 3 ряд параллельных прямых $N_e = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$; изменяя же величины l и m , получим различные плоскости не параллельные друг другу, на черт. 3 не параллельные прямые.

Таким образом, приняв во внимание все сказанное выше, можно заключить, что черт. 3 построен для обработки определенным резцом одного какого-либо обрабатываемого материала на станке данной мощности и при помощи этого чертежа можно решать вопросы, связанные с использованием данных резца и станка.

¹⁾ Это направление мы так назвали потому, что идя по нему мы координатами каждой точки будем иметь такие значения s и t , которые соответствуют использованию станка данной мощности $N_e = \text{const.}$ при $v = \text{const.}$; при этом несомненно наличие условия постоянства давления на резец: $P = \text{const.}$

²⁾ Саввин. Охлаждение резца.

Действительно, если задана скорость резанья v_1 и требуется найти условия (s и t), одновременно использующие при данной скорости резанья и станок, и инструмент, то, на основании предыдущего, прямая ba связывает все величины s и t , использующие резец; прямая $b'a'$ связывает величины s и t , использующие при той же скорости резанья станок заданной мощности, точка же их пересечения, имеющая координатами s_1 и t_1 , удовлетворяет одновременно и тому и другому условию. Прямые „ ba “ и „ $b'a'$ “, параллельные направлениям $v_{u1} = \text{const}$ и $P = \text{const.}$, будут пересекаться под углом x (см. черт. 3), причем

$$x = \beta - \delta \dots \dots \dots (22)$$

и угол x будет иметь конечную величину, отличную от нуля, так как в этом последнем случае (при $x = 0$) необходимо было бы соблюдение равенства

$$\text{tg} \delta = \text{tg} \beta$$

или на основании предыдущего (21) и (17)

$$\frac{l}{m} = \frac{p}{r}$$

По данным подавляющего большинства исследований, $r < p$ и $l < m$, т. е.:

$$\frac{l}{m} < 1;$$

$$\frac{p}{r} > 1;$$

$$\text{и } \frac{l}{m} < \frac{p}{r}.$$

Таким образом, теоретически мы во всех случаях будем иметь точку пересечения направлений $v_{u1} = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$, т. е. при всякой скорости резанья можем найти величины подачи и глубины резанья, а значит и поперечного сечения стружки, одновременно использующие и станок и инструмент.

На основании этого, в противоположность инж. Гипплеру, утверждающему, что при данном инструменте для каждой мощности станка имеется одна лишь скорость резанья, использующая одновременно и станок и резец при одном вполне определенном „характерном“ сечении стружки,—можно высказать положение, что для каждой мощности станка при всякой скорости резанья существует свое сечение стружки, при вполне определенных „характерных“ значениях s и t , одновременно использующее и станок и резец.

Причина разногласия кроется в том, что Гипплер в своих выводах исходит из зависимостей проф. Фридриха, который в противоположность всем остальным исследователям полагает в уравнениях (4) и (6).

$$l = m, \text{ и } p = r,$$

что опровергается и самыми последними исследованиями¹⁾.

¹⁾ Глебов. Процесс резанья как единая эмпирическая ф-ла. 1923 г., стр. 29.

A. Wallisch. Das Gesetz der Schmittgeschwindigkeit beim Drehvorgang. Maschinenbau. 1927 s—937.

Klopstok. Die Untersuchung der Dreharbeit. 1926.

Rapatz und Krekeler. Die Prüfung der Bearbeitbarkeit. Stahl und Eisen. 1928. s—257.

Если бы нам была задана наперед глубина резанья t_2 , то из условия стойкости резца мы по черт. 3 могли бы взять подачу s_2 , из условия же использования станка подачу s_2' , на которой мы и должны были остановиться, как на меньшей и в этом случае резец не был бы использован полностью.

Если в уравнении (18) будем N_e придавать различные значения, то получим уравнения для различных мощностей станка. Построив эти уравнения на черт. 3 получим пучек параллельных прямых, каждая из которых соответствует станку определенной мощности. Если точно также в уравнении (14) величине C_1 будем придавать различные значения, то получим зависимости для стойкости различных резцов (которых обыкновенно должно быть не более 2-х, 3-х типов), при чем не составит затруднения учесть и влияние охлаждения. Нанеся и эти зависимости на черт. 3, получим, схематически представленный на черт. 4, график, который может быть построен для всех наиболее употребительных мощностей станков и различных резцов. Направления $P = \text{const}$ и $v_{\text{ц}} = \text{const}$ при всех этих построениях останутся прежними. График черт. 4 даст возможность разрешать вопросы использования станков различной мощности и различных резцов при обработке какого либо одного материала. Если бы мы захотели взять другой обрабатываемый материал, то это в исходных уравнениях изменило бы величины l , m , r , g , C_1 и C_2 , — на чертеже 4 все без исключения линии получили бы другое местоположение и наклон. Совместить все это в одном графике не представляется возможным, а потому мы вынуждены иметь отдельный график для каждого обрабатываемого материала, что можно достаточно просто сделать, как нами будет указано впоследствии.

В дальнейшем мы разберем несколько конкретных примеров и для того, чтобы придать им более простой вид и удобопонятную форму, возьмем данные Тэйлора для основных зависимостей. Этим мы не хотим сказать, что считаем выводы Тэйлора единственно правильными, но останавливаемся на них лишь как на наиболее общеизвестных и имеющих под собой наиболее солидный фундамент опытного материала.

Тэйлор делит все сорта стали и чугуна на 40 классов, так что каждый последующий класс допускает при обработке типическую скорость резанья на 10% меньшую, чем предыдущий. (Таким образом в основу подразделения положено то свойство, которое в современной немецкой литературе обозначается термином „Bearbeitbarkeit“ — обрабатываемость). Но ввиду того, что подразделение на 40 классов чрезвычайно громоздко и практически не осуществимо, сам же Тэйлор разбил, что можно считать вполне достаточным для практических целей, сталь и чугун на 6 классов:

1. Сталь мягкая — $K_z = 30 - 40 \text{ кг/мм}^2$;
2. Сталь средней твердости — $K_z = 40 - 60 \text{ кг/мм}^2$;
3. Сталь твердая — $K_z = 60 - 80 \text{ кг/мм}^2$;
4. Чугун мягкий;
5. Чугун средней твердости;
6. Чугун твердый.

