

Доцент А. М. РОЗЕНБЕРГ.

## К ВОПРОСУ ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ.

Вопросы рациональной эксплуатации металлообрабатывающих станков в настоящее время в нашей машиностроительной промышленности приобретают особо актуальное значение в связи с ведущей ролью машиностроения во второй пятилетке. Поставленная перед нами задача освоения современного оборудования не может мыслиться лишь как изучение оборудования с конструктивно-кинематической стороны. Задача освоения еще не разрешена полностью, если станок работает и выпускает удовлетворительную с точки зрения технического контроля продукцию. Эту задачу можно считать полностью разрешенной лишь в том случае, если мы умеем не только пустить станок и снять с него готовое изделие, но и использовать его наивыгоднейшим образом, получить от него максимальную производительность без ущерба для качества продукции, с одной стороны, и без перегрузки для станка и работающего на нем инструмента, с другой.

Наука о резании металлов доказывает, что даже при полной нагрузке металлообрабатывающего станка, этот последний может дать различную производительность в зависимости от заданного ему режима работы. Выбор рационального режима работы металлообрабатывающих станков является слабым местом как наших предприятий, так и технической литературы. Авторы трудов по теории резания металлов, подчас чрезвычайно подробно разбирая процессы резания, почти ничего или очень мало говорят о практическом применении этой науки к вопросам эксплуатации станков, что в конечном результате и должно являться целью изучения науки о резании металлов.

Вопросы эксплуатации станков не так просты, чтобы о них умалчивать, и целью настоящей статьи является хотя бы очень немного восполнить пробел в технической литературе по разделу эксплуатации станков. В статье нами предлагается метод выбора наивыгоднейших условий работы на сверлильных станках постоянной мощности, т. е. имеющих коробку скоростей или индивидуальный мотор. Этим не исчерпываются все сверлильные станки, но в современном производстве указанная группа имеет чрезвычайно широкое распространение.

### Общие положения.

Производительность работы на сверлильном станке характеризуется произведением  $ns$ ,

где  $n$  — число оборотов сверла в минуту

$s$  — подача в миллиметрах за 1 оборот сверла.



Нетрудно себе представить, что величина  $ns$  является глубиной отверстия, высверливаемого в минуту.

Сравнивать производительность двух процессов сверления можно также по величине  $vs$ , где  $v$  — скорость резанья в метрах в минуту. Так как, при заданном диаметре сверления  $d$  в миллиметрах,

$$v = \frac{\pi dn}{1000},$$

то  $vs$  будет пропорционально  $ns$ .

При работе на сверлильном станке, имея определенный обрабатываемый материал и заданный диаметр отверстия, приходится выбирать  $n$  число оборотов сверла и  $s$  подачу его так, чтобы при нормальном использовании станка и инструмента произведение  $ns$  или  $vs$  было возможно большим, что будет характеризовать максимальную возможную производительность процесса, т. е. минимальную затрату времени на производство заданной операции.

Величину  $n$  приходится выбирать, исходя из допустимой скоростью резанья при обработке заданного материала, ориентируясь при этом на имеющийся у станка ряд чисел оборотов

$$n_1 — n_z.$$

Вопросы стойкости сверла являются в настоящее время еще недостаточно изученной областью теории резанья металлов, и, несмотря на целый ряд проведенных обширных экспериментальных работ, мы не имеем еще достаточно надежных зависимостей, увязывающих допустимую скорость резанья  $v$  с подачей  $s$  и диаметром сверла  $d$ , хотя таковая зависимость [ $v = F(s, d)$ ], судя по характеру процесса, несомненно должна существовать. Имеющиеся в литературе зависимости такого порядка 1) являются недостаточно проверенными и рекомендовать пользоваться ими нельзя.

Учтя это обстоятельство, приходится при выборе  $n$  пользоваться таблицами рекомендуемых скоростей резанья  $v$  из справочников или проспектов заводов, выпускающих сверла. Таким образом, взяв из таблиц  $v_i$ , мы можем определить  $n_i = \frac{1000 v_i}{\pi d}$ , выше которого

мы не можем брать при сверлении без ущерба для стойкости сверла. Все числа оборотов  $n < n_i$  будут являться допустимыми в работе.

Выбор подачи  $s$  является более сложным. Здесь необходимо исходить из следующих зависимостей теории сверления металлов:

$$\begin{aligned} M &= k_1 \cdot d^{m_1} \cdot s^{l_1} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot 1 \\ P &= k_2 \cdot d^{m_2} \cdot s^{l_2} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot 3 \\ S &= k_3 \cdot d^{m_3} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \cdot 3 \end{aligned}$$

Эти зависимости получены в результате всех исследований последних двух десятилетий, и общий вид их можно считать вполне установившимся.



Уравнение 1 является зависимостью крутящего момента на оси сверла от выбранной подачи, диаметра сверла, профиля его и от сорта обрабатываемого материала.

Здесь:

$s$  — подача в  $мм/об$ ,

$d$  — диаметр сверла в  $мм$

$M$  — крутящий момент на сверле,

$K_1$  — фактор обрабатываемого материала и профиля сверла (постоянный коэффициент при обработке постоянного обрабатываемого материала сверлом постоянного профиля, напр. спиральным),

$m_1, l_1$  — показатели степени, зависящие от сорта обрабатываемого материала.

Ур-ние 2 является зависимостью осевого давления (силы подачи) от тех же факторов.

Здесь:

$P$  — сила по оси сверла,

$K_2$  — подобно  $K_1$  в ур-нии 1,

$m_2, l_2$  — подобны  $m_1, l_1$  в ур-нии 1.

Уравнение 3 является зависимостью максимальной подачи, допускаемой прочностью сверла. от диаметра сверла, качества обрабатываемого материала и качества сверла.

Здесь:

$K_3$  — фактор обрабатываемого материала и материала сверла,

$m_3$  — дробный показатель степени.

