

## Закон производительности рабочих машин

**З**А последние годы облик нашей промышленности коренным образом изменился. За короткий промежуток времени страна вооружилась новыми производственными гигантами. В эти годы в нашей стране произошел «великий промышленный переворот», который ставит перед нами неотложную задачу освоения новой техники.

У нас появились сотни и тысячи новейших первоклассных машин-орудий, о существовании которых мы знали до последнего времени очень мало. Ведь не секрет, что как высшая школа, так и научно-исследовательские институты с такого рода оборудованием столкнулись лишь в последние годы. Более того, до сего времени и вузы и исследовательские институты с новыми задачами еще не справились. Заводы-гиганты задачу освоения новой техники, как правило, решают самостоятельно, без помощи вузов и исследовательских институтов. Старая школа, далеко отставшая от жизни, вовсе не знала новой техники. Новая же школа к этой задаче приступила только теперь, когда задача освоения техники стала задачей высшей школы. Характерно, что до сего времени специалисты, выпускаемые из технических институтов, не имеют представления о станках-автоматах, о машинах, на которых основано современное массовое производство, о машинах, которым принадлежит будущее в социалистической промышленности<sup>1</sup>.

Однако, освоение сложнейших машин-орудий немислимо без научного теоретического анализа этих машин. До сего дня как производственники, так и представители науки под освоением, под рациональным использованием оборудования понимают одно: «загрузить на полную мощность станок, работать на максимальных скоростях резания и подачах». Такая рационализация в конечном счете может вести не к повышению производительности рабочих машин, к повышению производительности предприятия, а к преждевременному выводу из строя оборудования, к увеличению расхода энергии, а главное — к расходу

---

<sup>1</sup> Московский Механико-машиностроительный институт в 1932 г. в общем курсе стачков на автоматы отводил 6 часов. В других институтах дело обстоит не лучше.

инструмента, в конечном счете — к увеличению себестоимости продукции.

Опыт показывает, что на некоторых наших предприятиях, в частности там, где оказывала свою помощь «теория рационального использования станков», расход инструмента превосходил все плановые пометки<sup>2</sup>.

Борьба за овладение новой техникой, борьба за повышение производительности новых производств требует железной производственно-технической дисциплины. Лозунг «долгой опоздания и прогулы» теперь уже не может удовлетворить современную технику. Лозунгом сегодняшнего дня является лозунг электростанций: «работать 420 минут полностью». Однако и этот лозунг не может полностью нас удовлетворить. Мало работать 420 минут, оборудование следует использовать так, чтобы за эти 420 минут получить максимальную производительность. Причем эта производительность должна оставаться постоянной, обеспечивать нормальный производственный ритм всего предприятия, а не являться результатом «штурма», после которого станок должен простаивать в ремонте и в наладке. Электростанции этим гордиться еще не могут. Зачастую дорогие станки-автоматы, используются так, что работают лишь на 40—50%, а иногда и того меньше. Остальное время станок «работает» в холостую, расхищая время сложного высокопроизводительного агрегата. Здесь требуется анализ работы рабочих машин, на основе которого было бы возможно действительно рациональное их использование. «Производственное чутье» в этом случае так же бессильно, как и «теория рационального использования станков». Тем более это необходимо для сознательного построения машин-орудий, в особенности металлорежущих станков, где до последнего времени имело место слепое копирование сложных универсальных иностранных образцов, не отвечающих непосредственным требованиям социалистической промышленности.

Анализируя работу любой рабочей машины, мы можем установить некоторые общие законы. Как известно, в основе всякой рабочей машины лежит исполнительный механизм, который и характеризует ее работу. Так, например, рабочий шпиндель и режущий инструмент — резец на токарном станке, связанные единой кинематической цепью, представляют исполнительный механизм токарного станка, работа которого заключается в обработке изделия путем снятия стружки — точения. Однако, кроме работы исполнительного органа, имеет место еще и так называемая вспомогательная работа. Так, например, обработка данного изделия на данном станке требует вспомогательной работы по установке, закреплению, снятию обрабатываемого материала и т. п.

Таким образом, всякий рабочий процесс всегда сопровождается тратой определенной количества работы, идущей: 1) на действительную обработку данного материала и 2) на вспомогательные операции, сопровождающие обработку материала.

Следовательно, всегда будет иметь место условие

$$L = L_1 + L_2 \quad (1)$$

<sup>2</sup> На заводе им. Сталина за 3 месяца расходовался годовой запас инструментов.

где  $L$  — вся работа, затраченная на обработку данного материала;  $L_1$  — работа, затраченная только на технологический процесс обработки материала, называемая в дальнейшем работой рабочих ходов;  $L_2$  — работа, затраченная на вспомогательные операции, называемая в дальнейшем работой вспомогательных или холостых ходов.

Так, для обработки изделия А (придания изделию А вида изделия В) на токарном полуавтомате вся затраченная работа распадается на две основные составляющие: 1) работа рабочих ходов, в данном случае работа резания — снятия стружки с изделия А до размеров изделия В, и 2) работа вспомогательных ходов, в данном случае работа, необходимая для установки, закрепления, снятия изделия, приведения рабочих органов в рабочее положение и обратно, как-то: подвод и отвод суппортов и т. п.

Первая часть работы полностью производится за счет электрической энергии, подведенной к станку; вторая часть работы производится частью самим рабочим, частью за счет дополнительной затраты энергии мотором станка.

Для исполнения любой работы требуется определенная затрата времени. Следовательно, на основе уравнения (1) можем написать

$$T = t_p + t_x \quad (2)$$

где  $T$  — время, за которое производится определенная единица продукта (штука, вес, длина, поверхность и т. п.),  $t_p$  — время, идущее на производство рабочих ходов и  $t_x$  — время, идущее на производство вспомогательных ходов.

Так как за время  $T$  заканчивается обработка определенного количества материала — определенная «порция», то, очевидно, для обработки следующей «порции» потребуется то же самое время  $T$ , считая работу машины установившейся.

Рассматривая рабочие машины с установившейся работой, будем иметь для них определенную закономерность производства работы. Откладывая по оси абсцисс время (см. рис. 1) и отмечая каждое «начало» и «конец» работы, мы получим характеристику работы данной машины, показывающую цикличность работы машин-орудий.



Рис. 1.

За каждый промежуток времени  $T$ , за каждый рабочий цикл, рабочая машина, производя в определенном чередовании рабочие и вспомогательные хода, произведет одно и то же определенное количество продукта. Следовательно, в этом случае (установившейся работы) мы имеем возможность определить количество обработанного материала в единицу времени, т. е. так называемую производительность рабочей машины. Отсюда легко определить полное количество обработанного материала за произвольный промежуток времени работы машины.

Очевидно, что в каждом отдельном случае, в зависимости от того, с какой единицей измерения мы имеем дело, изменится и размерность производительности. В наиболее общем виде можно сказать, что производительность рабочей машины есть количество выработанного продукта в единицу времени. В дальнейшем для простоты примем в основу рассуждений штучную производительность, т. е. количество изготовленных изделий в единицу времени.

Обозначая производительность рабочей машины через  $Q$ , исходя из рабочего цикла, можем вывести:

$$Q = \frac{K}{Kt_x + 1} \text{ шт./мин.} \quad (3)$$

где величина  $K$ , называемая нами технологическим фактором рабочей машины, представляет производительность машины в единицу времени без учета времени холодного хода,  $t_x$  есть время, затрачиваемое на вспомогательные хода.

Действительно, подставляя в формуле (3)  $t_x = 0$ , получим

$$Q = K \text{ шт./мин.} \quad (4)$$

т. е. в рабочей машине, где время на вспомогательные хода отсутствует, производительность машины прямо пропорциональна технологическому фактору, и  $K$  есть не что иное, как производительность некоторой «идеальной» рабочей машины, где все потраченное время идет на исполнение рабочих ходов, т. е. имеет место условие

$$T = t_p \quad (5)$$

Обратно, исходя из того, что формула (3) характеризует действительную работу всех рабочих машин, можем сказать, что технологический фактор есть фиктивная производительность рабочей машины.

Представляя формулу (3) как произведение множителей, получаем:

$$Q = K \cdot \frac{1}{Kt_x + 1} = K \cdot \eta \quad (3_1)$$

где

$$\eta = \frac{1}{Kt_x + 1} \quad (6)$$

т. е. производительность рабочей машины есть произведение фиктивной производительности на некоторый коэффициент, называемый нами коэффициентом производительности, или, что то же, коэффициентом использования рабочей машины<sup>3</sup>.

Таким образом,  $Q = f(K, \eta)$ .

<sup>3</sup> Под коэффициентом использования часто понимается величина, характеризующая использование рабочих машин за весь рабочий день—смену и т. д., а не за рабочий цикл машины. Поэтому мы вводим здесь термин «коэффициент производительности».

При учете других видов потерь имело бы место  $Q = K \frac{1}{Kt_x + 1} \cdot \eta_{11} \cdot \eta_{12} \cdot \eta_{13} \cdot \dots \cdot \eta_{1m}$  (3<sub>2</sub>), где  $\eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}, \dots, \eta_{1m}$  — коэффициенты, учитывающие различные потери, не входящие в рассматриваемый цикл рабочей машины. Разбор формулы (3<sub>2</sub>) выходит за пределы данной статьи и является предметом следующих статей.

Откладывая по оси абсцисс величины технологического фактора — фиктивную производительность, по оси ординат коэффициент производительности, получим диаграмму (рис. 2), показывающую закон изменения коэффициента производительности. На диаграмме имеем три кривых, соответственно трем значениям  $t_x$ , которые с увеличением технологического фактора асимптотически приближаются к оси х-ов.

