

ВЛИЯНИЕ УСИЛИЯ ПОДАЧИ НА СКОРОСТЬ БУРЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ БУРИЛЬНЫМИ МОЛОТКАМИ

О. Д. АЛИМОВ

Бурение шпуров пневматическими бурильными молотками до последнего времени является одним из трудоемких и тяжелых процессов при проведении буро-взрывных работ.

Одной из актуальных задач, стоящих перед горным машиностроением, является интенсификация буро-взрывных работ за счет дальнейшей механизации и автоматизации процесса подачи бурильной машины на забой в процессе бурения. В связи с этим было предложено и предлагается значительное количество различных автоматических подающих устройств—пневматических, вибрационных, дифференциальных и других автоподатчиков [1], а также различных регуляторов давления податчиков на забой [2]. Значительно меньше внимания уделялось экспериментальному и теоретическому исследованию влияния усилия и характера подачи бурильных молотков на скорость бурения и устойчивость работы бурильных молотков.

При определении необходимого осевого усилия для подачи пневматического бурильного молотка на забой в большинстве случаев ссылаются на работу А. К. Сидоренко [1], на основании которой считают, что оптимальное усилие подачи бурильного молотка на забой должно выбираться из условия полного прижатия бура к забою во время бурения, а при бурении горных пород средней и малой крепости—также из условия обеспечения скалывания породы при вращении бура после его внедрения в породу. Для определения оптимального усилия подачи рекомендуется эмпирическая формула:

$$Q = \frac{P_1 + P_2}{4} \pm Q \sin \alpha, \quad (1)$$

где P_1 — сила, движущая поршень при ходе вперед, кг,
 P_2 — сила, движущая поршень при ходе назад, кг,
 Q — вес корпуса молотка, кг,
 α — угол, образуемый направлением осевого усилия с горизонтальной плоскостью.

Так как сопротивление вращению бура не должно превышать крутящий момент, развиваемый механизмом поворота бура, то рекомендуется, чтобы осевое давление было не больше

$$Q' = \frac{M_{кр} - P_c r_2}{f r_2}, \quad (2)$$

где $M_{кр}$ — максимальный крутящий момент, развиваемый поворотным устройством бурильного молотка, кг. см,
 P_c — усилие, необходимое для скалывания породы, кг,
 r_2 — приведенный радиус головки бура, см,
 f — коэффициент трения головки бура о породу.

Отсутствие в литературе достаточных данных для определения величин, входящих в формулу (1) и (2), а также данных, подтверждающих справедливость данной теории, создает значительные трудности при использовании ее в практике, для выбора конструкций и параметров податчиков пневматических бурильных молотков. С другой стороны, проведенные нами исследования ударно-вращательного бурения [3; 4; 6] показали, что наиболее целесообразное использование энергии удара на разрушение горной породы происходит не при постоянном прижатии лезвия бура к горной породе, а в случае, когда обеспечивается некоторый отход корпуса молотка от ограничительного буртика бура и отскок бура от горной породы. При этом обеспечивается максимальная скорость бурения, наиболее легкое проворачивание бура в шпуре и наименьший износ инструмента.

Для выявления влияния усилия подачи на скорость бурения современными пневматическими бурильными молотками были проведены испытания бурильных молотков ПМ-508 и ПР-30к.

Бурильные молотки испытывались в пневматической лаборатории Томского электромеханического завода. Конструкция установки обеспечивала запись амплитуды колебания корпуса бурильного молотка, продольных перемещений и изменения угловой скорости вращения бура. Во время опытов замерялось число ударов, число оборотов бура, скорость бурения в зависимости от усилия подачи. Усилие подачи создавалось поршневым пневматическим податчиком и изменялось за счет изменения давления воздуха. Бурение производилось без промывки по диабазу, с крепостью по таблице профессора Протодяконова $f 14 \div 16$, бурами длиной 0,7 м с буровыми коронками однодолотчатой формы диаметром 45 мм, армированными пластинами твердого сплава ВК-15.

Опыты показали, что усилие подачи оказывает существенное влияние не только на скорость бурения, но и на устойчивость работы пневматических бурильных молотков.

Зависимость скорости бурения, среднего отхода корпуса молотка от ограничительного буртика бура, угла поворота бура между ударами и числа ударов в минуту, от усилия подачи для молотка ПМ-508 и ПР-30к при различном давлении воздуха представлена на фиг. 1, 2.