В этих зависимостях, полученных экспериментальным путем по большинству проведенных к настоящему времени опытов:

$$2 \geq m_1 > 1;$$

$$1 > l_1 > 0;$$

$$1 \geq m_2 > 0;$$

$$1 > l_2 > 0;$$

$$1 > m_3 > 0.$$

Так как мы в дальнейшем будем говорить об использовании станка постоянной мощности, то введем выражение для эффективной мощности сверления, которое можно получить следующим образом:

$$N_e = \frac{M_n}{716,2};$$

$$M = k_1 \cdot d^{m_1} S^{l_1};$$

$$n = \frac{1000 v}{\pi d}$$

Отсюда:

$$N_e = \frac{k_1 \cdot d^{m_1} \cdot S^{l_1} \cdot 1000 v}{716,2 \cdot \pi \cdot d}$$



Или окончательно:

$$N_e = 0,445 \cdot k_1 \cdot d^{m_1-1} \cdot S^I \cdot v \dots \dots \dots 4$$

Уравнение 4 дает зависимость мощности на сверле от всех факторов резанья.

При выборе допустимой подачи необходимо принимать во внимание приведенные четыре зависимости, при чем уравнение 1 даст

$$S^I = \left[ \frac{M}{k_1 \cdot d^{m_1}} \right]^{\frac{1}{l_1}} \dots \dots \dots 5$$

Ур-ние 5 дает подачу, допустимую максимальным крутящим моментом, который может передать привод вращения шпинделя, т. е. найденную из условия прочности наиболее нагруженного звена привода шпинделя.

Здесь  $M$  — величина крутящего момента, который мы можем осуществить из условия прочности механизма вращения шпинделя. Таким образом, для определения  $S^I$  необходимо знать, какой максимальный момент можно осуществить на шпинделе станка, выбранном для работы, но не из условия передаваемой на шпиндель мощности, а из условия прочности механизма вращения шпинделя. Величина  $M$  в большинстве случаев должна определяться из условия прочности шестерни, сидящей на шпинделе.

Из ур-ния 2 получим:

$$S^{II} = \left[ \frac{P}{k_2 \cdot d^{m_2}} \right]^{\frac{1}{l_2}} \dots \dots \dots 6$$

Это будет подача, допустимая прочностью механизма подачи станка, и для определения ее в приложении к выбранному для работы станку необходимо знать величину  $P$ , которая будет являться максимальной силой подачи, осуществляемой на данном станке.  $P$  подсчитывается по прочности реечной шестерни.

Из ур-ния 3 получим:

$$S^{III} = k_3 \cdot d^{m_3} \dots \dots \dots 7$$

Это будет подача, допустимая прочностью сверла.

Наконец, из ур-ния 4 получим

$$S^{IV} = \left[ \frac{N_e}{0,445 \cdot k_1 \cdot d^{m_1-1} \cdot v} \right]^{\frac{1}{l_1}} \dots \dots \dots 8$$

Это будет подача, допустимая мощностью станка. Для определения ее нам необходимо знать мощность на шпинделе  $N_e$  и выбранную нами скорость резанья  $v$ .

Имея величины  $S^I$ ,  $S^{II}$ ,  $S^{III}$ ,  $S^{IV}$ , мы можем осуществить из условия нормальной работы станка и инструмента лишь наименьшую из них, и произведение ее на выбранную скорость  $v$  или на выбран-



ное число оборотов даст характеристику производительности данной операции  $sv$  или  $sn$ .

Из приведенных зависимостей (5, 6, 7, 8), мы видим, что при заданном материале обработки, диаметре и профиле сверла и выбранном станке,  $s^I$ ,  $s^{II}$ ,  $s^{III}$  будут величинами постоянными, величина же  $s^{IV}$  при  $N_e = \text{const.}$  будет зависеть от выбранной скорости резанья и будет тем больше, чем меньше  $v$ , т. к. в ур-нии 8.

$$\frac{1}{l_1} > 0.$$

Отсюда мы можем заключить, что, если при выборе подачи,  $s^{IV}$  окажется меньше, чем  $s^I$ ,  $s^{II}$  или  $s^{III}$ , то мы можем, уменьшив  $n$  и  $v$ , увеличить тем самым выбранную подачу и получить иную производительность  $sn$  или  $sv$ .

Из ур-ния 8 можно сделать вывод, что из условия использования мощности станка необходимо брать меньшую скорость  $v$  и большую подачу  $s$ ; при этом мы будем получать более высокую производительность. Действительно, в ур-нии 8 показатель степени

$$\frac{1}{l_1} > 1, \text{ так как } 1 > l_1 > 0. \text{ Из этого ур-ния получим:}$$

$$(S^{IV} \cdot v) = \left[ \frac{N_e}{0,445 \cdot k_1 \cdot d^{m_1-1}} \right]^{\frac{1}{l_1}} \cdot \frac{1}{v^{\frac{1}{l_1}-1}}$$

Отсюда видно, что с уменьшением  $v$  увеличивается правая (а значит и левая) часть уравнения, так как  $\left( \frac{1}{l_1} - 1 \right) > 0$ . Левая же часть уравнения представляет собой характеристику производительности, которая будет расти с уменьшением скорости резанья, хотя в левой части уравнения при этом один из сомножителей ( $v$ ) и будет уменьшаться.

Такой рост производительности будет возможно использовать лишь до тех пор, пока  $s^{IV}$ , растущее с уменьшением  $v$ , не окажется равной  $s^I$  или  $s^{II}$  или  $s^{III}$ . Дальнейшее уменьшение  $v$  будет нецелесообразно, так как  $s^I$ ,  $s^{II}$ ,  $s^{III}$ , ограничивающие в этом случае величину подачи, являются величинами, не зависящими от  $v$ .

Резюмируя можем сказать, что для выбора условий резанья мы должны поступить следующим образом. Выбрав из таблиц скорость резанья  $v$ , определяем из уравнений 5, 6, 7, 8 величину  $s$ . Если  $s^{IV}$  окажется больше, или равно  $s^I$  или  $s^{II}$  или  $s^{III}$ , то выбранная комбинация будет наивыгоднейшей. Если же  $s^{IV}$  окажется меньшим, то, уменьшая  $v$  путем перехода на меньшие  $n$ , доводим по ур-нию 8  $s^{IV}$  до величины одной из  $s^I$ ,  $s^{II}$ ,  $s^{III}$ . Эта комбинация и будет наивыгоднейшей.