Значения всех величин в основных зависимостях Тэйлором и даются в предположении означенного деления обрабатываемых материалов.

При работе без охлаждения обдирочным резцом среднего размера ($7/8''$), из „новейшей быстрорежущей“ стали, для полуторачасовой

продолжительности резанья Тэйлор дает следующие значения, полученные им из многочисленных опытов:

Таблице 1.

№№ по пор.	Материал обработки	C_1	P	r	C_2	λ	m
1	Сталь мягкая.	128	0,56	0,42	180	0,93	1,0
2	" средн. твердости	64	"	"	200	"	"
3	" твердая	29	"	"	237	"	"
4	Чугун мягкий	58	0,46	0,29	88	0,75	0,93
5	" средн. тверд.	29	"	"	113	"	"
6	" твердый	17	"	"	135	"	"

В этой таблице величины C_1 нами подсчитаны на основании таблиц практических скоростей резанья Тэйлора¹⁾, остальные все величины имеются в технической литературе. Таким образом по данным Тэйлора будем иметь основные зависимости (4) и (6) в таком виде:

Для чугуна.

$$v_u = \frac{C_1}{s^{0,46} \cdot t^{0,29}};$$

$$N_e = \frac{C_2 \cdot v \cdot s^{0,75} \cdot t^{0,93}}{4500};$$

Для стали:

$$v_u = \frac{C_1}{s^{0,56} \cdot t^{0,42}};$$

$$N_e = \frac{C_2 \cdot v \cdot s^{0,93} \cdot t}{4500}$$

Так как все наши диаграммы состоят исключительно из прямых, то для их построения достаточно знать угол наклона каждой прямой и координаты одной из ее точек, для прямых же $P = \text{const.}$ и $v_u = \text{const.}$ достаточно знать лишь их направление.

Нами приняты для начала координат значения $s_0 = 0,1$ мм/об. $v_0 = 2$ м/мин. и $t_0 = 2$ мм, как минимум встречающийся в практике.

Уравнение прямой стойкости реза в координатах $\lg v \cdot \lg s$ (прямой cd на черт. 3) будет (см. ур. 14):

$$\lg v_u = -0,46 \cdot \lg s + [\lg C_1 - 0,29 \cdot \lg 2];$$

$$\lg v_u = -0,56 \cdot \lg s + [\lg C_1 - 0,42 \cdot \lg 2]. \quad (14')$$

При подстановке вместо C_1 значений из таблицы 1, задаваясь частным значением s , получим вторую координату „ v “ точки прямой стойкости (см. табл. 2).

¹⁾ Тэйлор. Искусство резать металлы. стр. 346, 1909 год.
Тихонов. О коэффициенте резанья. Стр. 28—32.

Таблица 2.

S мм/об (частное значение)	v м е т р о в в м и н у т у					
	Ч у г у н			С т а л ь		
	Мягкий C ₁ = 58	Средний C ₁ = 29	Твердый C ₁ = 17	Мягкая C ₁ = 128	Средняя C ₁ = 64	Твердая C ₁ = 29
1 мм.	47	23,75	13,9	95,5	47,75	21,65

Угол наклона прямой стойкости резца по ур. (15) при равенстве масштабов шкал ($\mu_v = \mu_s$), будет:

для чугуна:

$$\operatorname{tg} \alpha = -0,46; \quad \alpha = 155^\circ$$

для стали:

$$\operatorname{tg} \alpha = -0,56; \quad \alpha = 150^\circ$$

. (15')

Уравнения прямых $N_e = \text{const}$ (прямая fg черт. 3) будут по уравнению (18):

для чугуна:

$$\lg v = -0,75 \cdot \lg s + \left[\lg \left(\frac{4500 N_e}{C_2} \right) - 0,93 \cdot \lg 2 \right]$$

для стали:

$$\lg v = -0,93 \cdot \lg s + \left[\lg \left(\frac{4500 N_e}{C_2} \right) - \lg 2 \right]$$

. (18')

Подставив сюда значения C_2 из таблицы 1 и задаваясь различными N_e , можем вычислить координаты одной из точек прямых (см. табл. 3).

Таблица 3.

мм/об. S	в лошадиных силах N_e	v м е т р о в в м и н у т у					
		Ч у г у н			С т а л ь		
		Мягкий C ₂ = 88	Средний C ₂ = 113	Твердый C ₂ = 135	Мягкая C ₂ = 130	Средняя C ₂ = 200	Твердая C ₂ = 237
5	1	8,01	6,23	5,2	3,81	2,51	2,1
	2	16,02	12,46	10,4	7,62	5,0	4,2
	3	24,03	18,69	15,6	11,4	7,5	6,3
	4	32,04	24,92	20,8	15,2	10,0	8,4
	5	40,05	31,15	26,0	19,0	12,5	10,5
	6	48,06	37,38	31,2	22,8	15,0	12,6
	7	56,07	43,61	36,4	26,7	17,5	14,7
	8	64,08	49,84	41,6	30,4	20,0	16,8
	9	72,09	56,07	46,8	34,2	22,5	17,9
	10	80,1	62,3	52,0	38,1	25,1	21,0

Угол наклона прямых $N_e = \text{const.}$ определяется по уравнению (19)

для чугуна:

$$\text{tg } \gamma = -0,75; \gamma = 143^\circ$$

для стали:

$$\text{tg } \gamma = -0,93; \gamma = 131^\circ$$

. (19')

Прямые $v_u = \text{const.}$ будет иметь угол наклона по уравнению (17) (при чем отношение масштабов шкал нами принято для построения

$$\frac{\mu_t}{\mu_s} = 1,3);$$

для чугуна:

$$\text{tg } \beta = 1,3 \frac{0,46}{0,29} = 2,06; \beta = 64^\circ$$

для стали:

$$\text{tg } \beta = 1,3 \frac{0,56}{0,42} = 1,74; \beta = 60^\circ$$

. (17')

Прямые $P = \text{const.}$ будут иметь угол наклона по уравнению (21)

Для чугуна:

$$\text{tg } \delta = 1,3 \frac{0,75}{0,93} = 1,06; \delta = 46^\circ$$

Для стали

$$\text{tg } \delta = 1,3 \cdot 0,93 = 1,21; \delta = 50^\circ$$

. (21')

По полученным таким путем величинам построен график чертежа 5 для случая обработки чугуна средней твердости. Приведем несколько примеров, характеризующих применимость и методы использования предложенных графиков.

