Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLI, вып. 1, 1959 г.

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ НЕЗАТОПЛЕННЫХ ВОДЯНЫХ СТРУЙ

Л. П. Северин

Экспериментальное исследование динамики свободных водяных струй, встречающих на своем пути жесткую преграду, является весьма важным для накопления опытных данных, способствующих установлению ряда закономерностей, необходимых для создания теории гидравлической отбойки угля от массива при гидромеханизации угледобычных работ.

Первостепенное значение в таких экспериментах приобретает выявление силы удара струи о преграду в зависимости от давления воды в струепроизводящем устройстве, от диаметра выходного отверстия насадка и расстояния от последнего до преграды, воспринимающей на себя силу удара.

Первоначально для исследования динамики водяных напорных струй был применен изготовленный в Ленинградском горном институте пружинный динамометр. Органом, воспринимающим в динамометре силу удара струи, является диск со штоком и спиральная пружина, зажатая между штоком и станиной корпуса. Упругая деформация пружины, т. е. ее прогиб, пропорциональный силе удара струи о диск, фиксируется в динамометре индексом, перемещаемым стрелкой, указывающей шкалы, а энергия колебательных движений штока поглощается масляным демпфером. Тарировка динамометра производилась в вертикальном положении штока, статическим нагружением диска гирями с учетом собственного веса самого диска и связанного с ним штока.

Исследованию подвергались струи с давлением 10, 20, 30 и 40 *ати*, сформированные коническими насадками с углом конусности 13° и диаметрами выходных отверстий d_0 равными 5 и 3 *мм*. Расстояние от насадка до диска динамометра l изменялось от 0,2 до 5 *м*. Интервалы замеров силы струи по ее длине принимались в большинстве опытов 0,5 *м*.

Рассматриваемые здесь динамометрические исследования напорных водяных струй проводились при следующих условиях — тремя сериями экспериментов.

Серия I (рис. 1) $d_0 = 5$ *мм*. Стабилизатор (успокоитель) длиной 1 *м*, в виде треугольной звезды, согнутой из листового железа, установлен

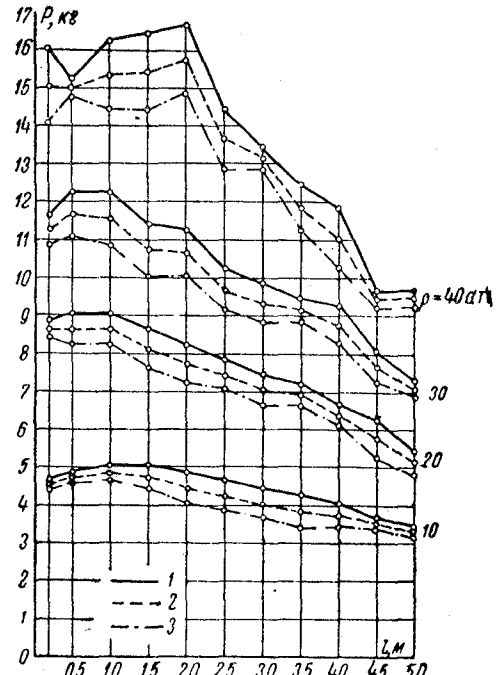


Рис. 1. Сила удара струи при $d_0 = 5$ *мм* со стабилизатором:

1 — максимальные значения; *2* — средные; *3* — минимальные

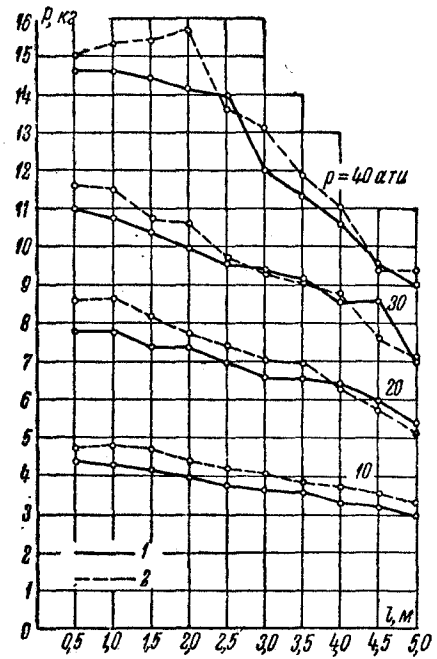


Рис. 2. Средние значения силы удара струи при $d_0 = 5$ *мм*:

1 — без стабилизатора (эксперименты серии I); *2* — со стабилизатором (эксперименты серии II)