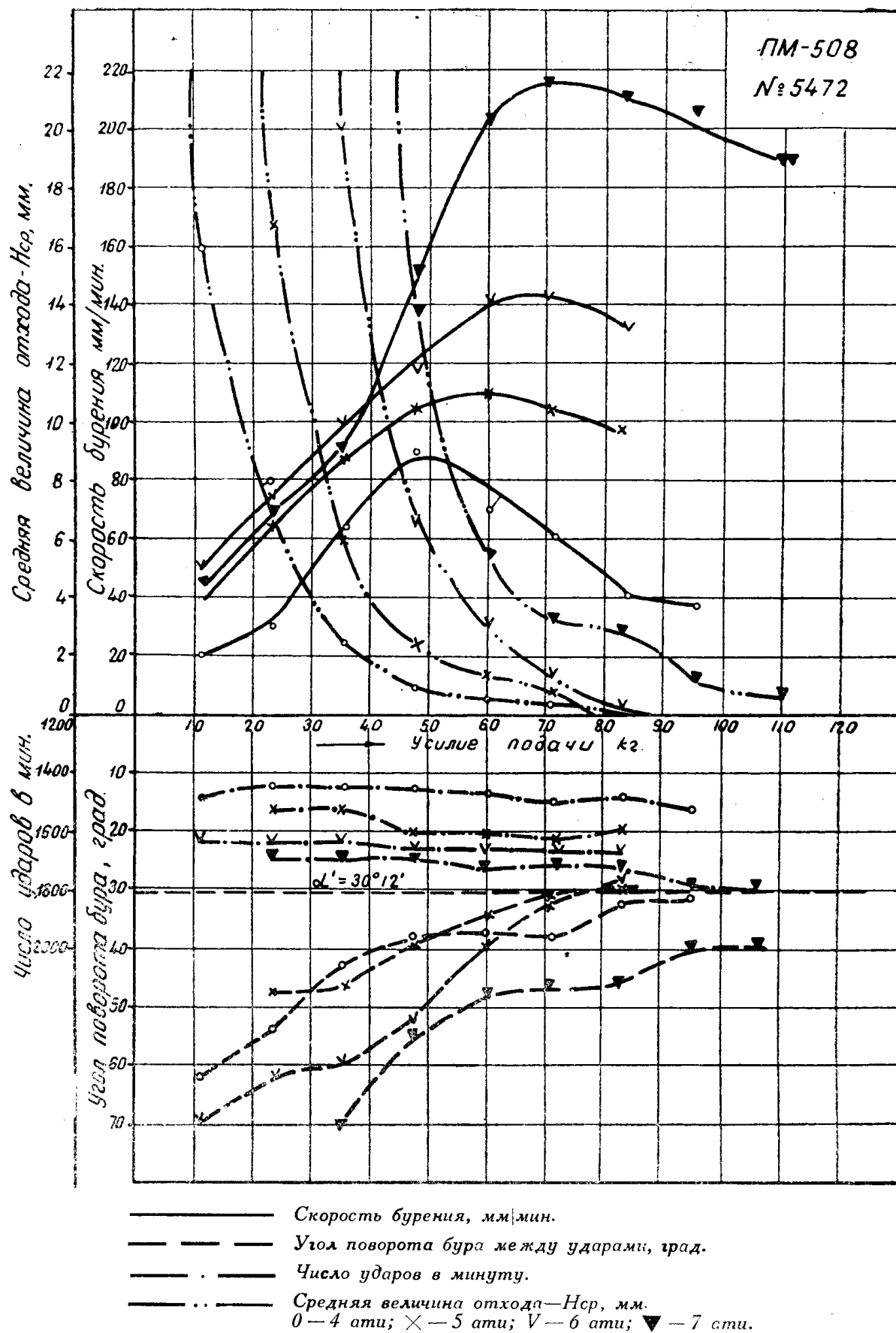
Как видно из фиг. 1, 2 при увеличении усилия подачи до некоторого предела скорость бурения увеличивается. Увеличение скорости бурения соответствует уменьшению средней величины отхода молотка от ограничительного буртика бура $H_{ср}$ и уменьшению угла поворота бура между ударами α . Средняя величина отхода корпуса от ограничительного буртика бура $H_{ср}$ и угла поворота бура между ударами α при одном и том же усилии подачи увеличивается с увеличением рабочего давления воздуха.

Максимальные скорости бурения соответствуют средней величине отхода корпуса $H_{ср} = 1 \div 6$ мм. При этом с увеличением давления воздуха с 4 до 7 атм, а следовательно, при увеличении энергии удара величина среднего отхода $H_{ср}$, соответствующая максимальной скорости бурения, увеличивается с 1 до 6 мм.

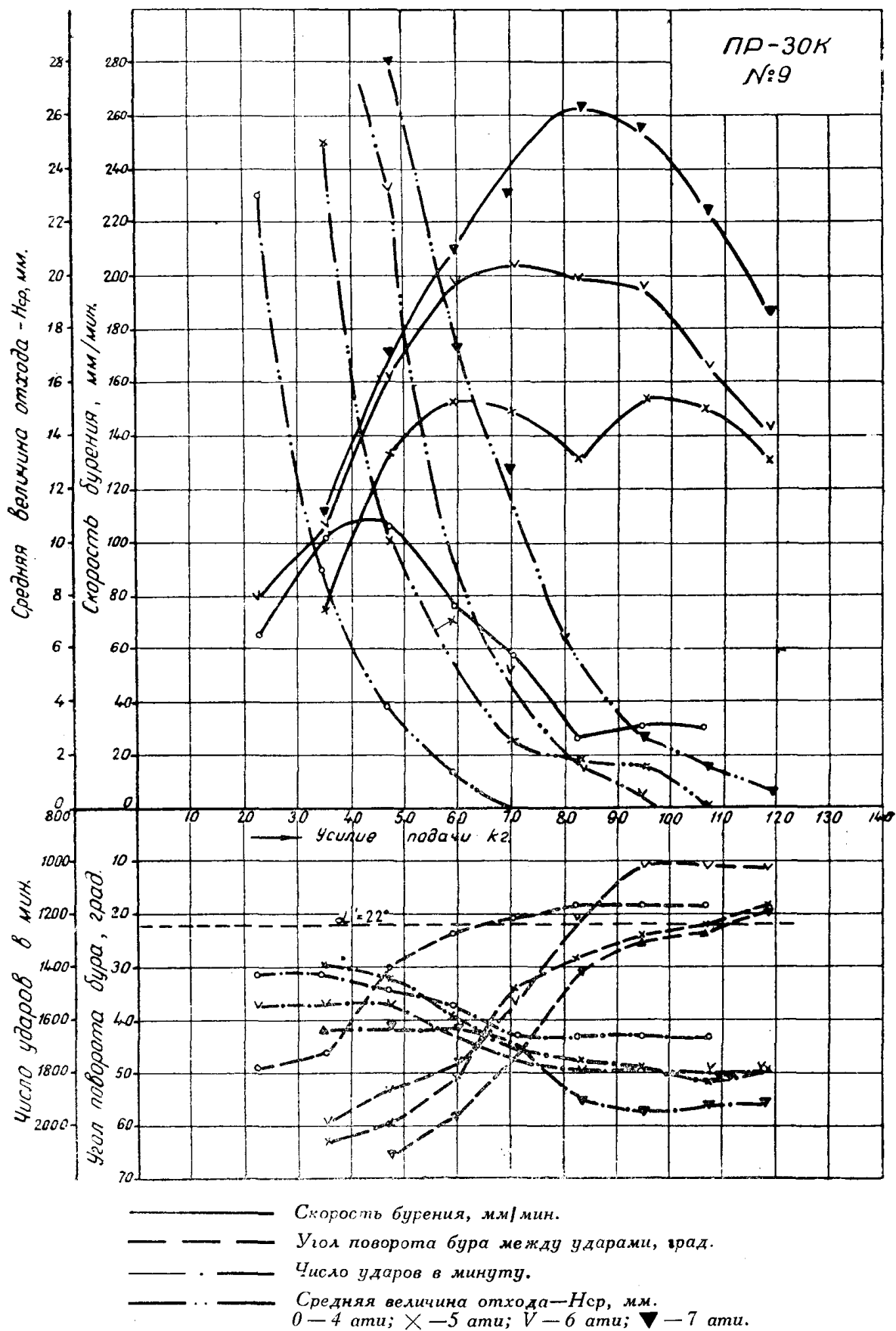
Угол поворота бура при увеличении усилия подачи уменьшается скачкообразно, что может быть объяснено конструктивной особенностью механизма поворота бурильных молотков.