Пусть мы имеем токарный обдирочный станок с трехступенчатым шкивом и перебором. Этот станок имеет следующие числа оборотов и соответствующие им мощности:

Ступень шкива	Число оборотов „п“ шпинделя в минуту		Полезная мощность N_e
	С перебором	Б/перебора	
Большая	$n_1 = 13$	$n_4 = 42$	3,15
Средняя	$n_2 = 18$	$n_5 = 61$	3,6
Малая	$n_3 = 26$	$n_6 = 86$	4,25

Максимальное сечение стружки, допустимое прочностью механизма подачи при обработке чугуна средней твердости $q_{\text{max}} = 15$ мм. (Все эти данные заключаются в паспортной карте станка). Диаграмма²

чисел оборотов и скоростей резанья, заимствованная из паспорта станка, составленного по системе AWF, представлена на черт. 6. На линиях чисел оборотов помечены соответствующие им полезные мощности, при чем не принято во внимание незначительное понижение коэффициента полезного действия при включении перебора и мощность с перебором и без него принята одна и та же.

Пример 1. Положим необходимо обработать чугунный цилиндр диаметром 250 мм., при глубине резанья $t = 10$ мм.

Требуется определить при какой подаче s и с каким числом оборотов n (с какой скоростью резанья) нужно работать для получения максимальной производительности ($ps'_{\max}$).

Решение поставленной задачи возможно путем попыток, при чем будем идти от наименьшего числа оборотов к наибольшему, следя все время чтобы сечение стружки не превзошло предельное, допустимое прочностью механизма подачи¹⁾.

В нашем случае предельное сечение стружки 15 мм.^2 , что при заданной глубине $t = 10$ мм. даст максимальную величину подачи $S_{\max} = 1,5 \text{ мм/об.}$

Как указывалось ранее, исходным пунктом при решении поставленной задачи является скорость резанья, как величина вполне определенная при данном диаметре для каждого числа оборотов. Начиная с наименьшего числа оборотов $n_1 = 13$ по черт. 6 находим, что при заданном диаметре 250 мм. будем иметь скорость резанья $v = 10 \text{ м/мин}$. По черт. 5 идя горизонтально от $v = 10$ на шкале скоростей до прямой стойкости резца (по направлению ab'), далее вертикально вниз до шкалы подач ($b'c'$), затем по направлению $c'd'$ параллельному $v_{\text{ц}} = \text{const}$ до пересечения в точке d' с горизонталью, проведенной из заданной глубины резанья ($t = 10$), и отсюда вертикально до шкалы подач, — получим допустимую резцом подачу при заданном значении v и t . Подача эта будет $s' = 2,4 \text{ мм/об.}$

Таким же путем от $v = 10$ на шкале скоростей горизонтально до прямой $N_e = \text{const.}$, соответствующей мощности станка при данном числе оборотов. В этом случае мы должны дойти до прямой $N_e = 3,15 \text{ HP}$, но так как на диаграмме такой не имеется, а имеются 3 и 4 HP, то мы интерполируя доходим до точки „b“, которая приблизительно ей соответствует. Отсюда идем вертикально вниз (bc) до шкалы подач, затем, по направлению $P = \text{const.}$ (cd) до пересечения в точке d с горизонталью $t = 10$ и отсюда вертикально вверх до шкалы подач, где и получим допустимую мощностью станка подачу $s = 1,7 \text{ мм/об.}$ Таким образом при этом числе оборотов из условия стойки резца можем взять $s' = 2,4 \text{ мм/об.}$ из условия использования мощности станка $s = 1,7 \text{ мм/об.}$ Следовало бы остановиться на этой последней и резец при этом был бы несколько недогружен, но ввиду того, что механизм подачи допускает лишь $s = 1,5 \text{ мм/об.}$, придется

¹⁾ Собственно говоря вопрос о нагрузке механизма подачи станка, в зависимости от условий резанья нельзя считать достаточно выясненным и со времени опытов Никольсона и до наших дней мы имеем самые разноречивые данные. Последние исследования, безусловно заслуживающие внимания (Klopstok. Die Untersuchung der Dreharbeit. 1926), дают совершенно новое освещение данному вопросу, еще более расширяющее возможности использования станка, но так как все же мы не имеем пока обоснованных зависимостей, которым мы могли бы дать простое графическое выражение, то нам придется считать, что прочность механизма подачи характеризуется определенным сечением стружки, подсчитанным по одному из указанных выше источников, которое при заданной глубине резанья дает предельную величину подачи $S_{\max}$.

этим ограничиться и станок и резец не будут при этом использованы. Величина $p_1 \cdot s$, характеризующая производительность данной комбинации будет

$p_1 \cdot s = 13 \cdot 1,5 = 19,5$;
(за характеристику производительности можно принять также и величину $v_1 \cdot s = 10 \cdot 1,5 = 15$).

Для числа оборотов $p_2 = 18$ скорость резанья по диаграмме черт. 6 будет $v = 14$ м/мин. и по черт. 5 идя путем $ef'g'h'$ найдем подачу, использующую резец $s'' = 1,1$ мм/об., идя же путем $efgh$ подачу $s_2 = 1,3$ мм/об., использующую станок мощности 3,6 НР, соответствующей взятому числу оборотов. И та и другая величина подач менее предельной, осуществить мы можем $s'' = 1,1$ мм/об., при этом мощность станка остается немного не использованной и величина, характеризующая производительность данной комбинации будет

$$p_2 s = 18 \cdot 1,1 = 19,8$$

т. е. больше (правда очень немного) чем в первом случае.

Проделав то же самое для числа оборотов $p_3 = 26$, получим для использования резца подачу $s''' = 0,53$ мм/об., для использования станка $s_3 = 1$ мм/об., осуществить можем меньшую и характеристика производительности будет

$$p_3 s = 26 \cdot 0,53 = 13,8$$

т. е. меньше чем во втором случае.