Таким образом, повышение технологического фактора, с одной стороны, увеличивает производительность, с другой — уменьшает величину коэффициента производительности, что ведет к понижению производительности. Налицо диалектическое противоречие, говорящее о том, что повышение производительности возможно лишь при учете взаимодействия между указанными двумя факторами. Производительность рабочей машины повышается не пропорционально увеличению технологического фактора. Введение новых рабочих органов, нового усовершенствованного дорогого инструмента, новых, так называемых высокопроизво-

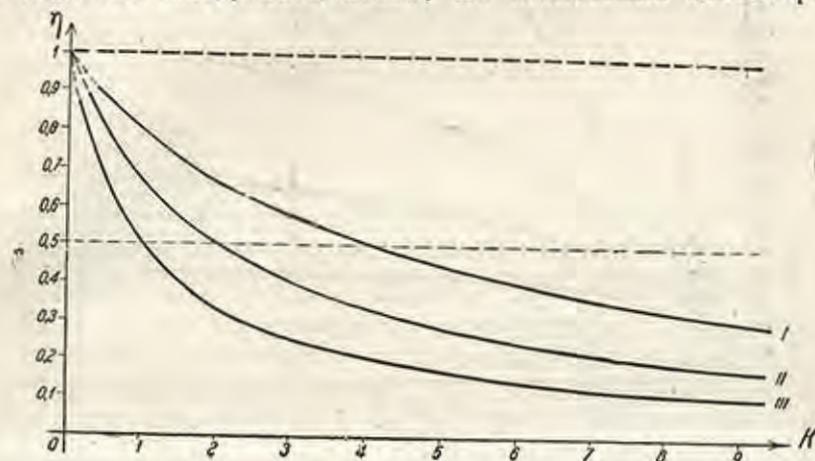


Рис. 2.

дительных способов обработки и т. п. ни в коем случае не дает пропорционального повышения производительности машины.

Так, например, заменяя резцы из углеродистой стали на рабочей машине (забойная машина в шахте, бурильная машина на нефтепромыслах или обычный токарный станок) на сверхтвердые сплавы, мы можем скорости резания инструментов повысить в 10 раз и тем самым, казалось бы, увеличить производительность также в 10 раз. Однако, как следует из сказанного выше, повышение производительности будет всегда меньше десятикратного; в обычных условиях достигается повышение производительности всего в 3—4 раза или еще меньше, в зависимости от времени, затрачиваемого на вспомогательные хода.

Как было сказано, всякое повышение технологического фактора неминуемо приведет к понижению коэффициента производительности рабочей машины. Так что, если до введения нового инструмента, повышающего технологический фактор,  $\eta = a$ , а после его введения  $\eta = b$ , то всегда  $a > b$  при постоянстве всех прочих условий.

Следовательно, желая достигнуть повышения производительности, мы обязаны одновременно с повышением технологического фактора повышать коэффициент производительности, что возможно лишь путем уменьшения величины  $t_x$ , т. е. путем изменения условий, существующих до введения новой техники.

Введение новой техники требует коренного изменения условий труда и реорганизации процессов труда по существу, иначе введение новой техники ощутительного повышения производительности не даст.

Откладывая по оси абсцисс попрежнему технологический фактор, по оси ординат — производительность рабочей машины, получим графическое изображение основного условия производительности (3):

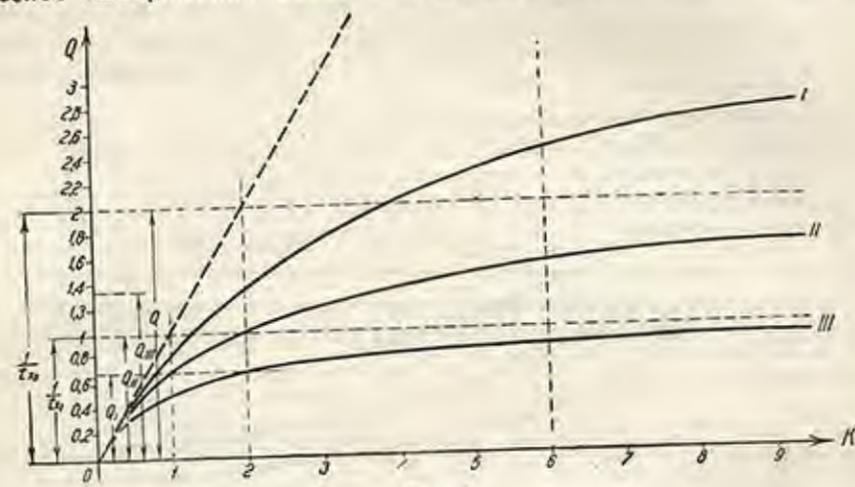


Рис. 3.

Кривые I, II, III принадлежат 3 различным рабочим машинам одного и того же назначения, у которых соответственно имеют место  $t_{xI}$ ,  $t_{xII}$  и  $t_{xIII}$ . Очевидно, наиболее совершенной машиной будет та, которая обеспечит наибольшую производительность при одном и том же значении технологического фактора. В данном случае таковой является машина III.

Пунктирная прямая соответствует производительности рабочей машины, не затрачивающей вспомогательного времени, «идеальной» рабочей машины.

В то время как «идеальная» рабочая машина дает прямое увеличение производительности и, при  $K=2$ ,  $Q_{II}=2$ , каждая из рабочих машин соответственно дает лишь  $Q_I$ ,  $Q_{II}$ ,  $Q_{III}$  меньше, чем  $Q_{II}$  (см. рис. 3). При увеличении  $K$  в 3 раза ни одна из 3 рассматриваемых машин не дает прямого повышения производительности от повышения технологического фактора. Кроме того, при одном и том же трехкратном повышении технологического фактора все рабочие машины дают совершенно различное повышение производительности; так, производительность машины I увеличивается при этом всего лишь на величину

$q_I$ , в то время как машины II и III дают соответственное увеличение  $q_{II}$  и  $q_{III}$  и лишь одна «идеальная» машина обеспечивает трехкратное повышение производительности.

Рассмотрим, имеется ли предел повышению производительности рабочей машины. До сего времени существуют определенные установки, исходящие из того, что производительность рабочей машины можно увеличивать беспрестанно, если иметь соответствующий рабочий инструмент, скажем резец, и достаточное количество энергии. Обычно при построении новой машины считают, что пределом повышения производительности является режущая способность инструмента. На самом же деле производительность каждой машины после определенного заметного повышения асимптотически приближается к некоторому пределу и дальнейшее повышение технологического фактора не дает заметного повышения производительности.

Обращаясь к основной формуле производительности (3), аналитически определим максимум производительности рабочей машины. Очевидно:

$$Q_{\max} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{K}{Kt_x + 1}$$

или

$$Q_{\max} = \frac{1}{t_x} \quad (7)$$

Таким образом: 1) всякая рабочая машина имеет предел повышения производительности путем повышения технологического фактора, т. е. как бы мы ни повышали последний — путем ли внедрения новых инструментов, путем ли одновременной работы несколькими инструментами и т. п., — все равно производительность больше определенной величины не будет; 2) предел повышения производительности рабочей машины определяется временем, затрачиваемым на вспомогательные хода; чем меньше это время, тем дальше мы находимся от предела и тем больше возможности повышения производительности.

Указанный предел есть чисто теоретический и недостижимый; в самом деле, этого предела мы можем достигнуть лишь при беспрестанном увеличении технологического фактора, что, разумеется, невозможно. Практически этот предел наступает гораздо раньше, когда технологический фактор имеет сравнительно небольшую величину, так как повышение этого фактора связано с определенными экономическими затратами (расход энергии, инструмента, дорогой механизм машины и т. д.) и, следовательно, огульное повышение технологического фактора не только будет бесполезно, но и вредно.

Действительно, рассматривая кривую производительности рабочей машины III, мы можем установить предел повышения технологического фактора. Если повышение фактора до  $K=2$  давало определенное ощутительное повышение производительности рабочей машины, то после этого значения производительность повышается практически незаметно; и как бы мы ни старались увеличивать  $K$ , увеличивая мощность машины, применяя дорогой инструмент, создавая лучшую конструкцию рабочих органов и т. д. и т. п., все равно повышение производительности рабочей машины будет совершенно ничтожным, и все перечисленные мероприятия ничего кроме не про-

изводительных затрат не могут дать, ибо мы перешли за экономический предел повышения технологического фактора.

Рассматривая кривую производительности II машины, замечаем, что производительность этой машины возможно ощутительно повысить и за пределом  $K = 2$ . Действительно, до значения  $K = 4$  производительность машины II дает определенное повышение, могущее быть экономически полезным. За этим пределом, аналогично станку III, наступает область бесполезного повышения технологического фактора, экономически являющегося вредным.

Анализ работы 3 машин показывает, что, выполняя одну и ту же работу, при некоторых значениях  $K$  они имеют приблизительно одинаковую производительность (вблизи начала координат). Разница в их производительности увеличивается с увеличением технологического фактора, причем предел экономического использования машины III наступает раньше, чем у машины II, и у машины II раньше, чем у машины I. Следовательно, при возможности повышения технологического фактора, может оказаться невыгодным использование этой возможности на машинах II и III и выгодным на машине I.

В чем же принципиальная разница между указанными машинами, рассчитанными на одну и ту же работу? Все 3 машины имели одинаковые рабочие органы, одинаковую вооруженность. Что же является в этом случае фактором повышения производительности? Выше было сказано, что таковым фактором является коэффициент производительности. Мало иметь высокий технологический фактор, следует обеспечить определенную величину коэффициента производительности, который в свою очередь зависит от технологического фактора и времени вспомогательных ходов. Так как мы стремимся повысить технологический фактор, то, очевидно, остается лишь один путь для повышения коэффициента производительности, что приводит к необходимости внедрения принципа автоматизации. Машина I имеет то отличие от машин II и III, что она полностью автоматизирована. Машина II автоматизирована лишь частично. Машина III — обычная неавтоматизированная. Как видим, и более рационально построенная рабочая машина-автомат (I) также имеет свои пределы использования, после достижения определенной величины технологического фактора становится невыгодным использование и этой машины.

Из этих рассуждений становится ясно, что повышение технологического фактора допустимо лишь до определенного предела, после которого мы должны применять следующую вышестоящую рабочую машину. Это в свою очередь означает, что, повышая технологический фактор, мы одновременно должны стремиться повысить коэффициент производительности путем автоматизации вспомогательных ходов данной машины, путем сокращения времени ее холостых ходов.