Максимальные скорости бурения для одного и того же молотка соответствуют различным углам поворота, при этом тем большим, чем больше рабочее давление воздуха, а следовательно, и энергия каждого удара. Увеличение усилия подачи выше оптимального сопровождается уменьшением $H_{ср}$ до нуля, дальнейшим уменьшением угла поворота бура между ударами, что приводит во всех случаях к уменьшению скорости бурения.

При уменьшении угла поворота бура между ударами меньше некоторой величины α' (фиг. 1, 2), характерной для каждого молотка, режим молотка



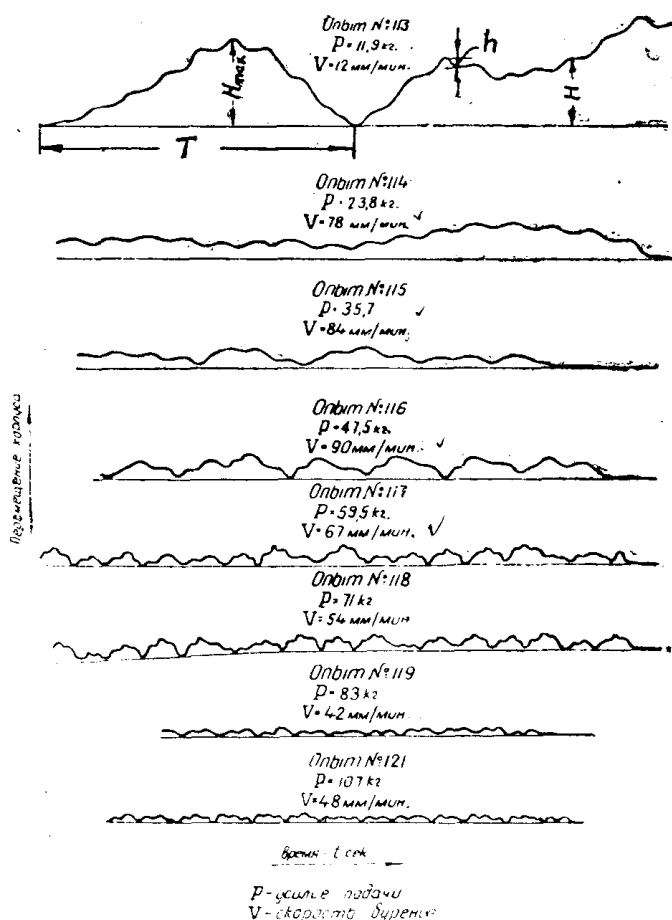
Фиг. 1



Фиг. 2

становится неустойчивым и молоток „глохнет“—перестает работать. Число ударов при бурении молотком ПМ-508 (фиг. 1) с увеличением усилия подачи увеличивается постепенно вплоть до полной остановки молотка. Сильнее сказывается изменение усилия подачи на числе ударов при бурении молотком ПР-30к (фиг. 2), что можно объяснить несколько увеличенным в этом молотке отношением хода поршня к его диаметру.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показывают, что изменение скорости бурения пневматическими бурильными молотками при изменении усилия подачи определяется в основном двумя факторами: средней величиной отхода— H_{cp} и углом поворота бура между ударами. Развиваемая пневматическими бурильными молотками мощность может быть наиболее целесообразно использована на разрушение горной породы при бурении, только при оптимальных соотношениях энергии удара $A_{уд}$, средней величины отхода— H_{cp} и угла поворота бура между ударами α .



Фиг. 3

Такое соотношение при бурении пневматическими бурильными молотками с зависимым поворотом бура, где отсутствуют какие-либо специальные приспособления для изменения числа ударов и оборотов бура, может быть достигнуто в каждом конкретном случае только за счет изменения усилия подачи. Поэтому при исследовании бурильных молотков особое внимание должно быть уделено выявлению влияния усилия подачи на отход бурильного молотка от ограничительного буртика бура и изменения угла поворота бура между ударами.