Проделывать то же самое для остальных чисел оборотов нет смысла, так как, если производительность уменьшается при переходе с числа оборотов $p_2 = 18$ к $p_3 = 26$, то и при дальнейших попытках использовать более высокие числа оборотов p_4 , p_5 и p_6 , мы будем иметь все понижающуюся производительность, в чем нетрудно убедиться, и следовательно можем заключить, что наивыгоднейшей комбинацией будет $p_2 = 18$ и $s = 1,1$ мм/об.

Пример 2. Если бы глубина резанья не была задана и требовалось бы при тех же скоростях резанья (10, 14 и 20 м/мин.) достигнуть одновременного использования и станка и инструмента то мы искали бы точек пересечения прямых cd и $c'd'$; gh и $g'h'$; lm и $l'm'$. Координаты этих точек дали бы нам искомые величины s и t , причем производительность каждой комбинации характеризовалась бы величиной $qv = s \cdot t \cdot v$. Одна из таких точек имеется на черт. 5 в пересечении прямых cd и $c'd'$ (точка 0), другие же на продолжении вышеозначенных прямых. Выше нами было показано, что такая точка всегда имеется, сейчас мы только заметим, что часто она будет лежать вне пределов чертежа, т. е. координатами ее будут величины s и t не употребляющиеся в практике, что однако не меняет сущность доказанного. Отсюда мы видим, что одним и тем же резцом можно использовать различной мощности станки, что мы имеем и в данном случае, подбирая соответствующие величины подачи и глубины резанья, и наоборот один и тот же станок может быть использован различными резцами.

На черт. 7 нанесена диаграмма для случая обработки стали средней твердости различными резцами, причем верхняя прямая соответствует резцу из быстро-режущей стали, две нижние из самозакаливающейся. Для резца из самозакаливающейся стали нанесены две прямых и верхняя из них соответствует случаю работы данного резца с охлаждением, для чего мы воспользовались данными, приведенными Глебовым ¹⁾.

¹⁾ Глебов. Искусство наивыгоднейшей обработки металлов. 1927 г., стр. 68.

При применении обильного охлаждения практически осуществимое повышение скорости резанья будет:

При обработке.	Средней и мягкой стали.	Твердой стали и чугуна.
Углеродистыми резцами	15%	5%
Самозакаливающимися	20%	7%
Быстро-режущими	25%	8%
Ванадиевыми	30%	10%

Имея такой график, в котором нанесены зависимости стойкости нескольких различных резцов, мы можем уже решать вопрос о выборе того или иного резца для выполнения данной работы на станке определенной мощности.

Пример 3. Пусть мы имеем станок с коробкой скоростей, т.е. с постоянной скоростью приводного ремня, а значит и с постоянной для всех чисел оборотов мощностью (если пренебречь незначительным изменением коэффициента полезного действия для различных комбинаций передаточных шестерен в коробке). При заданном диаметре обработки каждое число оборотов даст определенную скорость. Пусть одна из этих скоростей будет $v = 16$ м/мин.; заданная глубина резанья $t = 9$ мм.; мощность станка $N_e = 2,5$ HP.

Идя по пути $abcde$, найдем, что при использовании с охлаждением резца из самозакаливающейся стали при заданной глубине резанья можно осуществить подачу $s = 0,37$ мм./об. Идя по пути $ab'c'de$ найдем для использования станка указанной мощности ту же самую величину $s = 0,37$ мм./об. Таким образом в этом случае имеется одновременное использование и резца, и станка.

Взяв резец из быстрорежущей стали и идя по $ab''c'd'e''$, мы найдем, что этот резец может быть использован лишь при подаче $s'' = 2,3$ мм/об, что много больше величины, допускаемой мощностью станка. С другой стороны, если бы мы взяли самозакаливающийся резец без охлаждения, то он мог бы позволить осуществить подачу $s_0 = 0,27$ мм/об., что мы нашли бы идя по пути $ab_0c_0d_0e_0$, и этой величины недостаточно было бы для использования нашего станка.

Нетрудно заключить, что при данных условиях работы (v, t) нашему станку наиболее соответствует резец из самозакаливающейся стали при условии охлаждения его во время работы. Но отсюда же видно, что взятая нами мощность является при заданных условиях предельной, которую еще может использовать упомянутый резец, и, если бы мы взяли станок мощности немного большей, то для использования его следовало бы воспользоваться уже резцом из быстрорежущей стали.

Наконец при помощи приведенных графиков чрезвычайно просто решается вопрос о выборе или о проектировании станка для определенной работы.

Пример 4. Положим, —требуется обтачивать стальные валы диаметром 110 мм., длиной 900 мм.; с глубиной резанья $t = 9$ мм. При этом условием устойчивости обрабатываемого предмета (отсутствие

дрожания) устанавливается максимальное сечение стружки $q=9 \text{ мм.}^2$ ¹⁾, что при заданной глубине резанья даст предельную величину подачи $s_{\max}=1 \text{ мм/об.}$

Необходимо найти требуемую мощность станка и число оборотов, отвечающие одновременному использованию и станка и инструмента при максимальных возможных величинах $t=9 \text{ мм.}$ и $s=1 \text{ мм/об.}$ Как мы сейчас увидим, результаты решения будут различны в зависимости от того, какой резец мы применим в работе.

Так как мы поставили условием одновременное использование и станка и инструмента при $s=1 \text{ мм/об.}$ и $t=9 \text{ мм.}$, то понятно, что направления $v_{\text{ц}} = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$ должны пересекаться в точке, имеющей координатами вышеозначенные величины. На черт. 7 этому соответствует точка f . Идя от нее к шкале подач по направлению $v_{\text{ц}} = \text{const}$ до точки g , далее вертикально до пересечения в точке h с прямой стойкости самозакаляющегося резца и затем горизонтально влево до шкалы скоростей, мы получим скорость резанья $v=7,4 \text{ м/мин.}$, которая в совокупности с упомянутыми выше величинами s и t использует полностью резец. Эта же скорость должна использовать и станок, мощность которого мы получим, если из той же точки f , пойдём по направлению $P = \text{const}$ к шкале подач до точки g' и затем вертикально до пересечения с полученной скоростью в точке h' , которая соответствует мощности станка $N_e = 3 \text{ НР.}$

Зная же скорость резанья и диаметр обработки, не составит затруднений найти требуемое число оборотов.