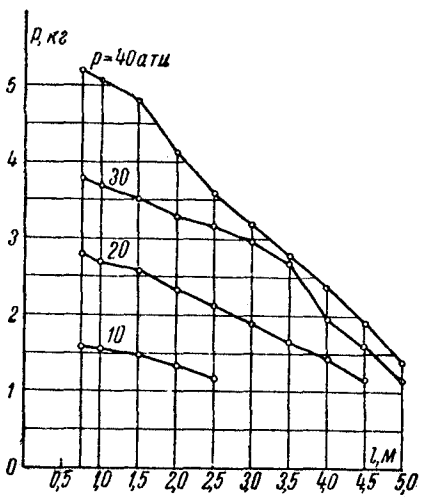


Рис. 3. Средние значения силы удара струи при $d_0 = 3$ *мм* без стабилизатора

на прямом участке нагнетательной трубы на расстоянии 0,5 *м* от насадка.

Серия II (рис. 2) $d_0 = 5$ *мм*. Без стабилизатора.

Серия III (рис. 3) $d_0 = 3$ *мм*. Без стабилизатора.

Как видно из рис. 1 разброс замеренных данных относительно невелик, а значения силы удара струи о диск динамометра изменяются закономерно: с увеличением расстояния от насадка сначала несколько возрастают, а затем неизменно убывают.

Во второй серии опытов, когда замерам подвергались такие же струи, но без стабилизаторов, тенденция к образованиям максимумов силы удара струи о преграду становится менее заметной. Уменьшение значений силы удара струи при отсутствии стабилизатора нельзя считать достоверными, так как разница находится в пределах разброса показаний динамометра.

Отсутствие максимума силы удара струи о диск пружинного динамометра еще более заметно по результатам третьей серии экспериментов (рис. 3). Эти исследования выполнялись на приборе, обладающем значительной инерционностью, поэтому нуждались в дальнейших уточнениях и проверке. Для этого в 1955 г. был разработан и изготовлен мощный электронный усилитель и комплектуемая с ним специальная система датчиков сопротивления (рис. 4). К алюминиевому гладкому диску *1*, воспринимающему на себя силу удара струи, с помощью винтов *3* и накладок *4* прикреплены три гибкие стальные пластинки *2* переменной ширины. Опорами свободных концов гибких пластинок, работающих при нагружении как балки равного сопротивления, служат каленые стальные штифты *5* и разрезные колодки *6*. С помощью колодок диск с пластинками в вертикальном положении закреплен на особом кронштейне испытательного стенда, конструкция которого позволяет быстро настраивать систему на центральное нагружение диска водяной струей, что обусловило равенство упругих деформаций каждой из трех гибких пластинок. С обеих сторон пластинок, в местах, отмеченных на рис. 4 буквами *Д*, наклеены проволочные датчики. База каждого из них 20 *мм* и сопротивление 200 *ом*. Выводные концы датчиков, электрически соединенные между собой, образуют два плеча уравновешенного моста переменного тока, являющегося основой электронного усилителя.

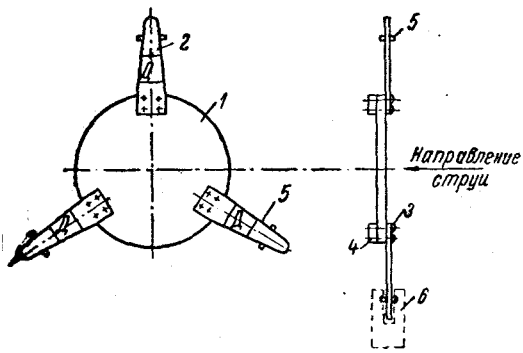


Рис. 4. Схема устройства системы датчиков

Фиксация быстропротекающих изменений сопротивления измерительного плеча моста, обусловленных воздействием водяной струи на систему датчиков, осуществляется шлейфом осциллографа МПО-2, верхний предел регистрируемой частоты которого согласуется с разрешающей способностью усилителя.

Вся аппаратура усилителя собрана на металлическом шасси, вмонтированном в ящик, лицевая стенка которого образует щиток для размещения органов управления, контрольных приборов и клемм для подключения системы рабочих и компенсационных датчиков, а также осциллографа. Настройка и регулировка усилителя производилась с по-

мощью калиброванного тензометрического датчика и тарировочного гидравлического пресса с образцовым манометром.