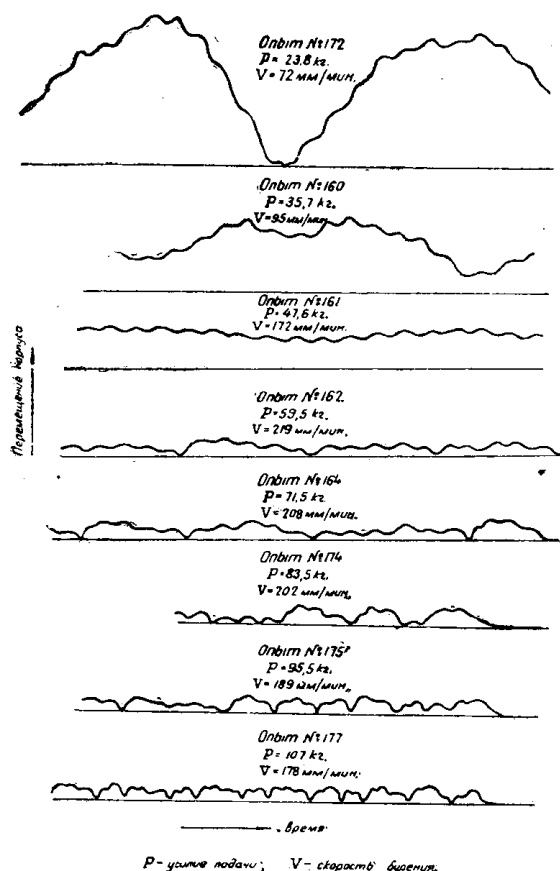
На фиг. 3, 4 приведены диаграммы отдачи бурильного молотка ПМ-508, записанные во время бурения с различными усилиями подачи P при давлении воздуха 4 атм (фиг. 3) и 7 атм (фиг. 4). Как видно из фиг. 3, 4 с

увеличением усилия подачи изменяется как величина амплитуды, так и характер колебания корпуса молотка.

При этом главным образом изменяется период колебания молотка за несколько ударов T и величина максимального отхода от нулевой линии H_{max} . В значительно меньшей мере изменяется величина амплитуды колебания корпуса молотка за один удар.

При некоторых усилиях подачи величина амплитуды колебания и отхода молотка от ограничительного буртика остается почти постоянной (опыт № 114 фиг. 3 и № 161 фиг. 4), и корпус молотка во время бурения находится в „плавающем“ состоянии, то есть редко прижимает бур к забою шпура.

Максимальная скорость бурения при различных давлениях воздуха, а следовательно, и при различных энергиях удара, соответствует колебаниям корпуса с различным периодом T (фиг. 5, 6) и соответственно различным



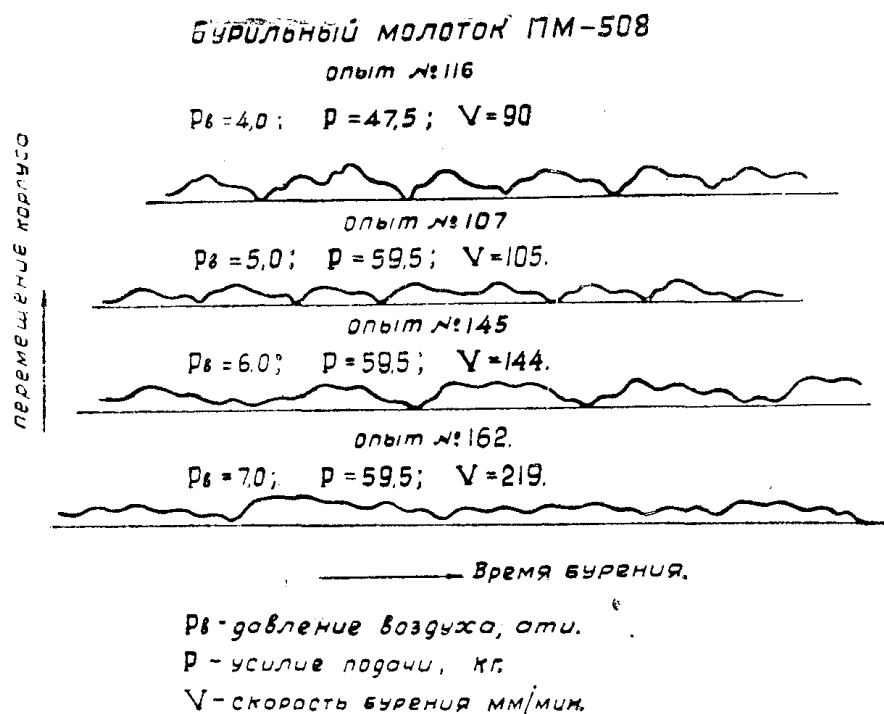
Фиг. 4

величинам среднего отхода корпуса бурильного молотка от ограничительного буртика бура $H_{ср}$, например, для молотка ПМ-508, фиг. 5; при давлении воздуха 4 *ати* максимальная скорость бурения соответствует колебанию корпуса с периодом T , включающим колебания за 2—3 удара, при давлении 5 *ати* — 3 ÷ 4 удара, при давлении 6—7 *ати* 4—5 и более ударов.

В молотках большей мощности ПР-30к, фиг. 6 максимальные скорости бурения при давлении воздуха 6—7 *ати* в большинстве случаев соответствовали постоянной величине отхода $H_{ср}$.