Если бы мы задались случаем работы резца из быстро-режущей стали, то из точки g вертикаль нужно было бы провести до точки k , которая нам определила бы скорость резанья $v_1=25 \text{ м/мин.}$, вертикаль же из точки g' в пересечении с найденной скоростью $v_1=25$ в точке k' , определит нам требуемую в данном случае мощность станка $N_e = 10 \text{ НР.}$

Найденная скорость в совокупности с заданным диаметром определит и требуемое число оборотов. Здесь мы между прочим видим подтверждение давно установленного положения, что более высоко-сортный резец требует для своего использования более мощный станок.

Ограничившись приведенными примерами, в заключение скажем о способе осуществления прибора, использующего наши графики. На листе прозрачного целуллоида наносятся логарифмические сетки и шкалы v , s и t , соответствующие полям ABCD и EFGH черт. 7. Целуллоид наклеивается на картон таким образом, чтобы под поле ABCD в направлении от BC к AD, а под поле EFGH от GH к EF можно было вложить, точно вырезанные по ширине полей, листы картона. На картонных листах, вкладываемых под поле ABCD, наносятся только прямые $N_e = \text{const.}$ и прямые стойкости различных резцов таким образом, чтобы вложенные под логарифмическую сетку, каждый лист давал зависимость между v и s для одного обрабатываемого материала, (как напр. на черт. 5 и черт. 7). Так что число листов, вкладываемых под поле ABCD, будет равно числу обрабатываемых материалов, в нашем случае три для стали и три для чугуна. Для того, чтобы можно было судить о правильности вложения, на листах наносятся две или три ориентировочные линии, соответствующие

²⁶⁾ Хегнер. Стр. 246, фиг. 92 и другие.

щие каким-либо значениям v и s , кроме того необходимо отметить, какому обрабатываемому материалу данный лист соответствует.

Под поле EFGH вкладываются одновременно два листа целуллоида точно вырезанные по размеру $EF = GH$. На одном из них наносятся одно или несколько направлений $v_{ц} = \text{const.}$, на другом $P = \text{const.}$, причем так, чтобы передвигая эти листы в направлении $FE \rightarrow GH$, можно было начало прямых $v_{ц} = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$ присоединять к какой угодно точке шкалы подач. На листе $P = \text{const.}$ полезно написать „Станок“, на листе с $v_{ц} = \text{const.}$ „Резец“. За применением целуллоида можно под поле EFGH вложить два листа картона, края которых срезаны у одного в направлении $v_{ц} = \text{const.}$, у другого в направлении $P = \text{const.}$ Таких пар вкладных листов под поле EFGH будет столько, сколько имеется различных направлений. $v_{ц} = \text{const.}$ и $P = \text{const.}$ В нашем случае одна пара будет для стали, другая для чугуна, сообразно с чем необходимо сделать на них соответствующие отметки.

Способ пользования ясен сам собой. Так в примере 3-м (см. черт. 7) под поле ABCD вкладывается лист, соответствующий стали средней твердости. Идем от точки „а“ мысленно до „b“ затем до с, потом в поле EFGH двигаем вкладыш с надписью „Резец“ пока одна из прямых $v_{ц} = \text{const.}$, нанесенных на нем, не присоединится своим началом к точке с. Эта прямая укажет нам положение точки d, а значит и величины s и t ; и так далее.

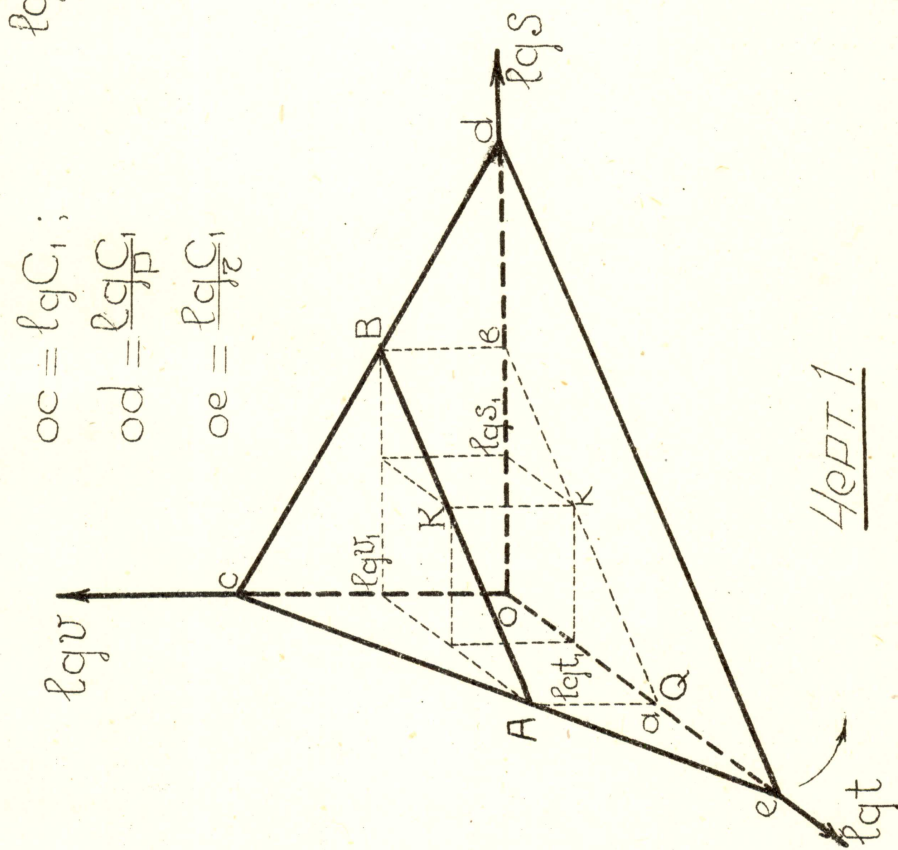
Размеры графиков могут быть сделаны более чем приведенные нами, что способствует уточнению работы. Полезно рядом с полем ABCD нанести график числа оборотов, подобный черт. 6, который своей осью v прилегал бы к оси v черт. 7, причем масштабы шкал скорости должны быть одинаковы. Если же приходится пользоваться AWF — паспортными картами, то надобность графика чисел оборотов отпадает, так как таковой имеется на самой карте станка.