Таким образом, повышение производительности должно идти по двум путям, как за счет технологического фактора, так и за счет коэффициента производительности, и задача построения сверхпроизводительной машины должна получить свое разрешение путем последовательного развития как рабочих, так и вспомогательных

органов машины. Выражаясь образно, мы как бы имеем две лестницы, но по каждой из них в отдельности не имеем возможности подняться ввиду редко стоящих ступеней; для того, чтобы получить эту возможность, следует сложить обе лестницы, смещая их относительно друг друга; это даст возможность свободно подниматься вверх, опираясь на ступени то одной, то другой лестницы.

Все указанные машины при малых значениях  $K$  дают примерно ту же самую производительность, что и «идеальная» машина, т. е. чем дальше мы отстоим от начала координат, тем больше выгода от применения автоматизированных машин, и наоборот. Это означает, что в тех областях, где абсолютное значение технологического фактора мало, автоматизация машин не дает ощутительного повышения производительности. В тех же областях, где значение технологического фактора (фиктивной производительности) велико, автоматизация машин является первой необходимостью.

Во всех наших рассуждениях мы считались лишь с количественной стороной производительности машины, подразумевая, что качество выпускаемых рабочей машиной изделий соответствует определенной норме, определенному «этalonу». При плохом же качестве изделий на производстве с непрерывным потоком они не будут соответствовать принципу взаимозаменяемости, само изделие не будет подготовлено к проходу непрерывным потоком, и рабочая машина, производящая эти детали, должна быть остановлена — переналажена, время же, в которое производился брак, должно считаться простоем рабочей машины. Что же будет, если почему либо пропустить изделия, не отвечающие установленному качеству? Эти изделия при дальнейшей их обработке потребуют чрезмерного повышения вспомогательного времени, и машины, их обрабатывающие, дадут катастрофическое снижение количества изготовляемых изделий в единицу времени, как это вытекает из формулы (3).

Итак, качественные недостатки приводят к количественным — к срыву производительности в тех случаях, когда деталь была пропущена и не была во-время изъята с производства. Сравнительно высокая производительность предприятия с непрерывным потоком с прочностью цепи, которая зависит от прочности каждого звена в отдельности, можем сказать, что брак, приводящий к прорыву в «звене», означает прорыв предприятия в целом.

Все рассуждения относительно одной рабочей машины останутся верными и для группы машин в целом — цеха. Соответственным учетом вспомогательного времени можно будет вышеприведенные выводы распространить также и на предприятие в целом. При этом предприятие, работающее на основе поточности — установившейся системы, можно уподобить машине гигантских размеров. Подобно тому, как многочисленные орудия составляют лишь органы одной рабочей машины, точно так же многие рабочие машины образуют теперь лишь

<sup>4</sup> Здесь речь идет лишь о браке, не отражающемся на качестве выпускаемой машины. Из таких деталей в цехе «утиля» ГАЗ собирает автомашины.

однородные органы предприятия в целом (Маркс). Подобно рабочей машине, производительность такого «гиганта» будет зависеть как от машинного оборудования — вооруженности предприятия, так и от вспомогательных организационных подготовительных работ, которые сопровождают работу эгой «машины».

Скорость конвейера, установленный производственный ритм в этом случае будет являться показателем производительности предприятия, так же как скорость распределительного вала в автоматической машине является показателем производительности автомата. Предприятие с «новой техникой», с новейшими совершенными, высокопроизводительными рабочими машинами (на подобие наших заводов-гигантов) можем уподобить рабочей машине, которая снабжена совершенными рабочими органами, у которой чрезвычайно высок технологический фактор. Высокой производительности на этих предприятиях, так же как на высокопроизводительной машине, можно достигнуть лишь путем сочетания высокого технологического фактора с высоким коэффициентом производительности, который, в случае организации производства с непрерывным потоком, имеет, должен иметь максимальное значение (единица). Последнее возможно лишь при максимальном сокращении вспомогательного времени — времени холостого хода предприятия, доведением его до нуля. Малейшее повышение времени холостого хода неминуемо приведет к катастрофическому падению проектной производительности предприятий в силу высокого технологического фактора.

С другой стороны, подобно тому как слепая гонка за огульным повышением технологического фактора у рабочей машины приводит к бесполезной, вредной перегрузке рабочей машины, так и слепая гонка за повышенными «темпами» работы, заключающаяся в перегрузке оборудования, приведет к ничтожному повышению производительности, к вредной перегрузке предприятия, к колоссальным дополнительным расходам как по труду, так и по энергии, к преждевременному выводу из строя машинного оборудования. Здесь, так же как при рабочей машине с высоким технологическим фактором, основное внимание должно быть уделено вспомогательным — холостым ходам, все силы должны быть брошены на борьбу с простоями, на правильную организацию производства, на создание железной производственной трудовой дисциплины. Новая техника этих предприятий (заводов-гигантов) требует совершенно отличных (от старых предприятий), новых условий работы. Высокая степень вооруженности требует максимального сокращения холостых ходов. Только при этом условии будет обеспечена высокая производительность этих предприятий. Только в результате несоблюдения указанных условий на наших заводах-гигантах может иметь место такое положение, когда производственный план (производительность) выполняется не бесперебойной работой, не на основе установившегося производственного ритма, а путем периодических «штурмов». В начале месяца завод почти не выпускает товарной продукции, к середине месяца он «набирает темпы» и лишь в последней декаде завод выбрасывает продукцию в таких количествах, что месячная программа оказывается выполненной или почти выполненной.

Если в первые декады работают с «прохладцей», то в конце месяца начинается гонка, суетня, путаница, приводящая к перегрузке как оборудования, так и рабочей силы. Обычно, как правило, после такой «гонки» (по окончании месяца) начинается период «починок» — отдыха, период приведения в порядок результатов закончившегося «штурма».

Для примера можем привести данные по выполнению плана заводом «Шарикоподшипник» им. Л. М. Кагановича за август 1933 г. (см. рис. 4).

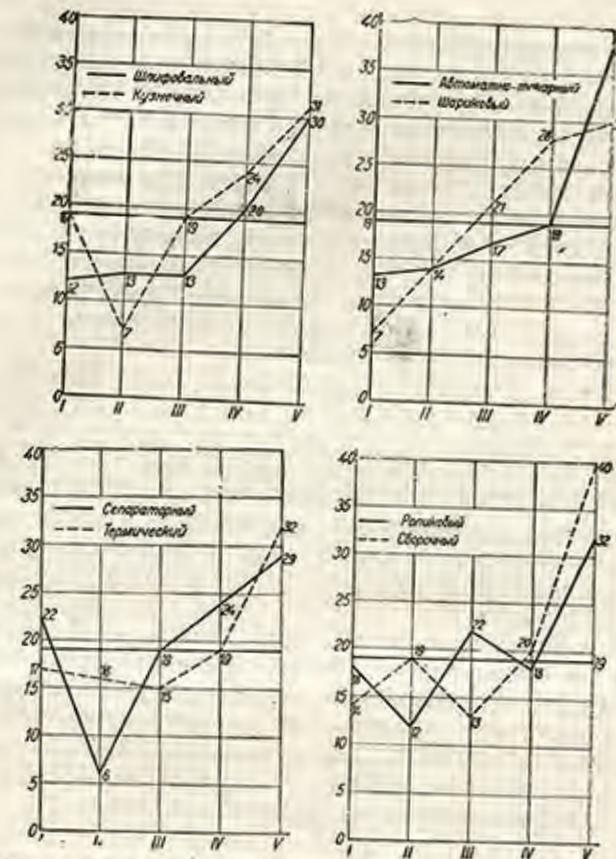


Рис. 4. Выполнение производственного плана (производительность) основными цехами Шарикоподшипника № 1 за август 1933 г.

Завод — узко-специальный, является представителем производства с непрерывным потоком в полном смысле этого термина. Производительность этого гиганта рассчитывается на освоение установившегося производственного ритма. Однако на деле имеем совершенно иную картину. Диаграммы со всей очевидностью показывают, что фактически предприятие не имеет установившейся работы, которая должна обеспечить месячную производительность путем равномерного выполнения плана каждой пятидневки, предусмотренной программой завода.

Вместо непрерывного равномерного выполнения задания имеет место вышеописанная картина. И предприятие с высокой техникой, с установившимся производственным ритмом перестает существовать, на его место вступает «штурмовая система», характеристикой которой служат приведенные диаграммы. Эти диаграммы являются в известном смысле температурной кривой. Они со всей очевидностью указывают на болезнь предприятия, на ту лихорадку, которая треплет предприятие в целом<sup>5</sup>.

Таким образом, предприятие, рассчитанное на бесперебойную работу, с определенным установленным производственным ритмом, начинает действовать «рывками». В результате производительность предприятия отстает, в то время как расходы исключительно растут, и дорогое первоклассное оборудование приходит к преждевременному выводу из строя не только по причине аварий, но и вследствие преждевременного, так называемого естественного, износа. Очевидно, причина — не в плохом качестве оборудования, инструмента, не в орудиях производства, не в слабой технической вооруженности предприятия, а в наличии чрезмерно больших, недопустимых для данного производства «холостых ходов», в отсутствии железной производственно-технической дисциплины, которую требует новая техника. «Дело, стало быть, в том, что новые условия развития промышленности требуют работы по-новому» (Сталин).

Для иллюстрации изложенного разберем конкретную область рабочих машин — металлорежущие станки. Эта область рабочих машин играет основную и решающую роль в нашей стране, освоение их является неотложной задачей дня. Кроме того теория использования металлорежущих станков считается, по сравнению с другими машинами, наиболее обоснованной и в некоторой части законченной.

Проследим решение поставленной задачи с точки зрения узаконенной науки, так называемой «Теории рационального использования металлорежущих станков».

Что называется производительностью станка, и какие существуют формулы для ее определения? Рассмотрение научного багажа «Теории рационального использования металлорежущих станков» приводит к самым различным определениям производительности станка.