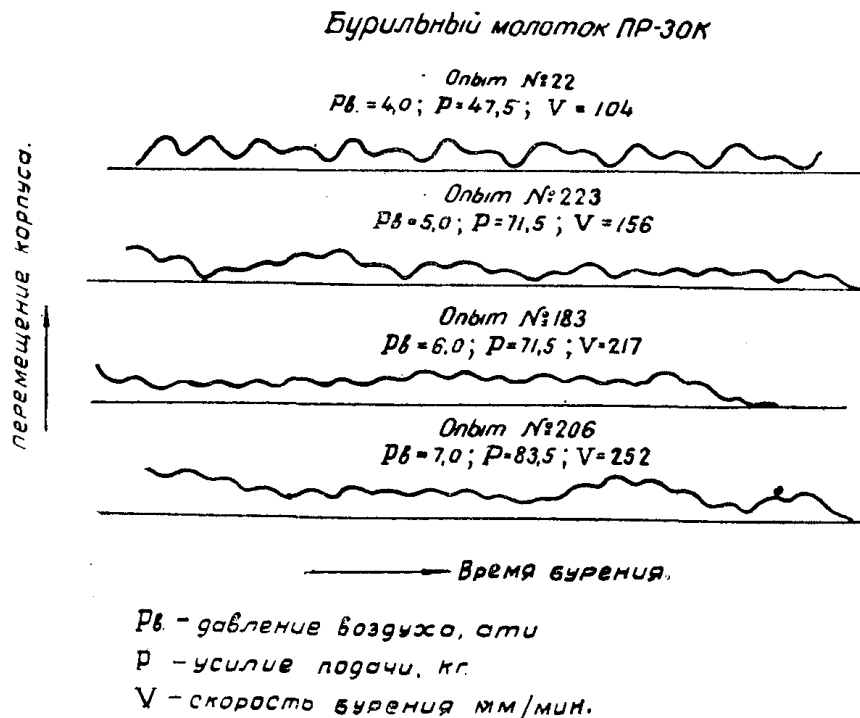
Величина и характер колебания корпуса бурильного молотка в значительной мере определяют характер движения бура.

На фиг. 7 представлена диаграмма движения бура при бурении горизонтальных шпуров молотком ПМ-508 с давлением воздуха 5 *ати* при различных усилиях подачи. Как видно из фиг. 7, бур после удара о горную по



Фиг. 5

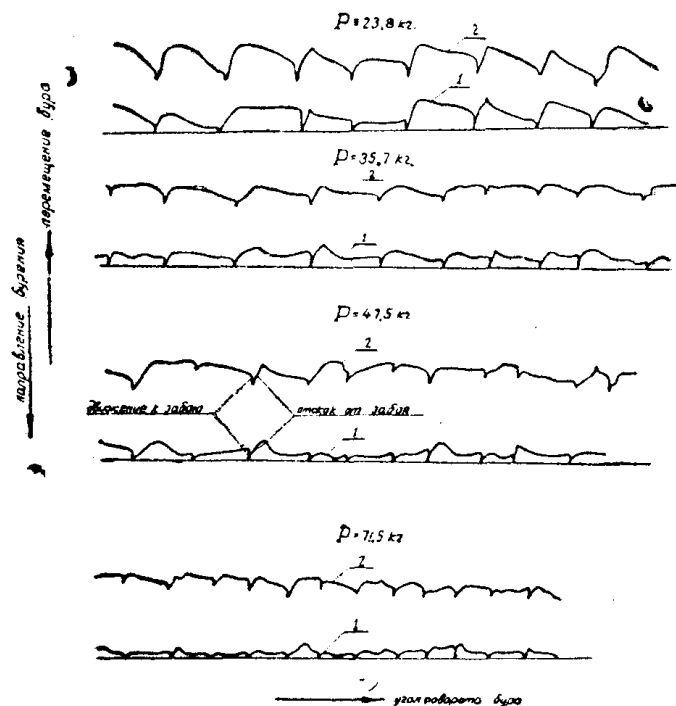
роду отскакивает от нее и ударяется буртиком о корпус бурильного молотка. Поэтому величина отскока бура определяется положением в данный момент корпуса молотка, то есть величиной отхода H . Максимальная ско-



Фиг. 6

рость соответствует случаям, когда к началу удара бойка (поршня) по бурю лезвие последнего находится на расстоянии 1—3 мм от забоя. Величина оптимального зазора между буром и забоем тем больше, чем больше энергия удара.

При уменьшении величины отхода корпуса H_{cp} до нуля зазор между буром и горной породой также изменяется до нуля, это приводит к снижению скорости бурения даже в том случае, если угол поворота бура между



- 1—Движение бура относительно горной породы.
2—Движение бура относительно корпуса молотка.
3—Усилие порчи.