В заключение считаем необходимым выразить признательность проф. Т. И. Тихонову за просмотр настоящей статьи и содействие при ее напечатании.

Томск. v—1928 г.

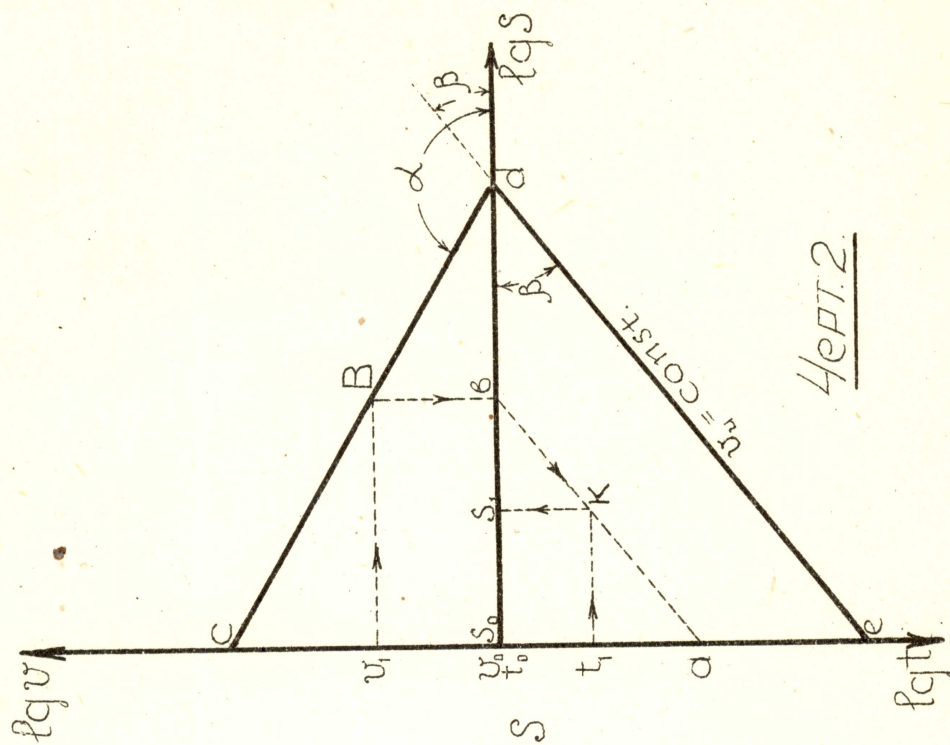
Лаборатория Механической Технологии

Металлов С. Т. И.

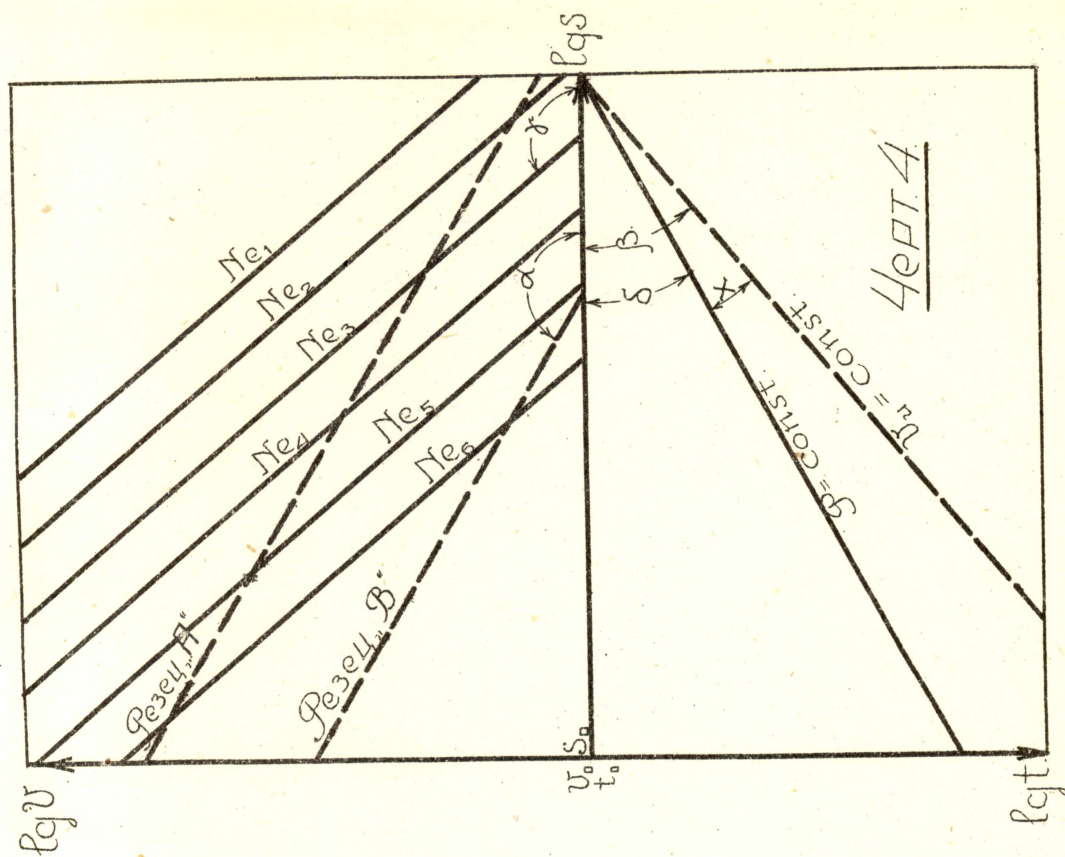
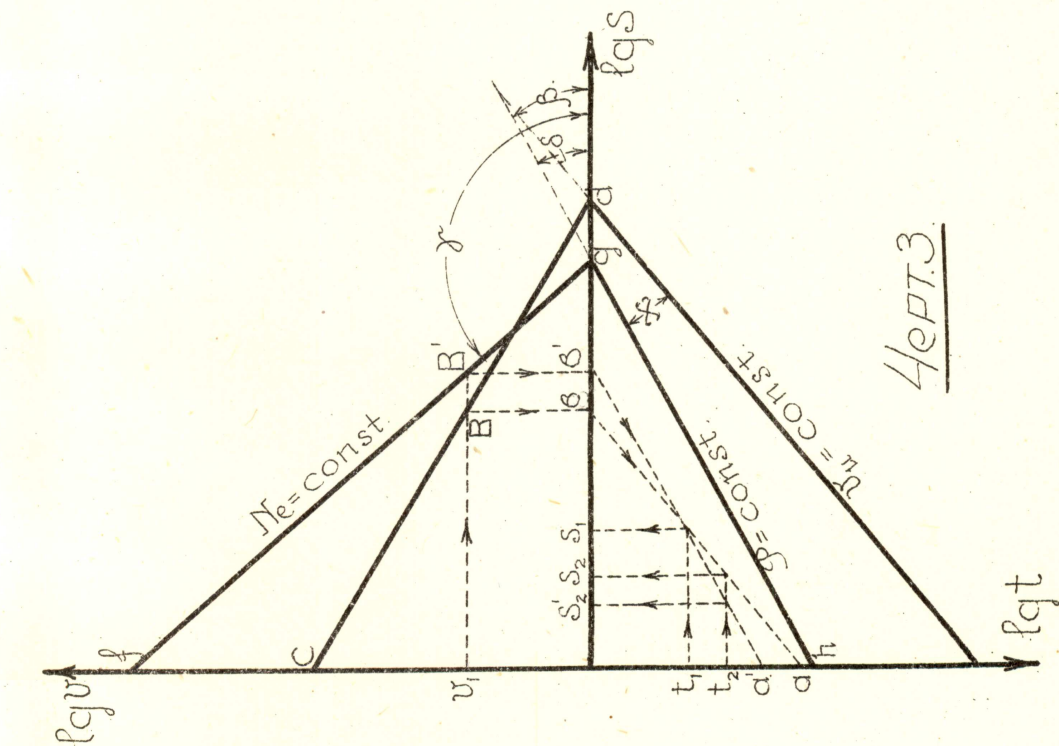