Мы видим, что для выбора условий резанья нужно каждый раз разрешить не менее четырех уравнений, а потому проще, удобнее



и много быстрее пользоваться при этом графическими методами, употребляя для этого специальные номограммы или пользуясь заранее составленными для каждого станка числовыми таблицами, что, как мы покажем в дальнейшем, делает работу по выбору условий резанья исключительно простой и доступной просто грамотному человеку.

### Номограмма для выбора условий резанья на сверлильном станке постоянной мощности.

Для составления предлагаемой нами номограммы мы должны будем использовать все те аналитические зависимости, которыми приходится пользоваться при выборе условий резанья, т. е. при выборе  $n$  и  $s$ . Для того, чтобы эти зависимости, имеющие довольно сложный вид, получили наиболее простое графическое выражение, номограмму будем строить в логарифмических координатах. Прежде всего, для разрешения уравнения  $v = \frac{\pi d n}{1000}$  строим диаграмму чисел оборотов; диаграмма имеется в паспортах станков, и о построении ее говорить не будем (см. рис. 1).

Затем вправо от этой диаграммы в координатных осях  $dv$  построим уравнение постоянной мощности станка:

$$N_e = 0,445 k_1 \cdot d^{m_1-1} \cdot S^l \cdot v \dots \dots \dots 4$$

Перепишем ур-ние 4 следующим образом

$$v = \frac{N_e}{0,445 k_1 \cdot S^l} \cdot d^{1-m_1} \dots \dots \dots 9$$

Мы видим, что в логарифмических координатах  $dv$  будем иметь прямолинейное выражение этой зависимости.

Если мы для каждого обрабатываемого материала, характеризуемого в ур-нии 9 величиной  $K_1$ , будем строить отдельную номограмму, то придавая  $s$  различные имеющиеся в станке значения, будем иметь на номограмме для каждой подачи прямую  $s = \text{const}$ , которых будет столько, сколько подач имеет станок.

Все прямые  $s = \text{const}$  будут наклонены к положительному направлению оси абсцисс ( $d$ ) под углом  $\alpha_1$ , причем

$$\text{tg } \alpha_1 = 1 - m_1$$

Для построения этих прямых, зная угол  $\alpha_1$ , необходимо и достаточно знать координаты одной из точек каждой прямой. Для этого, задаваясь в ур-нии 9 каким либо значением  $d$  и подставив вместо  $N_e$ ,  $K_1$ ,  $m_1$ ,  $l$ ,  $s$  известные нам величины, получим значение  $v$ , которое в совокупности с взятым  $d$  даст возможность определить положение одной из точек прямой  $s = \text{const}$ . Зная точку и угол, имеем возможность построить прямую.

Нанесенные таким образом прямые  $s = \text{const}$  (см. рис. 1), которые наносятся только для имеющихся в станке значений  $s$ , дают



связь между  $v$ ,  $d$  и  $s$  из условия использования мощности станка, т. е. мы имеем возможность определить при выбранном значении  $v$  и заданном  $d$  то значение подачи  $s$  (из имеющихся в станке), которое наиболее полно использует мощность нашего станка.

По ур-нию 9 можно сказать, что линии  $s$  располагаются на номограмме тем выше, чем выше мощность станка  $N_e$ , и тем выше, чем ниже значение  $K_1$ , т. е. чем меньше сопротивления сверлу оказывает обрабатываемый материал.

На этой же номограмме строим уравнение 1, зная для нашего станка  $M_{max}$  — максимальный передаваемый приводом шпинделя крутящий момент из условия прочности привода

$$M_{max} = K_1 \cdot d^{m_1} \cdot s^{l_1} \dots \dots \dots 1$$

Это ур-ние даст на номограмме прямую  $M_{max} = \text{const}$ .

Построение этой прямой можно провести двояким путем.

Во-первых, можно, переписав ур-ние 1 в виде

$$d = \left[ \frac{M_{max}}{k_1 \cdot S^{l_1}} \right]^{\frac{1}{m_1}}$$

подставить в него вместо  $s$  два каких-либо из имеющихся на номограмме значения, определив для каждого из них соответствующее значение  $d$ , и, имея таким образом в пересечении найденных  $d$  с соответствующими  $s$  две точки, провести через них прямую  $M_{max} = \text{const}$ .

Во вторых, можно сделать построение независимо от прямых  $s = \text{const}$  и даже не имея их на номограмме. Для этого, решая совместно уравнения 1 и 4, исключим из них  $s$  и получим:

$$v = \frac{N_e}{0,445 M_{max}} \cdot d \dots \dots \dots 10$$

По ур-нию 10 можно сказать, что  $M_{max} = \text{const}$  выразится в координатах  $dv$  прямой линией, наклоненной к оси абсцисс ( $d$ ) под углом  $\alpha_2$ , причем

$$\text{tg } \alpha_2 = 1,$$

т. е.  $\alpha_2 = 45^\circ$ . Кроме того можно заключить, что положение прямой  $M_{max} = \text{const}$  зависит лишь от значений  $N_e$  и  $M_{max}$  и совершенно не зависит от обрабатываемого материала, т. к. в уравнении 10 отсутствуют характеристики обрабатываемого материала. Иначе говоря, на всех номограммах, построенных для различных обрабатываемых материалов, но для одного и того же станка, прямые  $M_{max} = \text{const}$  займут одно и то же положение относительно координат  $dv$ . Прямые  $M_{max} = \text{const}$  расположатся на номограмме тем ниже, чем значительнее будет величина  $M_{max}$ .

Зная угол  $\alpha_2$ , нетрудно определить положение прямой  $M_{max} =$



$= \text{const}$ , задав  $d$  какое-либо значение и получив из ур-ния 10 соответствующую координату  $v$ .