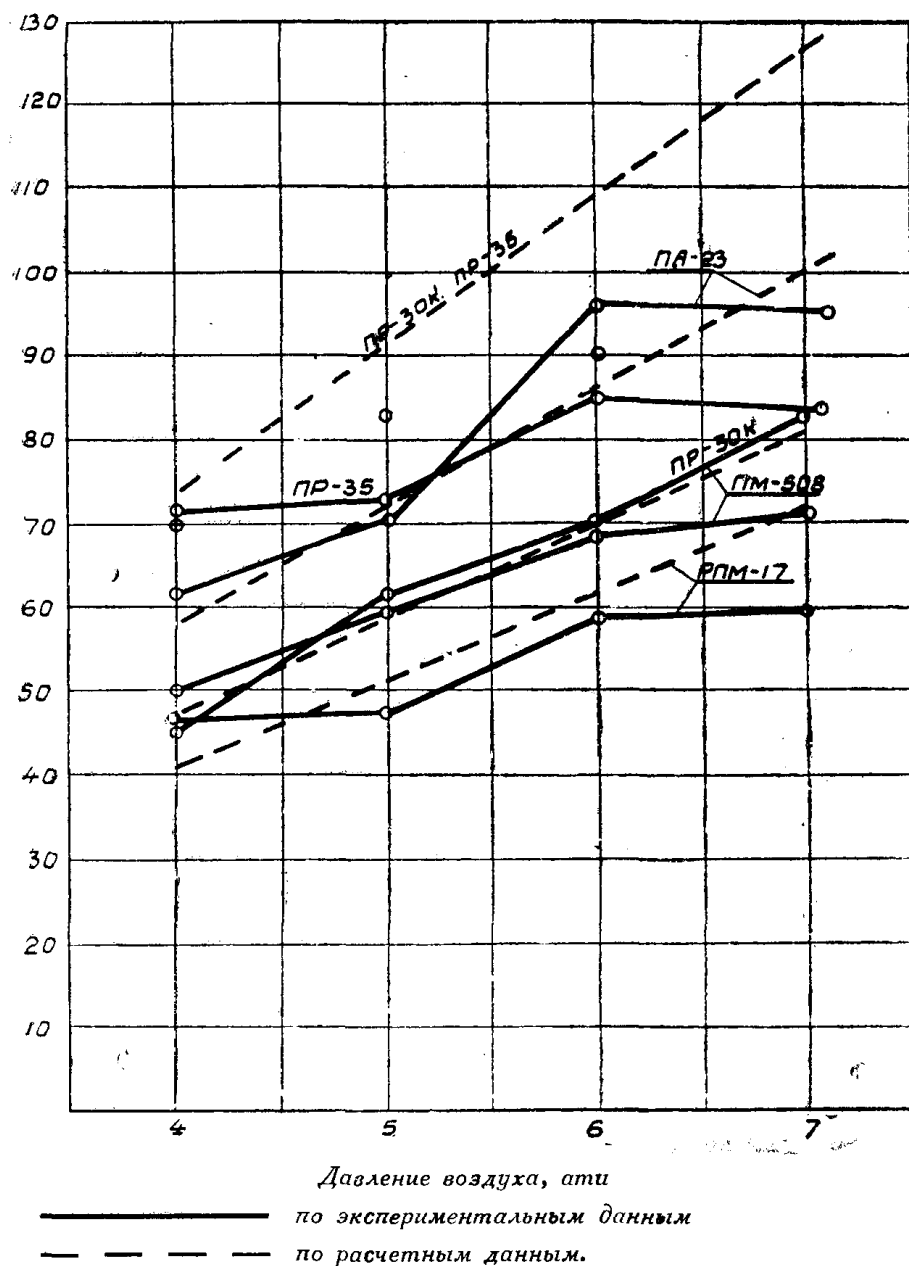
Фиг. 7

ударами остается постоянным, фиг. 1. Эти данные еще раз подтверждают, что в случае наличия условий, обеспечивающих в процессе бурения некоторый отход корпуса молотка от буртика бура и отход бура от горной породы, происходит не только более легкое поворачивание бура, но и более благоприятное использование энергии удара на разрушение горной породы [3]. Однако при очень значительных отходах молотка от буртика бура, более 5—6 мм, ухудшается внутренний рабочий процесс молотка, значительная часть энергии удара затрачивается на преодоление сил трения во время движения бура в шпуре, поэтому скорость бурения уменьшается.

Возможность работы пневматической ударной машины на таких режимах, когда корпус машины редко „садится“ на ограничительный буртик инструмента и даже на протяжении всего времени работы молотка находится в „плавающем“ состоянии, впервые была показана теоретически Б. В. Суднишниковым [5] при исследовании отдачи отбойных молотков. Однако ввиду того, что такой режим является не характерным для работы отбойного молотка, Б. В. Суднишников ограничился лишь кратким описанием этого возможного случая движения. Из вышеизложенного ясно, что для бурильных молотков теоретическое и экспериментальное исследование такого режима заслуживает серьезного внимания, так как на основе вскрытия закономерностей между величиной отхода корпуса молотка от ограничительного бур-

тика бура, энергией и числом ударов, числом оборотов, усилием подачи, трением буровой коронки о забой и конструктивными параметрами машины можно создать основы для расчета механизмов поворота бура и подачи бурильных молотков.

На основании лабораторных испытаний бурильных молотков, проведенных на Томском электромеханическом заводе, нами построены графики оптимальных усилий подачи в зависимости от давления воздуха для ручных бурильных молотков, фиг. 8. Здесь же дано сравнение оптимальных усилий