$$\begin{aligned} oc &= l_{qC_1}; \\ od &= l_{qC_2}; \\ oe &= l_{qC_3}; \end{aligned}$$

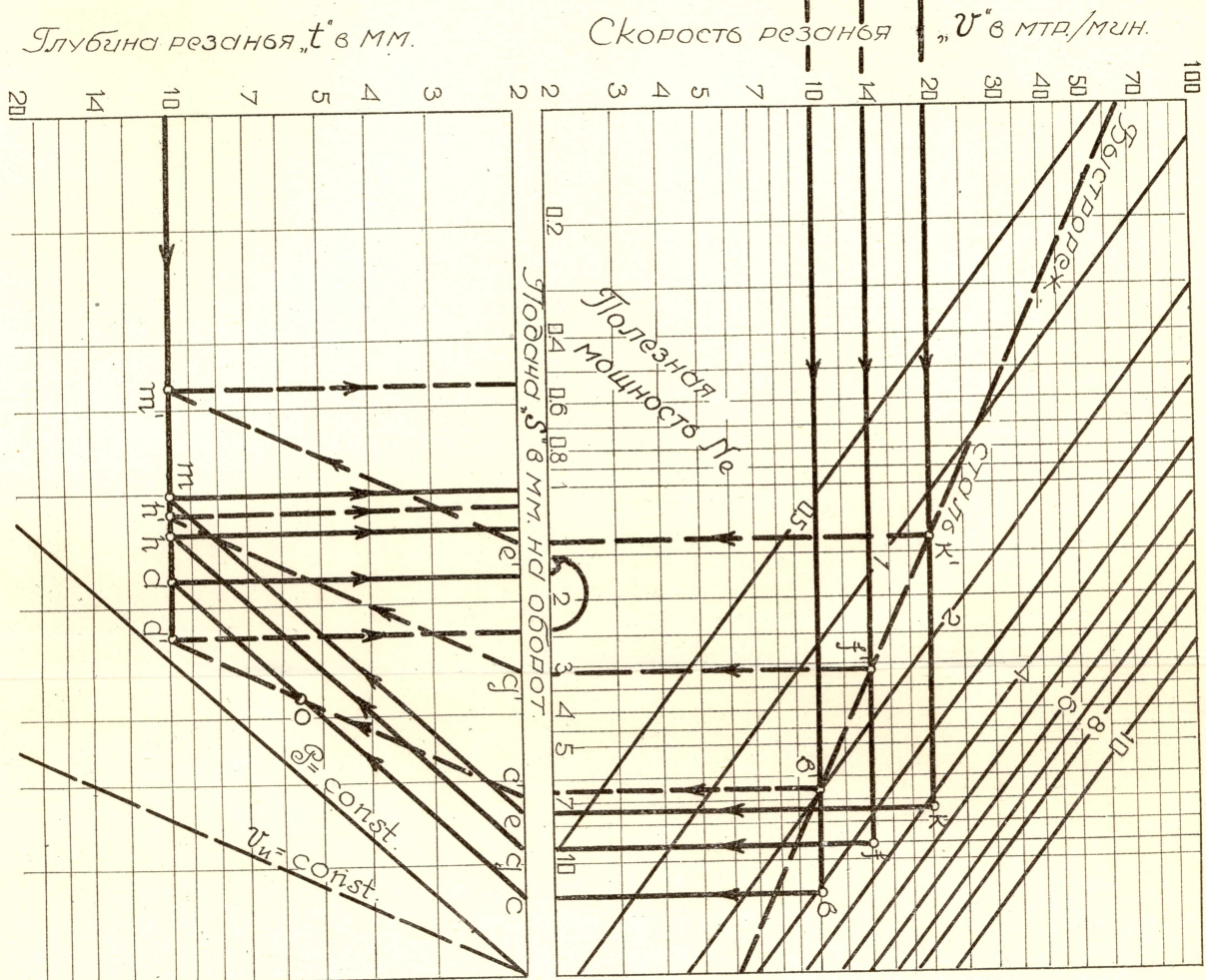
Черт. 1.