Прямая  $M_{\max} = \text{const}$  на нашей номограмме в пересечении с различными  $d$  укажет для каждого диаметра подачу  $s$  (из числа имеющих в станке), допустимую из условия прочности привода шпинделя станка.

Таким же путем строим уравнение 2:

$$P_{\max} = K_2 \cdot d^{m_2} \cdot S^{l_2} \dots \dots \dots 2$$

Это уравнение точно так же можно построить либо по двум точкам, задаваясь двумя значениями  $s$  и получая из ур-ния 2 два соответствующие значения  $d$ , либо по точке и углу наклона, для чего из ур-ний 2 и 4 будем иметь:

$$v = \frac{N_e}{0,445 \cdot k_1 \left( \frac{P_{\max}}{k_2} \right)^{\frac{l_1}{l_2}}} \cdot d^{\left( \frac{l_1 \cdot m_2}{l_2} - m_1 + 1 \right)} \dots \dots \dots 11$$

Прямая делает с осью абсцисс ( $d$ ) угол  $\alpha_3$

$$\text{tg } \alpha_3 = \left( \frac{l_1 m_2}{l_2} - m_1 + 1 \right).$$

Эта прямая в пересечении с различными  $d$  укажет соответствующие значения  $S$ , допускаемые с точки зрения прочности механизма подачи станка. Прямая  $P_{\max} = \text{const}$  расположится на номограмме тем ниже, чем значительнее будет величина  $P_{\max}$  для данного станка.

Наконец, таким же путем находим прямую по уравнению 3:

$$S = K_3 \cdot d^{m_3} \dots \dots \dots 3$$

опять-таки либо по двум точкам, либо по точке и углу, имея для этого из уравнений 3 и 4 зависимость

$$v = \frac{N_e}{0,445 \cdot k_1 \cdot k_3^{l_1}} \cdot d^{(1 - m_1 - m_3 l_1)} \dots \dots \dots 12$$

Для угла наклона  $\alpha_4$  этой прямой к оси абсцисс имеем

$$\text{tg } \alpha_4 = (1 - m_1 - m_3 l_1),$$

Прямая  $s = F(d)$  укажет для каждого диаметра подачу, допустимую из условия прочности сверла.

Таким образом, мы на номограмме (см. рис. 1) имеем выражение всех тех условий, которые приходится принимать во внимание при выборе величины подачи  $S$  для работы на станке. Ломаный контур  $ABCD$  ограничивает величины применимых на станке подач



при обработке данного материала и для каждого диаметра сверла указывает предельную подачу из числа имеющихся в станке.

Использовать можно лишь подачи, заключенные в контуре (они проведены на номограмме более жирно), так как, выходя из него, мы тем самым не выполняем одного из поставленных условий. Прямая  $AB$  ограничивает увеличение подачи прочностью сверла, прямая  $BC$  — прочностью механизма подачи,  $CD$  — прочностью механизма привода шпинделя. Для каждого диаметра может быть взята подача, пересекающаяся с линией диаметра не ниже контура  $ABCD$ .

Не всегда можно осуществить подачу, проходящую через точку пересечения контура  $ABCD$  с заданным диаметром, так как это может быть связано с перегрузкой мощности станка. К этой подаче всегда нужно стремиться, т. к. мы в дальнейшем покажем, что наибольшая производительность для работы сверла каждого диаметра будет неизбежно связана с подачей, проходящей через точку пересечения контура  $ABCD$  с данным диаметром, или с подачей, ближе всех заключенных в контуре, лежащей к этой точке (т. е. с максимальной возможной при данном  $d$ ). Поэтому  $ABCD$  можно назвать контуром максимальной производительности.

Покажем на примере, как нужно производить выбор условий резанья, пользуясь номограммой, и в каком случае мы будем получать максимальную производительность.

### Выбор условий резанья.

Номограмма, изображенная на рис. 1, построена нами для следующих условий, возможных на практике:

$$Ne = 5 \text{ л. с.}$$

$$P_{max} = 2200 \text{ кг.}$$

$$M_{max} = 50 \text{ килограммометров.}$$

Обрабатываемый материал — сталь средней твердости. Сверла из быстрорежущей стали.

Станок имеет следующие величины подач в  $мм/об$ :

$$S_1 = 0,1, S_2 = 0,13, S_3 = 0,17, S_4 = 0,22, S_5 = 0,3, S_6 = 0,4, S_7 = 0,52, S_8 = 0,65, S_9 = 0,85.$$

При построении номограммы мы пользовались данными Шлезингера в переработке Беспрозванного<sup>2)</sup>, по которым для стали средней твердости будем иметь:

$$K_1 = 0,029;$$

$$m_1 = 2;$$

$$l_1 = 0,8;$$

$$K_2 = 84;$$

$$m_2 = 1;$$

$$l_2 = 0,75.$$

Иначе говоря:

$$M = 0,029 d^2 \cdot s^{0,8} \text{ кгм}$$

$$P = 84 d \cdot s^{0,75} \text{ кг.}$$



Допустимая подача по прочности сверла была взята по формуле Гипромаша<sup>3)</sup>:

$$S = 0,04 d^{0,6},$$

т. е.

$$K_3 = 0,04$$

$$m_3 = 0,6$$

Выражение для затраты мощности будем иметь (ур-ние 4)

$$Ne = 0,445 \cdot 0,029 \cdot d \cdot s^{0,8} v,$$

т. е.

$$Ne = 0,0129 \cdot d \cdot s^{0,8} v.$$

Пусть будет задана для обработки сталь средней твердости и диаметр сверла  $d = 50$  мм. По таблицам найдем, что при сверлении этого материала быстрорежущим сверлом можно взять скорость резанья  $v = 18 - 22$  м/мин. При применении обильного охлаждения эмульсией можно повысить эту скорость до  $v = 26$  м/мин., чему, судя по левой части номограммы (см. рис. 1), будет соответствовать  $n = 170$  об/мин. Итак, идя от  $d = 50$  мм до прямой  $n = 170$  об/мин., затем горизонтально вправо до пересечения в правой части номограммы с вертикалью  $d = 50$ , мы можем заключить, что из условия использования мощности нашего станка можно взять  $s = 0,22$  мм/об, которая проходит через точку пересечения горизонтали  $v = 26$  и вертикали  $d = 50$ . Полученная в этом случае производительность будет

$$ns = 170 \cdot 0,22 = 37,4 \text{ мм/мин.}$$

При этом не будут использованы ни прочность сверла, ни прочность механизма подачи, ни прочность привода шпинделя.