«Производительность станка, как станка для грубой обработки, измеряется весом  $G$  стружек, снимаемых в час. Поэтому производительность станка, выраженная в весе стружек, составляет

$$G = \frac{q \cdot v}{1000} \cdot \gamma \cdot 60 \text{ кг/час}, \quad (8)$$

где  $q$  — поперечное сечение стружки в  $\text{мм}^2$ ,  $v$  — скорость резания в  $\text{м/мин.}$ , а  $\gamma$  — вес единицы объема материала в  $\text{кг}$ . Это уравнение показывает, что производительность станка возрастает со скоростью резания. Поэтому для наиболее выгодного использования станка необходимо выбирать по возможности большую ско-

<sup>5</sup> Приведение в качестве примера завода «Шарикоподшипник» ни в коем случае не означает, что этот завод является худшим. К сожалению следует отметить, что аналогичная картина существует и на других наших предприятиях с высокой техникой.

рость резания. Однако это повышение скорости имеет некоторый предел, обусловливаемый стойкостью режущих кромок инструмента»<sup>6</sup>.

Из цитаты ясно, что формула производительности (8) служит основанием для обоснования величин скоростей резания, при которых станок будет рационально использован. Эта же формула (8) служит основой для современной «теории рационального использования металлорежущих станков» и, как правило, приводится всеми авторами, излагающими указанную теорию.

Формулируя задачу о «наивыгоднейшем резании» по Тейлору, говорят об указании «ступени, на которую нужно положить ремень (число оборотов), и той подачи, которая давала бы наибольшее количество стружки в единицу времени на данном станке, при данном материале, заданном диаметре обрабатываемого изделия и данной глубине резания (припуск)».

Математически это можно обосновать следующим образом. Напишем выражение количества стружки, снимаемой в минуту в граммах и подставим выражение скорости через число оборотов и диаметр

$$Q = \rho ab \cdot \frac{\pi Dn}{1000} = \frac{\pi a D}{1000} \cdot bn. \quad (8a)$$

Отсюда видно, что при заданных  $D$  и  $a$  количество стружки пропорционально произведению подачи на число оборотов. Когда дан станок, дан резец, дан материал и глубина резания, нужно найти число оборотов и подачу, при котором произведение  $bn$  давало бы максимум»<sup>7</sup>.

Величины, входящие в формулу (8a), означают:  $\rho$  — удельный вес обрабатываемого материала,  $a$  — глубина резания,  $b$  — подача за оборот шпинделя,  $D$  — диаметр обрабатываемого изделия и  $n$  — число оборотов шпинделя в минуту.

Здесь та же формула (8) путем соответствующей подстановки  $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$  и комбинации величин, в отличие от предыдущего, служит основанием не только для обоснования скоростей резания (чисел оборотов), но и для обоснования величины подачи за оборот шпинделя.

Как видим, автор этой цитаты, исходя из вышеуказанной формулы (8, 8a), дает конкретные указания для рационального использования станка, указывая как ступень, на которую нужно положить ремень, так и величину подачи, которую должен установить токарь.

Приводя формулу (8) к виду

$$Q = \frac{\gamma S t \pi D n}{1000 \cdot 1000}, \quad (8b)$$

где  $Q$  — количество снимаемой стружки в 1 минуту в  $\text{кг}$ ,  $\gamma$  — удельный вес обрабатываемого материала,  $S$  — подача резания в  $\text{мм}$  за 1 оборот шпинделя,  $D$  — диаметр обрабатываемой детали в  $\text{мм}$ ,  $n$  — число

<sup>6</sup> Проф. Фр. В. Гюлле, Станки, том II, стр. 4, 1928 г. Подчеркнуто нами.

<sup>7</sup> Проф. А. В. Панкин, Методы решения задачи о наивыгоднейшем резании, стр. 1. Литогр. издание 1930 г.

оборотов шпинделя в минуту, — пишут: «Из формул видно, что для поднятия производительности (там же: производительности Г. Ш.) станков необходимо увеличить величины  $n$ ,  $S$  и  $t$ . Для удовлетворения этого современное станкостроение идет двумя путями. Первый путь — это увеличение скорости резания благодаря применению резцов из высоко-сортовой быстрорежущей стали и из твердых оплавов (стеллит, сплавы из карбида, вольфрама-видиа, победит); другой путь — применение многорезцовых станков, у которых в работе одновременно принимают участие несколько резцов»<sup>8</sup>.

Автор этой цитаты в «использовании» формулы (8) идет еще дальше. На основании этой формулы, как видим, обосновываются не только рациональные величины скоростей резания и подачи, но и глубины резания.

Многие авторы правильный выбор вышеприведенных величин для рационального использования станков обосновывают следующей формулой:

$$t_m = \frac{L}{\delta}, \quad (9)$$

где  $t_m$  — машинное время,  $L$  — длина обработки,  $\delta = ns$  — есть скорости подачи.

«Уравнение  $t_m = \frac{L}{\delta}$  показывает нам, что рабочее время станка бывает тем меньше, а производительность станка тем больше, чем больше скорость подачи в минуту  $\delta$ »<sup>9</sup>.

Или: «Если обозначить через  $\tau$  время в минутах, необходимое для обточки предмета данной длины, и  $L$  — длину обрабатываемого предмета в мм, то можно написать, что

$$\tau = \frac{L}{Fn} \text{ мин.} \quad (9a)$$

Откуда следует, что время  $\tau$ , идущее на обработку изделия при заданных его размерах, измеряется обратно пропорционально величине подачи резца  $F$  и числу оборотов шпинделя  $n$ ; или другими словами: чем больше  $F$  и  $n$ , тем быстрее будет закончена данная работа, тем больше будет производительность станка»<sup>10</sup>.

Или: «Производительность станка в конечном итоге зависит от комбинации двух основных факторов: 1) величины подачи резца на каждый оборот шпинделя  $F$  и 2) числа оборотов шпинделя в минуту  $n$ . Чем же ограничивается выбор этих величин?»

Наибольшие допустимые значения для  $F$  и  $n$  определяются, с одной стороны, силой станка или крутящими моментами шпинделя, а с другой — стойкостью резца или его выносливостью»<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> Инж.-мех. Беспрозванный, Теория резания металлов. Часть 1, стр. 2—3, 1931.

<sup>9</sup> Проф. Ф. Р. В. Гюлле, там же, стр. 14.

<sup>10</sup> А. Н. Челюсткин. Паспортизация и рациональное использование токарных станков. Стр. 24—25, 1930. Подчеркнуто нами.

Или: «Сущность проблемы будет гораздо правильнее формулировать следующим образом: как при данном машинном парке получить минимальное машинное время»<sup>11</sup>.

В качестве другой разновидности формул производительности можно привести:

$$N = \frac{fK_s v}{60 \cdot 75} \text{ л. с.}, \quad (10)$$

где «Производительность  $N$  в л. с. станка является производительностью, наблюдаемой у места резания (расход энергии), так называемой эффективной производительностью»<sup>12</sup>, где  $f$  — сечение стружки,  $v$  — скорость резания и  $K_s$  — коэффициент резания для данного материала.

Или, заменяя сечение стружки и коэффициент резания давлением резания:  $P = fK_s$ , пишут: «Производительность станка  $N = \frac{P \cdot v}{75 \cdot 60} \cdot \frac{1}{\eta}$  л. с. является функцией двух факторов  $P$  и  $v$ , где  $\eta$  — механический коэффициент полезного действия станка»<sup>13</sup>.

Приведенные выдержки достаточно ясно говорят как о самих формулах производительности, так и о тех путях, которыми должна быть достигнута максимальная производительность металлорежущих станков, с точки зрения современной «теории рационального использования металлорежущих станков».

Ограничимся приведенными положениями наиболее известных авторов (авторы, которые здесь не цитируются, как правило, оперируют теми же формулами и положениями).

Первое, что следует отметить, что все приведенные формулы для определения производительности, несмотря на различие между ними, служат основой для «рационального использования металлорежущих станков». Из всех формул, несмотря на различие между входящими в них величинами, путем соответствующей комбинации в конце концов все авторы делают одни и те же выводы относительно правильного подбора величин скоростей резания и подач для «наиболее выгоднейшего использования станка».

Далее, можно отметить отсутствие определенной формулы для производительности одних и тех же машин, более того — для одного и того же станка — токарного станка; одни и те же авторы в одном и том же месте применяют разные формулы. Основными выводами из этих формул, основными законами «Теории рационального использования металлорежущих станков» являются: 1) использование мощности станка полностью; 2) использование максимальной скорости резания, допускаемой инструментом; 3) использование максимальной подачи, допускаемой инструментом и станком, исходя из 4) максимально допустимой силы в станке или крутящего момента шпинделя станка.

<sup>11</sup> Инж. М. Кроненберг, Основы теории резания. Стр. 139, 1929 г.

<sup>12</sup> Проф. В. Гиплер, Экономическое снятие стружки. Режущий инструмент. Стр. 28—29. Изд. Оргаметалла, 1927 г.

<sup>13</sup> Инж.-мех. И. М. Беспрозванный, Журнал «Органиформация», № 1 1932, стр. 25.

Для этого в свою очередь приходится использовать основные зависимости из теории резания

$$\begin{aligned} N &= f_1(F) \text{ или } f_2(s, t, v) \\ v &= f_3(F) \text{ или } f_4(s, t, v) \\ P &= f_5(F) \text{ или } f_6(s, t, v) \end{aligned} \quad (12)$$

где  $N$  — мощность, расходуемая на резание, в л. с.,  $t$  — глубина резания,  $s$  — подача за оборот шпинделя,  $v$  — скорость резания в м/мин.,  $F$  — сечение стружки мм<sup>2</sup>,  $P$  — усилие резания в кг.

Обычно, в силу большого количества переменных, задача рационального использования металлорежущих станков решается графическим путем, при посредстве различных номограмм, «циклограмм» или специальных логарифмических линеек, из коих некоторые приведены на рис. 5, 6, 7.