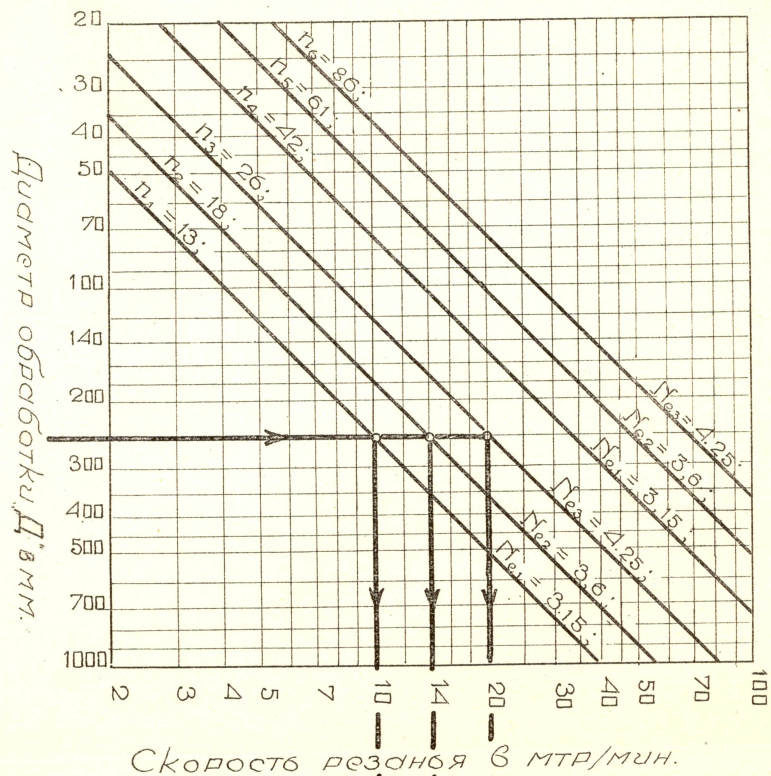
Черт. 2.



Цугун средн. тверд.

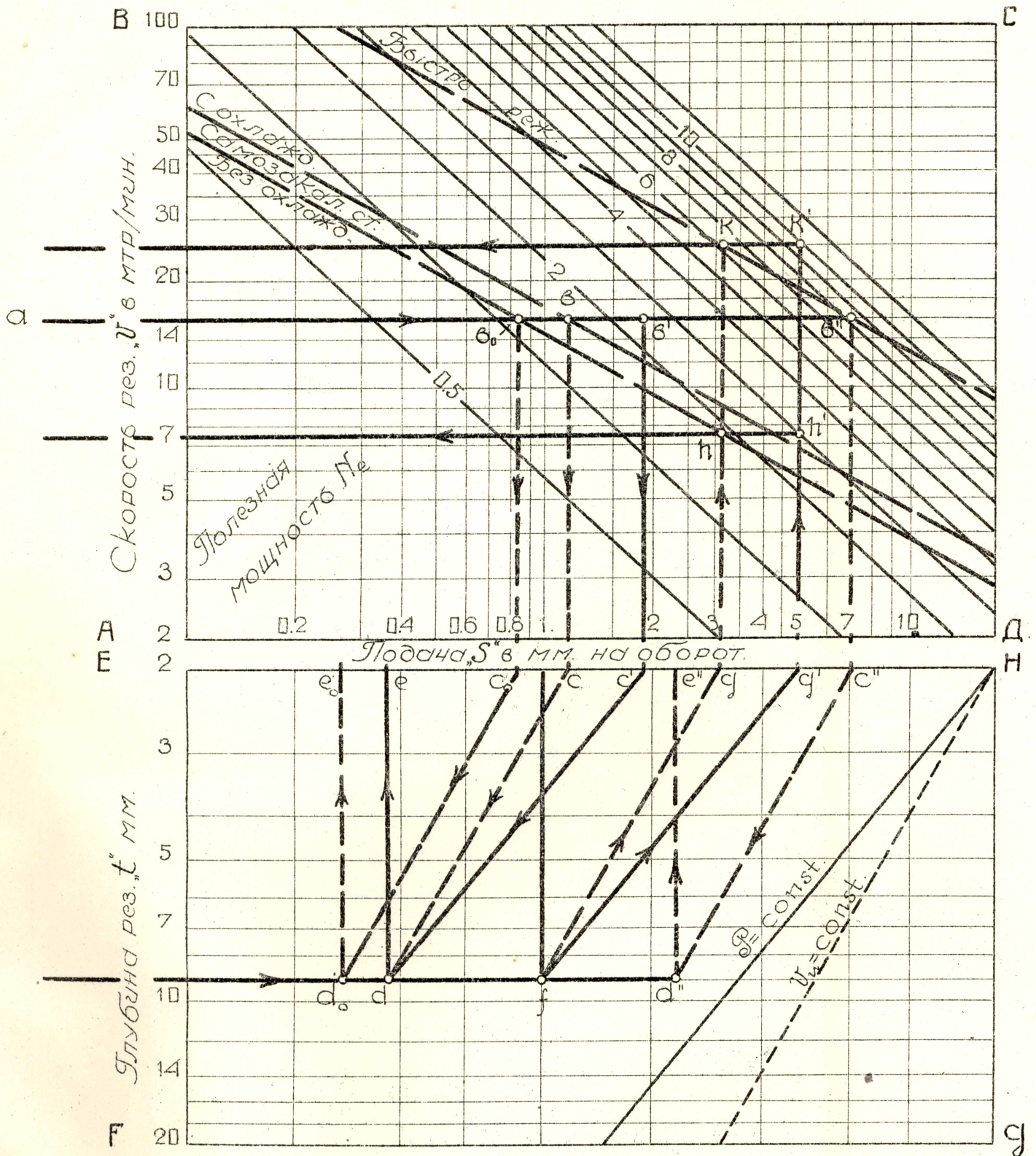


Черт. 5.



Черт. 6.

Сталь средн. тверд.



Черт. 7.