Если возьмем ближайшее меньшее число оборотов  $n = 132$ , то, следуя аналогичным путем, придем к подаче  $s = 0,3$  мм/об, которая будет получена опять же из условия использования мощности станка (при этом мощность будет незначительно перегружена). Производительность для этого случая получим:

$$ns = 132 \cdot 0,3 = 39,6 \text{ мм/мин.,}$$

т. е. несколько выше предыдущей.

Дальнейший переход на  $n = 105$  об/мин. даст возможность взять подачу  $s = 0,4$  мм/об., ближайшую к контуру ABCD. Производительность в этом случае

$$ns = 105 \cdot 0,4 = 42 \text{ мм/мин.,}$$

т. е. еще выше.

Дальнейшее снижение числа оборотов до  $n = 85$  об/мин. не даст повышения производительности, т. к. при  $d = 50$  мм мы не можем взять подачу  $s > 0,44$  мм/об.; при этом мы перешли бы через кон-



тур  $ABCD$  и перегрузили бы механизм подачи станка и прочность сверла.

Таким образом, мы видим, что наиболее выгодно взять  $s = 0,4$ , т. е. подачу, лежащую ближе всех к контуру максимальной производительности  $ABCD$  для заданного диаметра, и такое число оборотов  $n = 105$ , которое соответствовало бы скорости, использующей при выбранной подаче мощность данного станка, если эта скорость, конечно, будет допустима из условия стойкости сверла.

Выбрав в разобранном примере  $n = 105$  вместо  $n = 170$ , мы не только повышаем производительность с 37,4 до 42 мм/мин., т. е. на 12,3%, но и снижаем скорость на окружности сверла с 26 м/мин. до 16 м/мин., что сильно облегчает условия работы сверла с точки зрения его стойкости.

Если мы возьмем несколько других случаев работы (с другими  $d$ ), все же мы в исключительном большинстве случаев будем получать  $(ns)_{max}$  при выборе подачи, близлежащей для заданного диаметра к контуру  $ABCD$ , который поэтому и может быть назван „контуром максимальной производительности“. Исходя из этого, можно рекомендовать выбирать при работе такое  $n$ , чтобы полученная скорость  $v$  привела к правой части номограммы—к подаче, близлежащей к контуру  $ABCD$  для заданного диаметра.

В том случае, если мы почему-либо должны ограничиться столь низким значением  $n$  и  $v$ , что попадаем в правой части номограммы ниже контура  $ABCD$ , нужно поступать так, как это показано стрелками для  $d = 30$  мм и  $n = 132$  (см. рис. 1). При этом, используя мощность станка, мы должны были бы взять подачу  $s = 0,85$  мм/об., но ни механизм подачи станка, ни прочность сверла не допускают подачи больше  $s = 0,3$  мм/об. Если по каким-либо причинам скорость не может быть взята больше  $v = 12,5$  м/мин (т. е.  $n > 132$  об/мин.), то максимальная возможная производительность будет:

$$(ns)_{max} = 132 \cdot 0,3 = 39,6 \text{ мм/мин.}$$

Контур максимальной производительности не обязательно на номограмме будет представлен пересечением трех прямых. На рис. 2 представлена подобная же номограмма для случая обработки на том же станке чугуна средней твердости, а на рис. 3—хромоникелевой стали. Здесь мы видим, что одна из прямых выпала из контура, оказавшись ниже его. Для случая обработки чугуна в контур не вошла прямая  $P_{max} = \text{const}$ , для случая обработки хромоникелевой стали—прямая  $M_{max} = \text{const}$ .

По предлагаемой нами номограмме можно не только производить быстро выбор наивыгоднейших условий работы с учетом всех факторов, влияющих на таковые, но и судить об области применения данного станка, а также и о рациональности конструкции его.

Так, по рис. 1 можно сделать следующие заключения:

1. При обработке стали средней твердости без охлаждения на данном станке, мощность данного станка можно использовать лишь при работе с диаметром сверл  $d \geq 40$  мм (быстрорежущее сверло).



2. В случае работы с диаметром  $d < 40$  мм для возможности более полного использования мощности станка следует работать с обильным охлаждением.

3. При обработке стали средней твердости подачи 0,52 мм/об., 0,65 мм/об. и 0,85 мм/об. при сверлении в целом материале применены быть не могут.

4. Для возможности применения этих подач станок должен был бы иметь более прочные механизмы подачи и вращения шпинделя (линии  $P_{max} = \text{const.}$  и  $M_{max} = \text{const.}$  в этом случае расположились бы ниже). Но и при этом подачи 0,65 и 0,85 можно было бы применять при диаметре сверл  $d > 80$  мм, что практически не употребительно.

Из сравнения номограмм рис. 1 и 2 можно заключить, что данный станок более пригоден для обработки стали, нежели чугуна. При обработке же чугуна мощность станка при употребительных диаметрах сверл не может быть использована, т. к. этого можно было бы достигнуть лишь при недопустимо высоких для быстрорежущих сверл скоростях, либо при применении сверл с лезвиями из сверх твердых сплавов.

По рис. 3 можно сказать, что для использования станка при обработке хромо-никелевой стали станку следовало бы иметь более прочный механизм подачи.

#### Составление таблиц наивыгоднейших условий резанья.

Разобрав пользование предложенными номограммами, не трудно заметить, что каждый диаметр сверла при обработке на данном станке заданного материала имеет вполне определенную комбинацию  $s$  и  $n$ , предопределяющую максимальную производительность.

Так, для случая обработки стали средней твердости на основании номограммы (рис. 1) можно составить следующую таблицу наивыгоднейших условий работы.

Станок №... ..