Для гидроизоляции датчиков, наклеенных на гибкие пластинки, применялась липкая лента, покрытая особой мастикой. Изоляция датчиков по отношению к земле до начала измерений должна составлять не менее 15 *мгом*. Недостаточная изоляция ведет к занижению результатов измерений и нестабильности баланса измерительного моста (сползание нуля и т. д.).

Разброс сопротивлений между рабочим и компенсационным датчиком вместе с соединительными проводами не должен превышать $\pm 0{,}75$ *ом*. При большем разбросе сопротивлений между датчиками измерительный мост не будет уравновешиваться. Разброс по емкости соединительной линии перекрывается реохордом в пределах ± 500 *pF*. Амплитудная характеристика усилителя в пределах изменения тока ± 50 *ма* на шлейф типа I оказалась линейной.

После наладки усилителя и системы датчиков для установления функциональной зависимости $P = f(l)$ была осуществлена следующая программа осциллографирования.

1. Выбраны три участка осциллографирования длиной соответственно 1,2; 2 и 3 *м*.

Расстояние менее 1,2 *м* для осциллографирования силы струи нельзя было принять по конструктивным габаритам отсекателя струи и рабочего стола стенда с установленной на нем системой датчиков. Для всех расстояний осциллографирование струй проводилось при диаметре выходного отверстия насадка 3,2 *мм* и давлениях 10, 30, 50, 70, 90 и 110 *ати*.

2. Произведено осциллографирование струй во втором участке с установкой стабилизатора перед насадком длиной 500 *мм*.

3. Эксперименты, указанные в пункте 2, повторены на том же участке с дополнительным включением в сеть воздушных резервуаров (баллонов по типу воздушных колпаков, встроенных в поршневые насосы).

Снятию осциллограмм предшествовала запись на фотопленке осциллографа тарировки датчиков с последовательным нагружением диска гирями весом по 2 *кг* каждая и с последующим разгружением.

Обработка тарировочных записей на измерительном микроскопе МИР-12 позволила установить масштаб осциллограмм по вертикали. Как видно из приведенных на рис. 5 осциллограмм, всплески струи во всех случаях имеют одну и ту же частоту, равную 17 *гц*. Эта частота, обусловленная числом нагнетательных ходов поршневого насоса, может быть получена и расчетным путем, по формуле

$$f = \frac{ni}{60} = \frac{340 \cdot 3}{60} = 17 \text{ гц/сек},$$

где $n = 340$ — число ходов поршня в 1 *мин*;
$i = 3$ — число поршней (плунжеров, скалок) насоса марки ГБ-354.

Чередующиеся с отмеченной частотой подъемы и спады силы струи при ударе ее о диск сопровождаются рядом дополнительных пульсаций, совпадающих с частотой собственных колебаний системы датчиков, равной примерно 100 *гц*. Такая частота была, в частности, определена по записанной для этих целей особой осциллограмме.

Из графиков рис. 6 наглядно видно насколько среднеинтегральные значения силы удара струи $P_{ср}$ отличаются от максимальных (всплес-