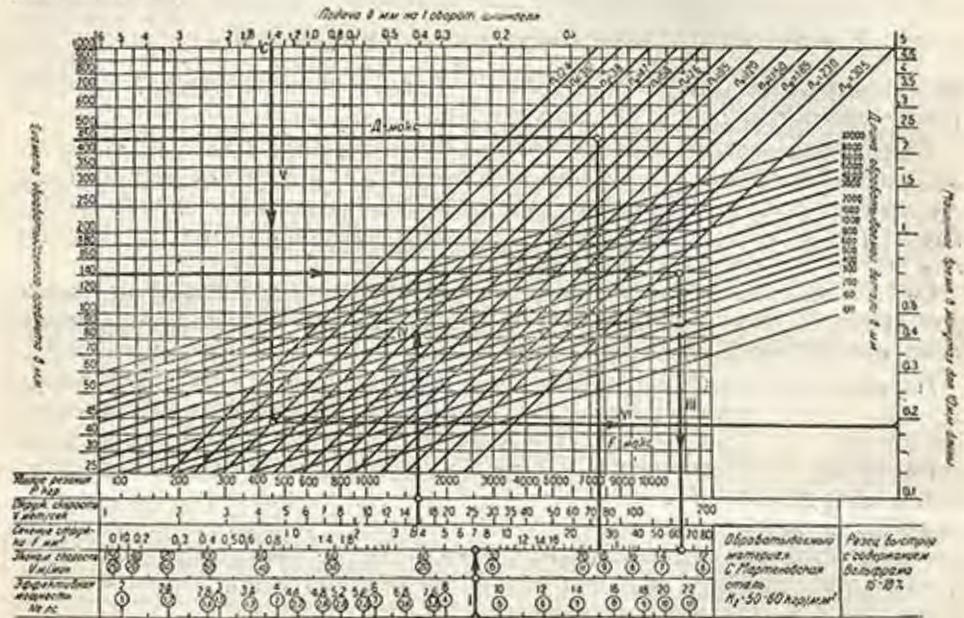


Рис. 5. Номограмма рационального использования токарного станка. Цифры в кружках обозначают значение экономической скорости и эффективной мощности при работе быстрорежущего резца; цифры без кружков — при работе с твердыми сплавами.

Не останавливаясь на методике пользования номограммами<sup>14</sup>, отметим, что решение задачи заключается в следующем. Имеется станок мощностью  $N$  л. с.; обрабатываемый материал с  $K$ , кг/мм<sup>2</sup> и с диаметром  $D$ ; глубина резания — припуск  $t$  мм, резец из быстрорежущей стали. Исходя из максимальной мощности, находим максимальное сечение стружки  $F$  мм<sup>2</sup>, максимальную скорость резания  $v$  м/мин., усилие резания  $P$  кг и максимальную подачу  $s$  при глубине резания  $t$ . Зная диаметр, исходя из максимальной скорости, определяем число оборо-

<sup>14</sup> См. Инж. Беспрозваный, «Организация», № 12, 1932, стр. 16.

тов шпинделя. Далее определяем крутящий момент (двойной) на шпинделе  $M$  кг/мм. Если станок «везет», то на этом решение задачи «наивыгоднейшего использования» заканчивается.

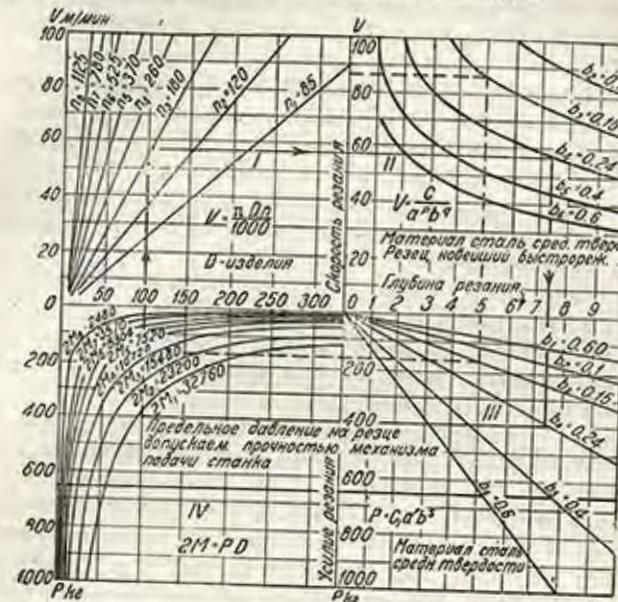


Рис. 6. Циклограмма проф. А. В. Панкина для наивыгоднейшего использования станка при обработке стали средней твердости.



Рис. 7. Линейка инж. Б. С. Каткова для рационального использования токарного станка.

Как видим, сущность решения задачи «наивыгоднейшего использования» заключается в нахождении максимальных скоростей резания и подач, которые выдерживали бы как станок, так и инструмент, причем всегда стремятся нагружать станок на полную мощность.

Теперь перейдем к анализу основных положений «Теории рационального использования металлорежущих станков», для чего: 1) проанализируем, что дают вышеприведенные формулы (8, 9, 10) и от

каких аргументов они зависят; 2) определим, какая из приведенных формул является верной, на основе какой из них можно будет решить задачу наилучшего использования станочного оборудования.

Рассматривая формулы производительности (8), замечаем, что  $Q = f(F, v, \gamma)$  или  $Q = f(\gamma, s, t, D, n)$ , т. е. что производительность станка зависит:

1) от удельного веса<sup>15</sup> обрабатываемого материала; следовательно, выходит так, что, если мы от обработки стали перейдем к обработке, положим, свинца, то производительность станка увеличится, а если перейти на обработку деталей из алюминия, то производительность в несколько раз снизится; рассуждения здесь излишни, здравый рас-судок не может допустить такого положения для металлообрабатывающего станка, производящего изделия;

2) от глубины резания; это означает, что чем больше с дан-ного изделия следует снять металла, тем больше будет производи-тельность станка; опять-таки здравый смысл подсказывает, что чем мень-ше металла нам следует снимать, чем меньше припуск, тем больше будет производительность станка;

3) от подачи на оборот шпинделя; т. е. чем больше по-дача за 1 оборот изделия, тем больше будет производительность, что является, вообще говоря, верным;

4) от числа оборотов шпинделя в минуту при данном диа-метре; очевидно, и в этом случае производительность растет.

Просмотр всех величин, входящих в формулу производительности, приводит к заключению, что формула производительности содержит в себе величины ( $\gamma, t$ ), ничего не говорящие о действительной произ-водительности. Таким образом, данная формула не характеризует ра-боту металлорежущего станка, производящего изделия, а скорее всего характеризует работу какого-то специального станка, производ-ящего стружки, с весовой единицы меры производительности. Здесь следует вспомнить слова производителей: «Мы изготавлием не стружки, а предметы нашего производства».

Формулы (8), кроме отмеченных посторонних величин, одновремен-но не имеют одного основного аргумента — длины об-рабатываемого материала. По этим формулам выходит, что совершенно безразлично — обрабатывается ли деталь в 1 м или в 1 см — все равно производительность остается неизменной.

Переходя к ф-ле (9), на основании соответствующих цитат, предста-вим ее в виде  $Q = f(l, s, n)$ , т. е. производительность прямо пропор-циональна подаче за оборот шпинделя, числу оборотов шпинделя в минуту и обратно пропорциональна длине обработки. Причем форму-ла, как видим, не засорена посторонними элементами. И тем самым является как бы верной.

В самом деле, представим себе изделие, у которого требуется обра-батывать соответствующий прилив в виде площадки, положим на стро-гальном станке. Ясно, что за каждый ход резца изделие перемещается на величину подачи  $s$ . Таким образом, при каждом ходе снимается по-лоска шириною  $s$ ; за минуту же, при  $n$  ходов в минуту, снимается ши-

<sup>15</sup> Удельный вес вообще не является величиной, в какой-либо мере влияющей на процесс резания.

рина, состоящая из  $ns$  полосок. Следовательно, казалось бы, за одну минуту обработаем  $\frac{ns}{l}$  штук изделий с шириной обработки  $l$ .

Или представим себе обточку некоторой детали на токарном станке. Требуется определить производительность данного станка. Известно число оборотов шпинделя  $n$ , подача  $s$  и длина, которую требуется об-работать, —  $l$ . Рассматривая снимаемый слой как резвертку цилиндра, получим, что ширина полоски  $s$  представляет подачу за оборот изде-лия. Очевидно, за  $n$  оборотов изделия в минуту обрабатывается ши-рина  $ns$ . Следовательно, казалось бы, пропускная способность стан-ка — минутная производительность — будет  $\frac{ns}{l}$  при обработке

длины  $l$  и т. п.

Формулу (9) можем представить в виде

$$Q = \frac{ns}{l} \quad (12a)$$

или

$$Q = \frac{1000 \, tv}{\pi \, ds}, \quad (12b)$$

где все аргументы нам известны.

Однако может встать вопрос, почему в формулу не входит глубина и коэффициент резания; казалось бы, эти величины должны влиять на производительность станка (только не так, как в предыдущих форму-лах). В самом деле, как было сказано выше, большая глубина резания и увеличенная твердость обрабатываемого материала будет уменьшать производительность станка.

Здесь достаточно напомнить, что величины, входящие в формулу (12a),  $s$  и  $v$ , как было сказано выше, определяются, исходя из качества как обрабатываемого материала, так и режущего инструмента, по фор-мулам (11). Таким образом, оба приводимые здесь аргумента имеют косвенное влияние на производительность станка. Таким образом, фор-мула (12) в этом отношении верна и характеризует производи-тельность станка, производящего изделия.

Формула (10), в которой производительность выражена в л. с., дает не более утешительные результаты;  $N = f(F, K_s, v)$  или  $N = f(t, s, K_s, v)$ , т. е. производительность станка зависит:

1) от глубины резания; все сказанное относительно глу-бины резания в формуле (9) остается в силе;

2) от коэффициента резания; т. е. чем тверже обрабаты-ваемый материал, тем больше производительность: стоит вместо лату-ни обрабатывать твердую сталь или работать тупым резцом, как про-изводительность увеличится — явный абсурд;

3) от скорости резания; то же, что и от увеличения числа оборотов;

4) от подачи на оборот шпинделя; имеет место ска-занное относительно формулы (9).