Материал—сталь  $K_z = 50 - 60 \text{ кг/мм}^2$

Сверло—быстрорежущая сталь.

| Диаметр<br>сверла<br>$d$ мм | Подача<br>$S$ мм/об | Число<br>оборотов<br>$n$ | Примечание                                                                                                  |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20                          | 0.22                | 335*                     | Взято при работе без охлаждения<br>$V_{max} = 18 - 22 \text{ м/мин.}$                                       |
| 25                          | 0.3                 | 265*                     |                                                                                                             |
| 30                          | 0.3                 | 210*                     |                                                                                                             |
| 35                          | 0.3                 | 170*                     |                                                                                                             |
| 40                          | 0.4                 | 170                      |                                                                                                             |
| 45                          | 0.4                 | 132                      | * При применении обильного охлаждения<br>брать ближайшее большее число оборотов<br>(для диаметров 20—35 мм) |
| 50                          | 0.4                 | 105                      |                                                                                                             |
| 55                          | 0.4                 | 85                       |                                                                                                             |
| 60                          | 0.3                 | 85                       |                                                                                                             |
| 65                          | 0.3                 | 67                       |                                                                                                             |
| 70                          | 0.22                | 85                       |                                                                                                             |
| 75                          | 0.22                | 67                       |                                                                                                             |



То же для чугуна и хромо-никелевой стали, считая для чугуна  $V_{max} = 15-18$  м/мин., для хромо-никелевой стали при обязательном применении обильного охлаждения  $V_{max} = 15$  м/мин.

| Диаметр<br>сверла<br>d | Обрабатываемый материал |              |                       |              | Примечание                                                                                                      |
|------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | Чугун                   |              | Хромо-никелевая сталь |              |                                                                                                                 |
|                        | Подача S                | Чис. обор. п | Подача S              | Чис. обор. п |                                                                                                                 |
| 20                     | 0.22                    | 265          | 0.17                  | 210          | При обработке хро-<br>мо-никелевой ста-<br>ли без охлаждения<br>брать число оборо-<br>тов ближайшее<br>меньшее. |
| 25                     | 0.3                     | 210          | 0.17                  | 170          |                                                                                                                 |
| 30                     | 0.3                     | 170          | 0.22                  | 170          |                                                                                                                 |
| 35                     | 0.3                     | 132          | 0.22                  | 132          |                                                                                                                 |
| 40                     | 0.4                     | 132          | 0.22                  | 105          |                                                                                                                 |
| 45                     | 0.4                     | 105          | 0.3                   | 105          |                                                                                                                 |
| 50                     | 0.4                     | 105          | 0.22                  | 85           |                                                                                                                 |
| 55                     | 0.52                    | 85           | 0.22                  | 85           |                                                                                                                 |
| 60                     | 0.52                    | 85           | 0.17                  | 85           |                                                                                                                 |
| 65                     | 0.52                    | 85           | 0.17                  | 67           |                                                                                                                 |
| 70                     | 0.52                    | 67           | 0.13                  | 67           |                                                                                                                 |
| 75                     | 0.52                    | 67           | 0.13                  | 67           |                                                                                                                 |

Таким образом, составленные таблицы делают выбор режима работы исключительно простой и быстрой операцией, так как в таких таблицах, составленных для каждого станка и для различных на нем обрабатываемых материалов, уже увязаны данные для  $d$ ,  $s$  и  $n$  из условия максимальной производительности, при учете всех факторов, влияющих на эту производительность. Такой таблицей сможет пользоваться даже рабочий сравнительно низкой квалификации, настолько она проста и удобна. Кроме того, по ней чрезвычайно просто производится определение машинного времени, так как произведение двух столбцов  $n$  и  $s$  дает глубину отверстия, просверливаемого в 1 минуту.

Некоторый труд, связанный с составлением таких таблиц для всех имеющихся в цеху сверлильных станков, несомненно, окупается удобством обращения с ними и тем экономическим эффектом, который будет получен при рациональном использовании станков. Заметим, что эти таблицы можно было бы составить, используя не предложенные номограммы, а приведенные выше аналитические зависимости. Но это было бы связано с большой вычислительной работой и не дало бы наглядности графического метода, что может привести к частым ошибкам.

Было бы не плохо, если бы станкостроительные заводы Советского Союза давали с выпускаемыми ими сверлильными станками подобные номограммы, составленные применительно к характеристике выпускаемого станка для случаев обработки на нем различных материалов, или хотя бы сообщали потребителю необходимые о станке сведения, как-то: максимальный допускаемый момент на шпинделе из условия прочности механизма привода шпинделя ( $M_{max}$ ), максимальная допускаемая сила подачи ( $P_{max}$ ), полезная



мощность *Ne* и т. д. Это сильно упростило бы предприятиям освоение новейшего станочного оборудования, т. е. разрешение одной из главных задач второго пятилетия строительства социалистической индустрии.

**Литература, на которую в статье имеются ссылки:**

1) REFA. Справочник по рабочему времени (стр. 260). Кривоухов.—Обработка металлов резанием (стр. 232). Исаев.—Холодная обработка металлов (стр. 165). Техника и производство. 1928 год, № 6—7. Кондратьев.—Сверление металлов (стр. 15).

2) Орга-Информация. 1929 г., № 8.

3) Вестник Металлопромышленности. 1930 год, № 2. Кривоухов (стр. 229). Исаев (стр. 162). Кондратьев (стр. 10).

г. Томск, 1934 г.

Лаборатория Резанья Металлов  
Сиб. Индустриального Института.



A. M. Rosenberg.

### **A Study of Working of a Drilling Machine of Constant Power.**

A method of selecting the most favourable conditions of cutting with a drilling machine of constant power is examined in this article.

The following factors are taken into consideration:

1. Power of the drilling machine.
2. Strength of the spindle gear (Maximal admissible twisting moment on the spindle).
3. Strength of the feed mechanism.
4. Strength of the drill-bit and
5. Speed admissible by the condition of durability of the drill.