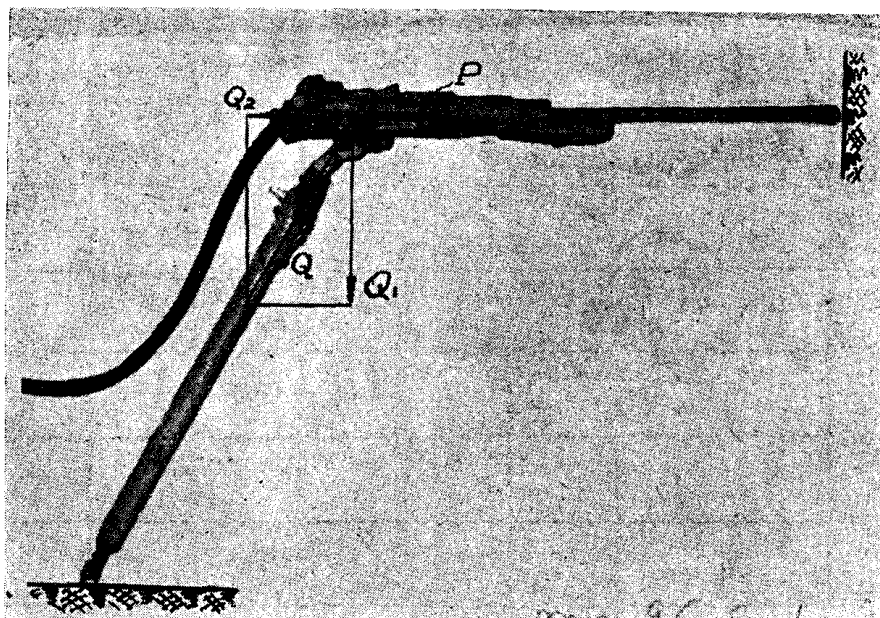
Фиг. 8

подачи при бурении горизонтальных шпуров, полученных экспериментально с расчетными данными, вычисленными по формуле А. К. Сидоренко. Как видно из фиг. 8, значения усилий подачи, вычисленные по эмпирической формуле А. К. Сидоренко, достаточно хорошо совпадают с экспериментальными только для легких бурильных молотков типа РПМ-17, ПА-23

и дают большое расхождение для более мощных и более тяжелых молотков типа ПР-35, ПР-30к.

Более точно оптимальное усилие подачи молотка в каждом конкретном случае можно определить на основании уравнения движения корпуса молотка во время бурения с учетом вышеприведенных данных об оптимальных величинах отхода корпуса молотка от ограничительного буртика.

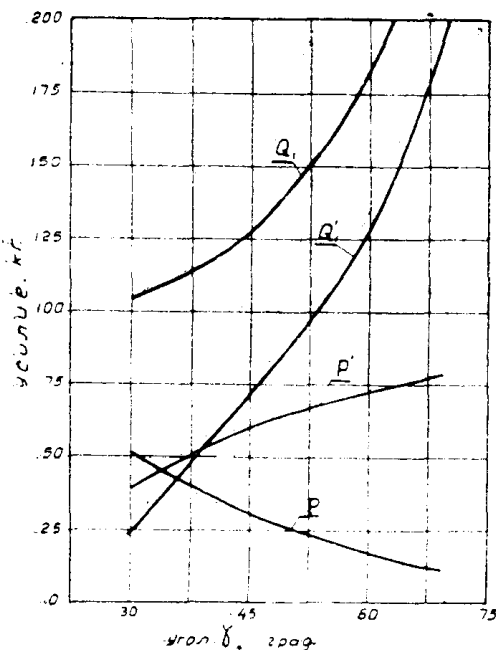
Как видно из фиг. 8, оптимальные усилия подачи большинства ручных бурильных молотков соответствуют 50—90 кг. Естественно, что бурильщик при бурении „с руки“ не может обеспечить таких усилий. Поэтому в практике при бурении ручными бурильными молотками пользуются различными приспособлениями, увеличивающими усилие подачи. На рудниках и шахтах в последние годы широкое распространение получило бурение ручными бурильными молотками с различного рода пневмоподдержек. Это значительно облегчило труд бурильщиков, снизило влияние отдачи, повысило производительность, а также открыло возможность для создания более мощных „ручных“ бурильных молотков типа ПР-30к, весом 30 кг и более, которые по своей производительности близки к колонковым бурильным молоткам типа КЦМ-4. Однако, как показывает даже упрощенный анализ, существующие пневмоподдержки не обеспечивают бурения на оптимальных режимах.



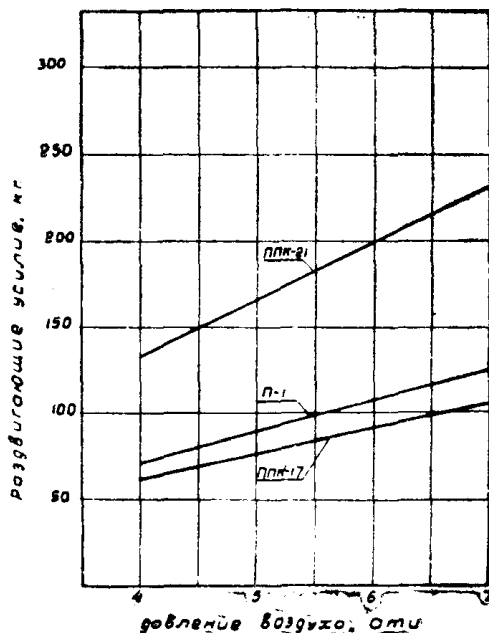
Фиг. 9

Принцип работы пневмоподдержки заключается в том, что сила Q , фиг. 9, раздвигая пневмоподдержку под действием сжатого воздуха, уравновешивается двумя составляющими: вертикальной составляющей Q_1 , равной весу молотка, и горизонтальной Q_2 , равной усилию подачи молотка на забой P . Если принять для расчета, что вес современных ручных бурильных молотков около 30 кг, то пневмоподдержка без дополнительных усилий бурильщика может обеспечить различное, в зависимости от угла γ , усилие подачи P , фиг. 10. Из сравнения фиг. 10 с фиг. 8 видно, что пневмоподдержка по своей кинематике может обеспечить оптимальное усилие подачи только при $\gamma = 30^\circ$ и работе молотка на давление воздуха $P = 4 \text{ атм.}$ Для достижения оптимального усилия подачи при бурении с давлением воздуха 6—7 атм бурильщику необходимо приложить дополнительное усилие в горизонтальном направлении P' или в вертикальном направлении Q_1' , фиг. 10. Увеличение нагрузки в вертикальном направлении требует соответ-