Просмотр всех аргументов в формуле (10) показывает, что в формулу производительности для станка (токарного) входят случайные величи-ны  $K_s$  и  $t$ . Очевидно, здесь имеет место явно необдуманное примене-ние термина «производительность станка».

Переходя к анализу по существу приведенных формул, с точки зрения закона производительности рабочих машин, сделаем некоторые допущения в пользу приведенных формул. Так, допустим, что вышеприведенные формулы производительности (8, 9, 10) характеризуют работу каких-то рабочих машин, что: 1) формула (8) дана для специальной машины, производящей металлическую стружку; 2) формула (12), полученная нами из формулы (9), — для станка, производящего изделия, и наконец, 3) формула (10) — для «машин, расходующей энергию». На основе закона производительности должны отметить, что и в этом случае все формулы, в том числе и (12), неверны.

В самом деле, все здесь приведенные формулы, безразлично для каких рабочих машин они служат, не учитывают одного основного фактора — ни одна из формул не учитывает вспомогательную работу машины, ни одна из формул не учитывает холостого хода машины. Все формулы выведены на основе изоляции рабочих ходов машины от холостых и тем самым «выведенное» может быть справедливо лишь для идеальной рабочей машины, где отсутствуют какие-либо вспомогательные работы.



Рис. 8.

Таким образом, вышеприведенные формулы не дают представления о действительной производительности станка. Так, например, зная по форм. (8, 9) часовую производительность машины, производящей стружки, казалось бы, мы можем определить производительность и за произвольное количество часов непрерывной работы машины. Очевидно, что этого делать нельзя, и на деле взятыми из «Теории рационального использования металлорежущих станков» формулами не пользуются. Эти формулы, как было сказано выше, служат основой для «теории рационального использования металлорежущих станков», и их неверность в первую голову говорит о неверности основных положений самой «Теории рационального использования металлорежущих станков». Что же касается расчета производительности, на практике исходят из количества необходимого времени на производство детали.

Как было сказано, работа машины складывается из работы рабочих ходов и из работы вспомогательных ходов. Следя за работой любого металлорежущего станка (скажем, токарного), отмечая каждое «начало» и «конец» обработки изделия, можем работу станка представить графиком (рис. 8) так же, как это мы сделали для произвольной рабочей машины. Откладывая по оси абсцисс эквивалентную величину — число оборотов шпинделя, получим, что каждому моменту времени будет соответствовать определенное число оборотов. Так, за время полного цикла  $T$  шпиндель станка сделает  $n$  оборотов. Очевидно, что

за эти обороты шпинделя изготовится одно изделие, и, следовательно, часть этих оборотов используется на действительную обработку изделия — снятие стружки, часть же происходит в холостую<sup>16</sup>, когда производятся вспомогательные ходы, т. е. когда стружка не снимается.

Обозначая число оборотов шпинделя, за время которого производится снятие стружки, через  $n_p$ , число оборотов шпинделя в минуту через  $n_m$ , исходя из рабочего цикла, можем написать:

$$Q = \frac{n_w}{n_p} \left( 1 - \frac{t_x}{T} \right). \quad (13)$$

Отсюда видим, что производительность металлорежущего станка зависит также от двух факторов. В первом факторе  $\frac{n_w}{n_p}$  числитель представляет число оборотов шпинделя станка в минуту  $n_w = \frac{1000 v}{\pi d}$  и зависит от скорости резания и диаметра обрабатываемого материала; в конечном счете он определяется, исходя из качества инструмента и обрабатываемого материала, на основе данных теории резания. Знаменатель же этого фактора есть сумма оборотов всех несовмещенных операций:  $n_p = \sum n$  или  $n_p = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m$ , которые, в свою очередь, равняются:  $n_1 = \frac{l_1}{s_1}$ ;  $n_2 = \frac{l_2}{s_2}$  и т. д.

Следовательно,

$$n_p = \sum \frac{l}{s}, \quad (14)$$

где  $l$  — длина рабочего хода и  $s$  — подача за оборот шпинделя.

Следовательно, знаменатель технологического фактора при данной длине обработки зависит: 1) от режима работы — подачи за оборот шпинделя; 2) от способа обработки (например, в зависимости от того, каким образом ведем обточку — продольными или поперечными резцами, мы должны учитывать соответствующую длину обточки); 3) от конструктивных возможностей станка (могут ли несколько инструментов работать совместно).

Итак, технологический фактор, учитывая, с одной стороны, производственные возможности станка — его вооруженность ( $v, s$ ), с другой — объем работы ( $l, d$ ), которую следует выполнить, представляет производительность станка при условии непрерывной работы его, без холостых ходов, или, как было сказано раньше, представляет фиктивную производительность станка.

Принимая прежнее обозначение, напомним

$$K = \frac{n_w}{n_p} \text{ шт./мин.} \quad (15)$$

или

$$K = \frac{n_w}{\sum \frac{l}{s}} \text{ или, что то же, } K = \frac{1000 v}{\pi d \sum \frac{l}{s}} \quad (15a)$$

<sup>16</sup> Может быть, что шпиндель в это время остановлен. Однако, это не мешает нам заменить время через обороты шпинделя.

Для процесса с одной рабочей операцией, очевидно, будем иметь:

$$K = \frac{n_{ш} s}{l} \text{ или } K = \frac{100 v s}{\pi d l} \quad (15b)$$

Сравнивая выражения (15a, 15b) с формулой (12), видим, что формула (12) в целом представляет не что иное, как технологический фактор, или фиктивную производительность станка.

Рассматривая второй фактор производительности:  $1 - \frac{t_x}{T}$  (см. ур. 14), видим, что в эту часть не входят данные, характеризующие технологический процесс, что величины, входящие в эту часть, характеризуют использование технологического фактора, т. е. представляют собою коэффициент производительности станка.

Подставляя значение технологического фактора из (15a) в уравнение производительности станка (13), получим:

$$Q = \frac{1000 v}{\pi d \sum \frac{l}{s}} \left( 1 - \frac{t_x}{T} \right) \quad (13a)$$

или, подставляя значение технологического фактора из (15), получим

$$Q = K \cdot \frac{1}{K t_x + 1} \quad (3)$$

т. е. формула производительности металлорежущего станка имеет тот же вид, что и формула для любой рабочей машины.

Таким образом, все сказанное относительно рабочих машин целиком может быть отнесено к металлорежущим станкам.

Тогда основные законы «Теории рационального использования металлорежущих станков», гласящие, что производительность станка пропорциональна: 1) скорости резания (для достижения большей производительности необходимо работать на максимальных скоростях резания), 2) подаче (всегда необходимо работать на максимальных подачах); 3) расходуемой мощности (всегда необходимо нагружать станок на максимальную мощность), — следует признать неверными.

Мы видели, что всякое увеличение технологического фактора приводит к снижению коэффициента производительности и тем самым не дает пропорционального увеличения производительности. Это ясно и из формулы (13a). Повышение технологического фактора, очевидно, приводит к уменьшению времени обработки изделия, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента производительности, ибо при этом время холостого хода остается постоянным. Отсюда видно, что огульное повышение технологического фактора не может быть названо «рациональным использованием станка», хотя бы это повышение не отражалось вредно на станке и инструменте.

Для пояснения обратимся к примерам.

Пример первый. В пеху на обычном универсальном токарном станке обрабатывается изделие, представленное на рис. 9, материал — литая сталь,  $K_c = 30-40 \text{ кг/мм}^2$ , инструмент — быстрорежущая сталь, установленная скорость резания 34 м/мин. при числе оборотов шпинделя  $n_{ш} = 450 \text{ об/мин.}$

Рассматривая работу станка с точки зрения «Теории рационального использования», с помощью номограмм, «циклограмм» или специальной линейки, мы устанавливаем, что взятые скорости резания для данного инструмента, обрабатываемого материала, при данных подачах и глубинах, чрезвычайно малы и мощность станка полностью не используется. Следовательно, налицо явное неиспользование станка, налицо скрытые возможности повышения производительности станка с точки зрения той же теории.

Поступая по указаниям этой теории, для данной подачи и глубины, положим, следует установить скорости резания  $v = 56 \text{ м/мин.}$  Однако в силу отсутствия в станке соответствующих чисел оборотов, мы принуждены обработку вести на следующей низшей ступени при  $n_{ш} = 610 \text{ об/мин.}$ , что даст нам скорость  $v = 46 \text{ м/мин.}$ , таким образом, мощность станка и инструмент остаются не вполне использованными.

При этом имеем повышение скоростей резания по сравнению с существующим в пеху примерно на 35,4%. Если же нам удалось бы установить «рациональные» скорости резания ( $v = 56 \text{ м/мин.}$ ), т. е., если в нашем распоряжении был бы станок с более «рациональной» коробкой скоростей, скажем, как у станка ДИП (см. рис. 11), то в этом случае имели бы повышение скоростей резания против существующих в пеху на 65%.

Перейдем к расчету производительности и на основе закона производительности посмотрим, рациональны ли вышеприведенные мероприятия.

При условиях работы на универсальном токарном станке имеем, что на все рабочие хода для обработки этой детали при установленных подачах требуется 1250 оборотов шпинделя, т. е. при данной вооруженности станка  $n_p = 1250$ . Тогда, зная число оборотов шпинделя в минуту, определим фиктивную производительность станка для режима, установленного в пеху:

$$K = \frac{n_{ш}}{n_p} = \frac{440}{1250} = 0,36 \text{ шт./мин.},$$

т. е. если станок не имел бы дополнительных затрат времени, сопровождающих работу станка, то производительность была бы 0,36 штуки в минуту.

Применяя формулу производительности (13a) или имея вычисленное  $K$  (формулу 3), будем иметь:

$$Q = 0,36 \cdot \frac{1}{0,36 t_x + 1} \text{ шт./мин.}$$

Как видим, формула требует дополнительных данных, а именно учета времени на вспомогательные хода  $t_x$ . Подставляя примерно потребное время на вспомогательные хода  $t_x = 5 \text{ мин.}$ , получим:  $Q = 0,36 \cdot 0,357 \approx 0,13 \text{ шт./мин.}$  или за час работы станка 7,8 шт.