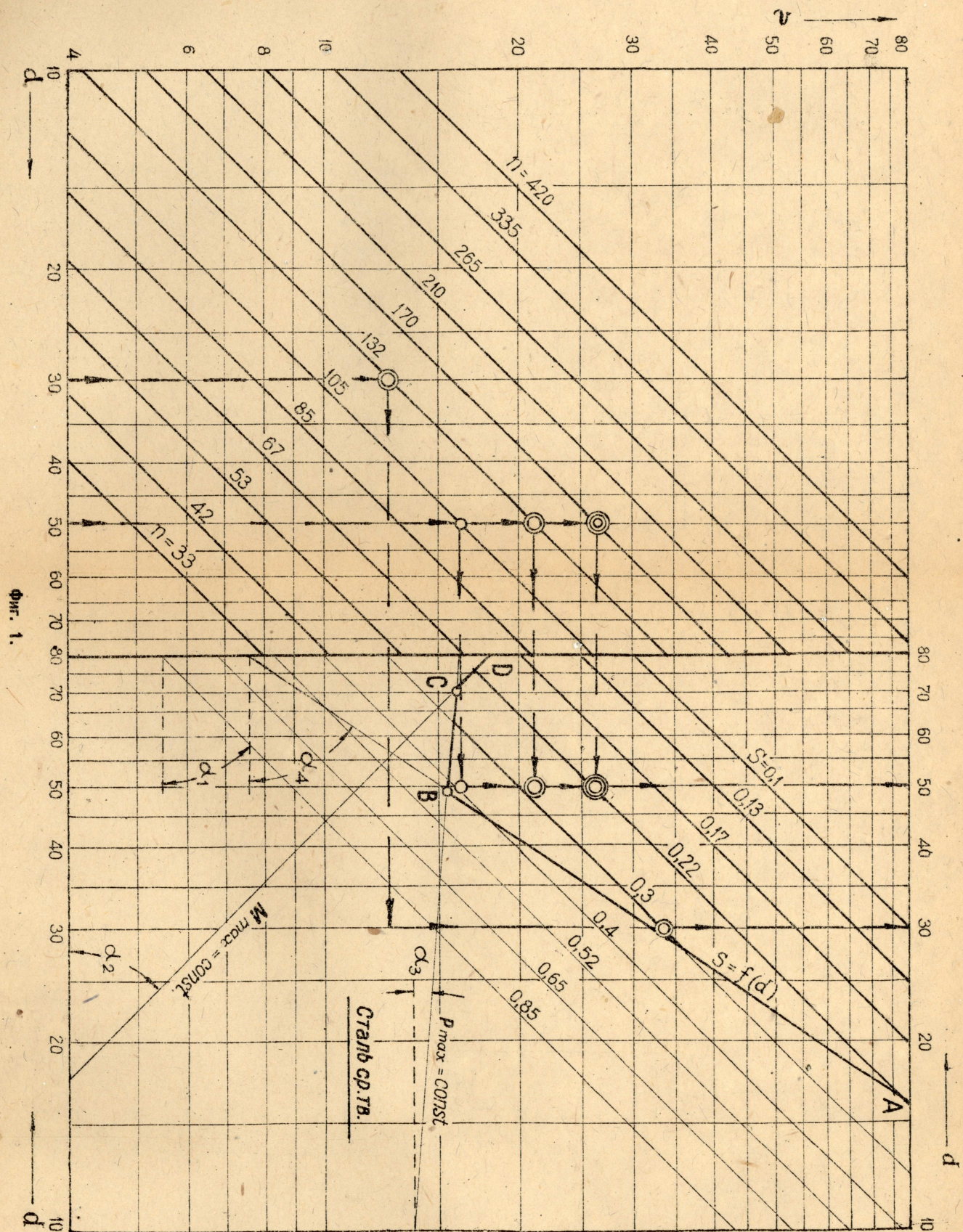
A nomogramm constructed with consideration of all the above mentioned factors allowing to perform a convenient and rapid operation in selecting the most favourable conditions of cutting is given.

The author proves that the contour limiting the permissible feeds in drilling resulting from the condition of the maximal twisting moment, from that of the maximal feeding power and from the durability of the drill, is „the contour of the maximum efficiency“ of work with this machine-tool.