ствующего увеличения раздвигающего усилия пневмоподдержки Q_1 , фиг. 10. Изменение раздвигающего усилия пневмоподдержек П-1 Ленинградского завода „Пневматика“, ППК-17 и ППК-21 Криворожского завода „Коммунист“, в зависимости от давления воздуха, показано на фиг. 11. Из сопоставления данных фиг. 10 и 11 видно, что при бурении горизонтальных шпуров ручными молотками, установленными на пневмоподдержке, прилагая дополнительное усилие 20—40 кг, бурильщик может обеспечить оптимальное усиление подачи только при наклоне поддержки γ не более 30—35°. Однако даже в этом случае бурение ручными бурильными молотками с пневмоподдержек на оптимальных режимах не всегда возможно, так как перекосы бура в шпуре создают значительное сопротивление вращению бура, что приводит к неустойчивой работе бурильного молотка задолго до достижения оптимальных режимов. Поэтому бурение ручными молотками с пневмоподдержек в большинстве случаев ведется с усилиями подачи заведомо



Фиг. 10



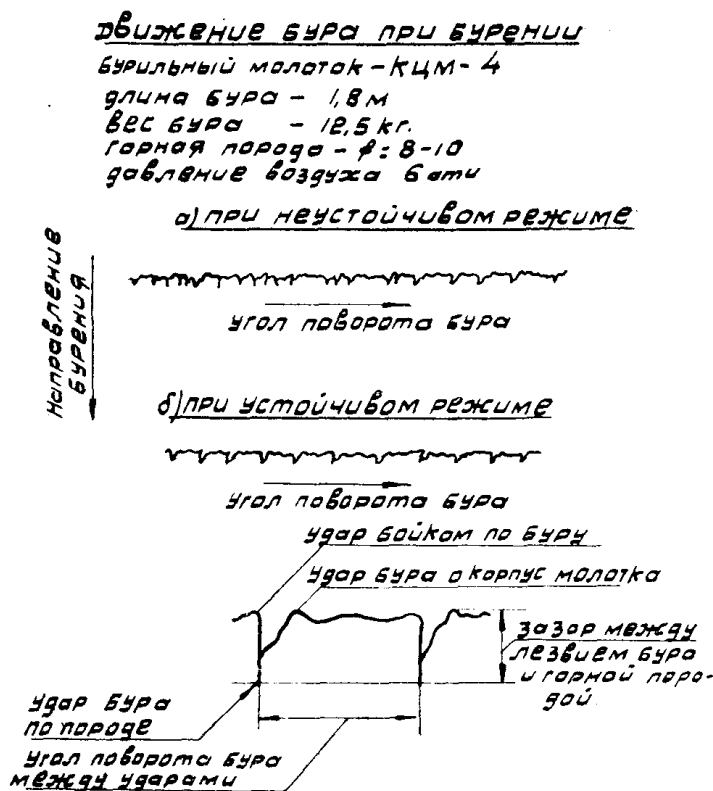
Фиг. 11

меньшими, чем оптимальные, а следовательно, и на менее производительных режимах. Все это требует, помимо усовершенствования существующих пневмоподдержек, создания более совершенных поддерживающих и подающих устройств для ручных бурильных молотков.

Данных об оптимальных усилиях подачи телескопных и колонковых бурильных молотков в технической литературе нет. Однако есть все основания предполагать, что основные закономерности влияния усилия подачи на скорость бурения, вскрытые для ручных бурильных молотков, могут быть распространены на колонковые и телескопные бурильные молотки. Как показали наши опыты, проведенные во время промышленных испытаний бурильных молотков на руднике Сокольном, колонковые бурильные молотки КЦМ-4 работают устойчиво и дают максимальную скорость бурения при обеспечении отскока бура от горной породы в процессе бурения на 2—3 мм и угле поворота бура между ударами $\alpha = 40^\circ$, фиг. 12.

Ввиду того, что устойчивая работа бурильного молотка на оптимальных режимах возможна только при наличии необходимого отхода корпуса молотка от буртика бура, а последнее возможно только при наличии некоторой вибрации корпуса, то наряду с устройством для плавной регулировки

усилия подачи, в конструкциях подающих устройств необходимо предусматривать наличие упругого элемента. Отсутствием необходимых упругих элементов можно объяснить неудачи при внедрении в производство ряда механических, автоматических и других податчиков оригинальной конструк-



Фиг. 12

ции, так как последние не могли обеспечить устойчивого режима работы пневматических бурильных молотков при бурении, а при бурении электро-механическими бурильными молотками с независимым приводом проворота бура—типа СПК-1 приводили к значительному износу лезвия бура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко А. К. Автоматизация перфораторного бурения. Горный журнал. № 4, 1941.
2. Трофимов П. Ф. Автоматические податчики для перфораторов. Сборник научных трудов № 16. Metallurgizdat. 1947.
3. Алимов О. Д. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков. Автореферат, Томск, Полиграфиздат, 1953.
4. Алабужев П. М., Алимов О. Д., Цуканов А. Г. О к.п.д. удара при ударно-вращательном бурении. Известия ТПИ, том 75, 1954.
5. Суднишников Б. В. Некоторые вопросы теории машин ударного действия. ЭСФАН, Новосибирск, 1949.
6. Алабужев П. М., Алимов О. Д. Влияние усилия подачи и угла поворота бура между ударами на скорость бурения. Известия ТПИ, том 75, 1954.