Теперь определим производительность станка после «рациональных» мероприятий, диктуемых «Теорией рационального использования» на основе внедренных (внедряемых в пех) номограмм «рационального» использования,

Повышение скоростей резания на 35,4% даст пропорциональное увеличение технологического фактора. В этом случае  $K = \frac{610}{1250} = 0,49 \text{ шт./мин.}$  и  $Q = 0,49 \cdot 0,29 \approx 0,14$ ,

что означает увеличение производительности станка по сравнению с производительностью станка в пеху на 10%.

Что же бы мы получили, если бы нам удалось установить так называемый «рациональный» режим? Подсчитаем производительность и для этого случая, т. е. при  $v = 56 \text{ шт./мин.}$

$$K = \frac{750}{1250} = 0,6 \text{ и } Q = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ шт./мин.},$$

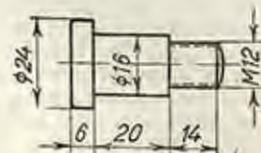


Рис. 9.

что означает увеличение производительности по отношению производительности станка с существующим в цеху режимом на 15,4%.

Таким образом, повысив скорости резания на 65%, применив дорогой станок с «рациональной» коробкой скоростей, увеличив расход энергии, работая на высоких числах оборотов, получили увеличение производительности всего лишь на 15,4%. Вместо обещанного «Теорией рационального использования» увеличения производительности на 65%. Как видим, здесь не может быть и речи о пропорциональном повышении производительности станка.

Очевидно, картина не изменилась бы, если бы повышение технологического фактора мы произвели, скажем, за счет внедрения твердых сплавов. В данном случае, кроме расхода дорогого инструмента, имела бы место излишняя перегрузка механизмов станка (работа на максимальных числах оборотов), в то время как повышение производительности было бы ничтожно.

Пример второй. Оставляя все условия прежними, т. е. не меняя существующего режима резания в цеху, частично сократим время на вспомогательные ходы установкой на суппорте станка квадратной режущей державки, применением упора для установки материала и т. д., скажем, на столько же, на сколько мы повысили скорости резания, т. е. на 35,4%; тогда  $t_x = 3$  мин., вместо прежних 5 мин. Согласно всем существующим формулам «Теории рационального использования» никакого повышения производительности быть не должно.

Однако в действительности имеем:  $Q = 0,36 \cdot 0,48 \approx 0,17$  шт./мин., т. е. без всяких дополнительных затрат энергии, без перегрузки механизмов станка, без повышенного расхода инструмента, при лучших условиях для рабочего, имеем повышение производительности того же станка на 34%.

Формула производительности (3) прямо говорит, что дальнейшее повышение технологического фактора в вышеприведенных примерах должно считаться недопустимым, вредным и что единственно правильным путем повышения производительности в этом случае является сокращение вспомогательного времени, какими бы путями ни шло это сокращение—за счет ли внедрения приспособлений, сокращения времени установки снятия изделия; ускоренного подвода и отвода инструментов, применения квадратной режущей державки и т. д., или путем передачи обработки этой детали на револьверный станок.

Пример третий. Для простоты оставим те же условия в силе. Требуется определить производительность револьверного станка, при обработке той же детали, с оставлением прежнего режима резания, без изменения технологического фактора, т. е. при том же режущем инструменте из быстрорежущей стали, при тех же числах оборотов шпинделя (610 об./мин.) и  $n_p = 1250$  об./мин. Очевидно, и в этом случае производительность станка с точки зрения «Теории рационального использования» не должна меняться. В действительности же будет иметь место сокращение холостых ходов, а, стало быть, по формуле (3)—повышение производительности. Полагая для револьверного станка при обработке этой детали  $t_x = 1,5$  мин., получим:  $Q = 0,36 \cdot 0,66 = 0,24$  шт./мин., что означает повышение производительности на 83%.

Пример четвертый. Продолжая обработку той же детали на револьверном станке, попробуем теперь увеличить технологический фактор при новых условиях, причем это увеличение произведем не за счет применения дорогого инструмента, или «рациональной» коробки скоростей, а за счет совмещения некоторых операций, что возможно производить на револьверном станке. Следовательно, при этом будет сокращение оборотов на рабочие операции; положим, что  $n_p = 750$  вместо 1250. Тогда  $K = \frac{450}{750} = 0,6$ , т. е. имеем технологический фактор, равный тому, который мы имели в первом примере после внедрения «рациональной» коробки скоростей.

Производительность будет  $Q = 0,6 \cdot 0,53 = 0,32$  шт./мин. Таким образом, увеличение технологического фактора на 65% в данном случае даст увеличение производительности на 25% (в первом примере имеем 15,4%), а полное повышение производительности по отношению к токарному станку при режиме резания в цеху (пример первый) будет равно 146%.

Это означает, что путем последовательного повышения  $K$  мы достигли такой производительности, которой никакими мероприятиями, вытекающими из «Теории рационального использования» достичь нельзя. Лишь после того, как мы повысили коэффициент производительности, стало возможным дальнейшее повышение технологического фактора.

Пример пятый. Та же деталь обрабатывается на револьверном автомате. Оставляя технологический фактор из 1-го примера, определим производительность станка при условии сокращения вспомогательного времени  $t_x = 7,2$  сек., или 0,12 мин. что является практически возможным для указанного автомата:  $Q = 0,36 \cdot 0,96 = 0,34$  шт./мин.

Учитывая чрезвычайно высокий коэффициент производительности, мы приходим к выводу, что дальнейшее повышение производительности рационально произвести за счет технологического фактора и что автоматизация станка не даст ощутительного повышения производительности. Следовательно, применение еще более совершенного автомата, скажем автомата «без мертвых времен», будет иррационально.

Итак, принимая  $v = 56$  м/мин., что соответствует  $n_{ш} = 750$  об./мин. (т. е. работу ведем на резе из быстрорежущей стали), и при  $n_p = 510$  об./мин. получим:  $K =$

$$= \frac{750}{510} = 1,47, \text{ и } Q = 1,47 \cdot 0,85 = 1,25 \text{ шт./мин.}$$

Это означает повышение производительности по сравнению с токарным станком указанным в первом примере, на 860%.

Сведя результаты вычислений предыдущих примеров в таблицы, получим наглядную картину, показывающую рост производительности: в таблице I—за счет повышения технологического фактора, в таблице II—за счет увеличения коэффициента производительности и, наконец, в таблице III—за счет повышения обоих факторов.

Таблица I

K	$\eta$	Q	%
0,36	0,36	0,13	100
0,49	0,29	0,14	110
0,60	0,25	0,15	115
—	—	—	—

Таблица II

K	$\eta$	Q	%
0,36	0,36	0,13	100
0,36	0,48	0,17	134
0,36	0,66	0,24	183
0,36	0,96	0,34	262

Таблица III

K	$\eta$	Q	%
0,36	0,36	0,13	100
0,60	0,53	0,32	146
1,47	0,85	1,25	860
—	—	—	—

Таблица I показывает, что с ростом технологического фактора имеет место падение коэффициента производительности, пригодное к незначительному повышению производительности. Рост производительности заметно сокращается с ростом технологического фактора. В целом таблица говорит о невозможности повышения производительности лишь за счет одного технологического фактора (это возможно лишь для идеальной машины).

В отличие от таблицы I, таблица II показывает ощутительный рост производительности за счет увеличения коэффициента производительности при постоянном технологическом факторе. Здесь также наглядно видно, что дальнейшее повышение производительности невозможно за счет одного коэффициента производительности. Очевидно, с достижением предела, т. е. когда  $\eta = 1$ , дальнейший рост производительности совершенно прекращается.

Только таблица III указывает путь дальнейшего повышения производительности путем рационального сочетания обоих факторов.

Для синтеза всех примеров рассмотрим закон производительности в виде графика (рис. 10), где наглядно можем проследить за всеми вышеприведенными примерами.

Рассматривая работу токарного станка, видим, что действительно повышением технологического фактора мы ничего бы не добились,—вернее, кроме расхода энергии, инструмента и порчи оборудования, ничего бы не получили, так как кривая производительности этого станка не дает ощутительного повышения производительности уже после  $K = 0,4$ . Однако, вопреки здравому смыслу, по «Теории рационального резания», по номограммам и «циклограммам» этой теории мы были бы обязаны идти именно по этому пути.

Сокращая время на холостые ходы, повышая коэффициент производительности, мы сразу получаем возможность повысить производительность, идя по вертикали вверх, до кривой того же станка, но с сокращенными вспомогательными ходами. Как показывает эта кривая, здесь легче повысить производительность за счет повышения технологического фактора, чем для первой кривой. Но все же это повышение

ничтожно по сравнению с тем, чего можно достигнуть, переходя на третью кривую т. е. на револьверный станок, где получим повышение производительности на 83% при том же технологическом факторе.

В свою очередь кривая револьверного станка (III) наглядно показывает возможность повышения производительности за счет увеличения технологического фактора, поэтому в данном случае будет рационально это мероприятие. Однако, после некоторого увеличения производительности эта кривая также становится пологой и дальнейшего ощутительного повышения коэффициента производительности не дает. Это указывает, что после некоторого повышения следует снова идти по пути повышения коэффициента производительности, т. е. перейти на следующий станок с более сокращенным временем холостых ходов. Действительно, переход на автомат нам дает резкий скачок производительности.