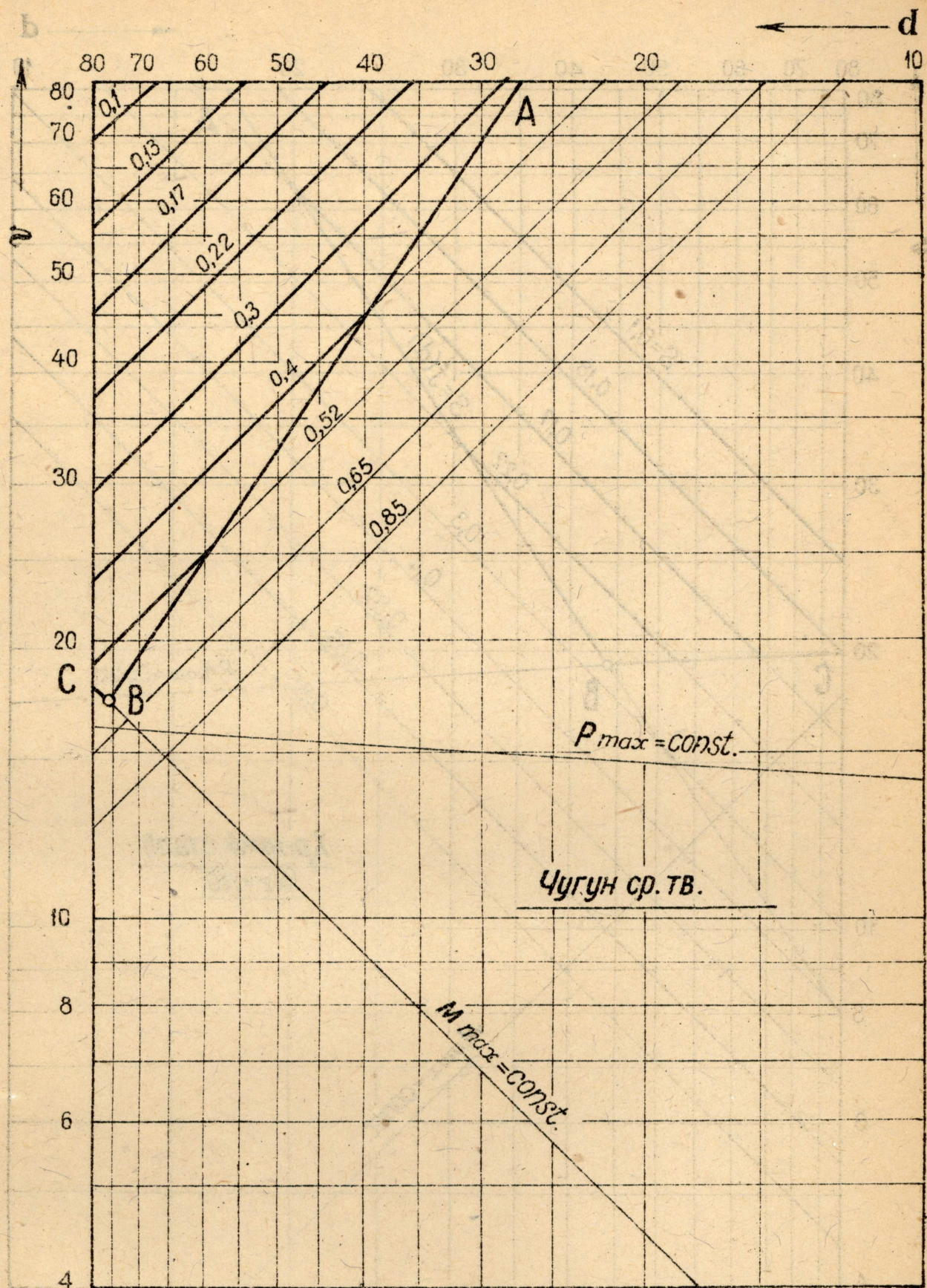
In conclusion, a method of tabulation for the given machine is offered, these tables warranting a simple and exact selection of its most profitable working.

---



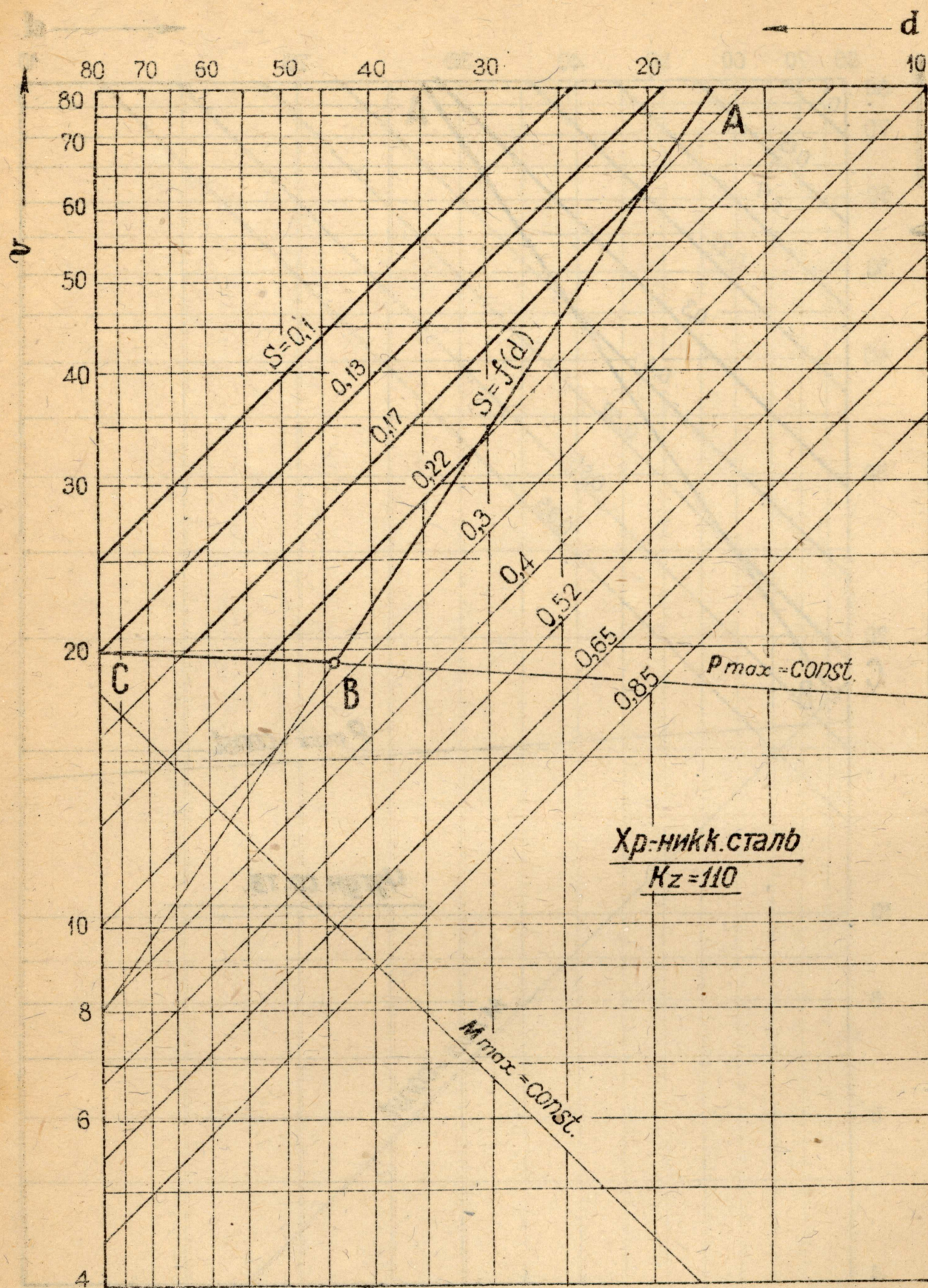






Фиг. 2.





Фиг. 3.