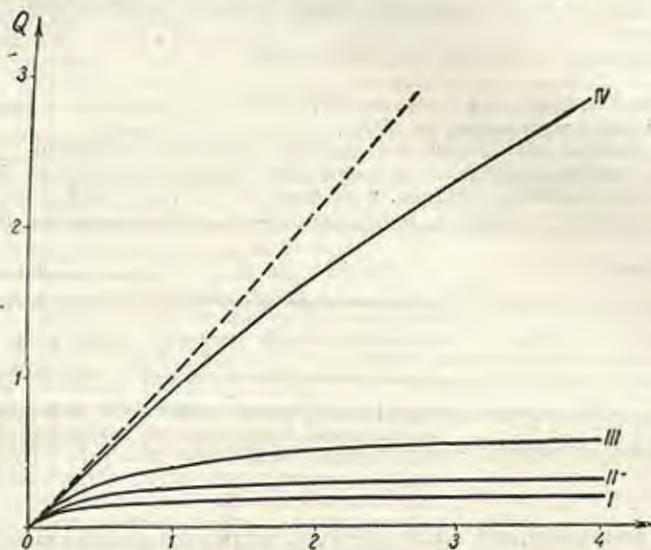


Рис. 10.

Увлечшись повышением производительности за счет сокращения  $t_x$ , мы могли бы поставить себе целью во что бы то ни стало сократить  $t_x$  до нуля, хотя бы это было связано с большими затратами, как это делает «Теория рационального резания» по отношению повышения режима резания, внедрения «Победита» и т. п.)

Однако график показывает, что этого делать нет смысла, что это не даст ощутительного повышения производительности. Наоборот, кривая производительности автомата IV показывает, что в данном случае есть возможность и необходимость повысить технологический фактор, безразлично за счет чего это повышение произойдет: положим за счет того же «Победита», который неуместно внедрялся на токарный станок.

Далнейшее повышение технологического фактора, как показывает кривая автомата, также приведет к аналогичным результатам, т. е. производительность перестанет ощутительно повышаться при высоком технологическом факторе. График и в этом случае указывает, что следует переходить на следующую степень, что нельзя ограничиваться данным станком. Здесь уже становится актуальным разрешение проблемы построения станка «без мертвых времен».

Итак, где гарантия у авторов так называемой «Теории рационального использования», «наивыгоднейшего использования», «рационального резания», что в каждом отдельном случае они своей «научно-обоснованной» «рационализацией» не попадут за пределы, которые указываются законом производительности? Где гарантия у нашего про-

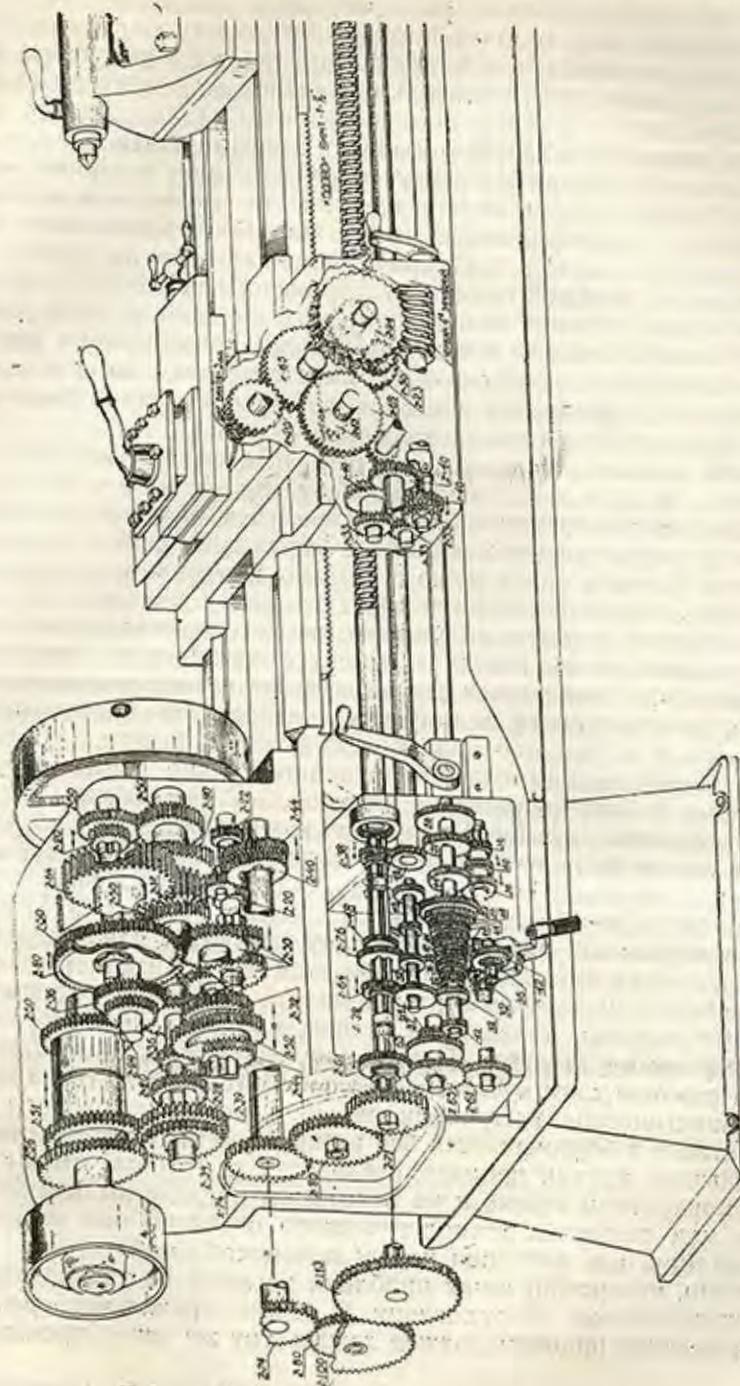


Рис. 11. Токарно-винторезный станок марки «ДИП».

изводственника, что «Теория рационального использования» на деле не превращается в «Теорию рациональной порчи оборудования», что она не приводит зачастую к чудовищному расходу режущего инструмента, к внедрению дорогих твердых сплавов там, где этого совершенно не требуется.

Всюду и везде эта «Теория» клеймит производителей, что они не подчиняются последнему слову «рационального резания», что они работают больше чутьем, «на-глазок» вместо применения номограмм, «циклограмм», логарифмических положений «Теории», которые сами по себе являются неверными. Неудивительно, что производитель, в особенности рабочий у станка, решая задачу производственным чутьем, как говорят «на-глазок», зачастую все же дает более рациональные предложения, повышая производительность станка введением по существу простых и дешевых изменений в его работу, чем «научно-обоснованная» «Теория рационального использования».

Итак, мы обязаны признать, что основные положения «Теории рационального использования» не только устарели, но в корне неверны, будучи плодом умозрения и спекулятивного мышления, как это ярко видно на примерах разбора основных формул (8, 9, 10). Практический смысл этих формул равен нулю и только поэтому эмпирические навыки, чутье производственника зачастую дают большие результаты, чем пользование формулами ученых книжек, по камертону которых мы настраиваем мозги наших молодых специалистов. Однако совершенно ясно, что полагаться на навыки производственников мы не можем, и это тем более недопустимо, когда речь идет о современном станочном парке и о создании советского станка. Нам нужен прочный теоретический фундамент действительно рационального использования и конструирования станков, — фундамент, столь же близкий к производственной практике, как и к науке.

Может ли он быть создан путем абстрагирования от органически связанных с машиной ее холостых ходов и рассмотрения только одной технологии, как это делает наша школьная мудрость. Нет, не может. Ибо отрывание рабочих ходов от холостых означает абстрагирование процесса производства от экономики производства, приводит к безнадежному механицизму, в результате чего вместо станков, производящих изделия, появляются станки, производящие стружки, при этом непрерывного действия. Повышение технологического фактора, на котором строила свои «успехи» школьная «теория», есть не что иное, как механистическое экстраполирование условий некоторого отрезка работы станка в бесконечность без всякого учета тех изменений, которые указывает кривая производительности и которые имеют место в данном конкретном станке и на некотором пределе вызывают необходимость или снижения технологического фактора, или перехода на другой станок, или введения новых приспособлений.

Очевидно, что разбираемая проблема касается не только рационального использования оборудования. В основе правильного решения не менее серьезных проблем должен лежать тот же закон производительности.

Техническое нормирование, являясь звеном между технологией и экономикой, до сего времени имея в своей основе «Теорию рациональ-

ного использования», неминуемо ошибается и вводит ряд своих ошибок в самую кровь заводского организма — в экономику завода. В этом случае ошибочные формулы школьной теории рационального использования бьют не только по использованию отдельного станка, но и по использованию заводского оборудования в целом, по расходам на труд, по планированию производства — по выполнению техпромфинплана.

Лишенное в прошлом почти всякой станкостроительной культуры, наше станкостроение до сих пор в большой еще мере принуждено идти ощупью, и случай, произвольные консультации, поверхностные впечатления отдельных людей часто руководят нами как при закупке импортного оборудования, так и при построении собственных станков. «Теория рационального использования» и в этом случае не только не помогает, но на деле тянет назад наше станкостроение. Только влиянием этой школьной «теории» можно объяснить то положение, что до сего времени мы не строим станков автоматов, современных высокопроизводительных станков: эта «теория» настаивала и продолжает настаивать на создании «рациональных» станков с «рациональными» коробками скоростей, с «рациональными» числами оборотов и подач, т. е. таких машин, характеристики коих диктуются формулами, номограммами этой «теории».

Не останавливаясь более на проблеме автоматизации, реконструкции морально изношенного оборудования и т. д., мы должны отметить необходимость решительного пересмотра всех существующих теорий, существующей практики станочного импорта, существующих тенденций конструирования новых типов станков на наших станкостроительных заводах, существующих методов технормирования и т. д.

Мы убеждены, что наш анализ и наши положения многие попытаются представить как уже давно известные и отмахнуться от них как от азбучных истин, понятных и без научной аргументации. Этот путь, по которому любят идти некоторые наши «авторитеты», путь самый легкий, но и самый неправильный.

Важно не то, что такие-то элементы нашей теории были рассыпаны по отдельным курсам и учебникам, а то, что до сих пор некоторой целью системы их, как основы действительно рационального использования станков, не существовало. Между тем, без стройной теории, без научного фундамента — ни использования, ни правильного подбора оборудования, ни производства действительно необходимых нам станков мы не можем поставить.