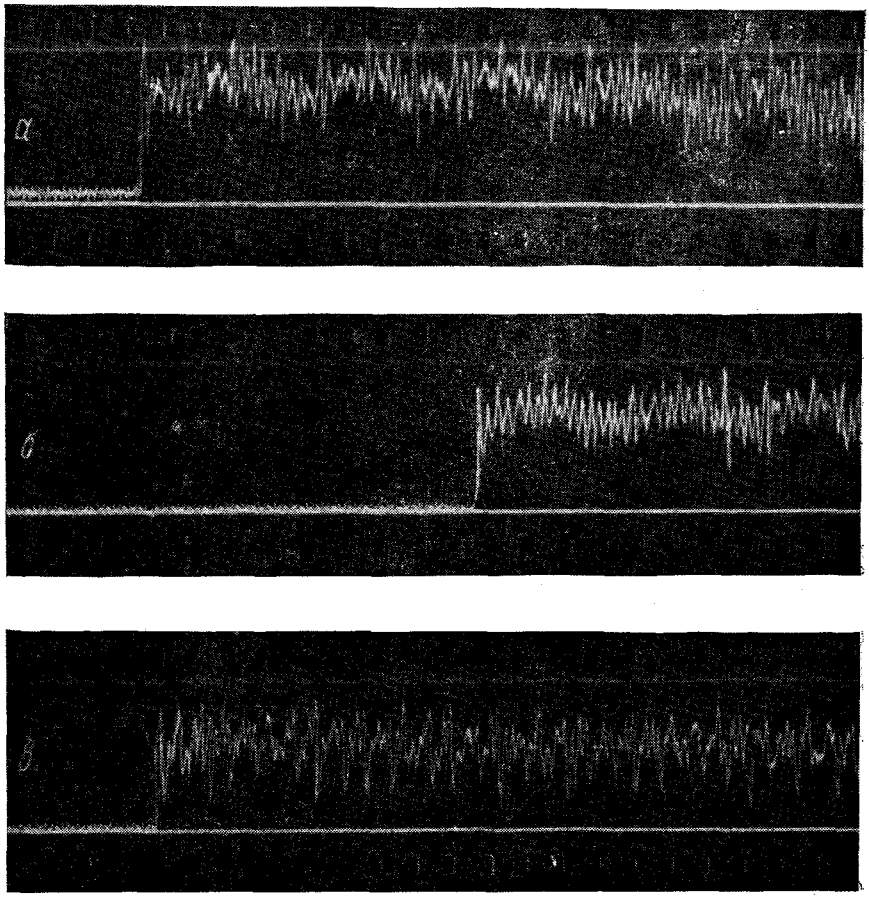


Рис. 5. Осциллограммы:
а — струя без стабилизатора; *б* — то же, со стабилизатором; *в* — то же, с воздушными баллонами при $p = 90$ *ати*, $l = 2$ *м*

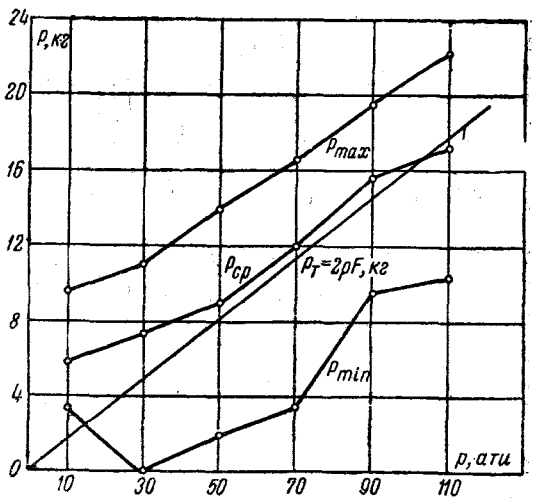


Рис. 6. Зависимость $P = f(p)$ при $d_0 = 3{,}2$ *мм* и $l = 1{,}2$ *м*

ков) P_{max} и минимальных (спадов) P_{min}. Теоретическое значение силы удара струи определяется по Д. Бернулли

$$P_т = 2pF = 1{,}57pd_0^2, \ кг, \qquad (1)$$

где $F = \frac{\pi d_0^2}{4}$ — площадь выходного отверстия насадка, $см^2$;

p — давление струи, $кг/см^2$ ($атм$).

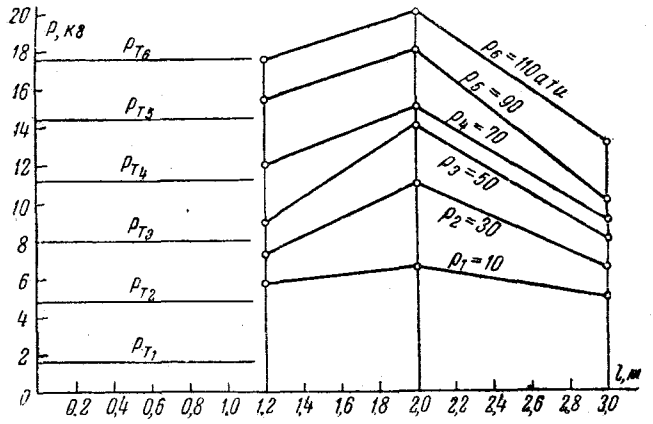


Рис. 7. Зависимость $P = f(l)$ при $d_0 = 3{,}2$ мм по данным осциллографических исследований

Зависимости $P = f(l)$, построенные для разных давлений по среднеинтегральным значениям ударной силы струи, выявленные в результате обработки целой серии осциллограмм (рис. 7), свидетельствуют о наличии оптимальных значений P на весьма значительном удалении диска (преграды) от выходного отверстия насадка $\left(\frac{l}{d_0} > 600\right)$. Отложенные на рис. 7 прямые $P_{т1} \div P_{т6}$ являются теоретическими значениями силы струи при ударе, соответствующими давлениям $p_1 \div p_6$. При их сравнении с зависимостями $P = f(l)$ видно, что при малых давлениях струи погрешности замеров по осциллограммам сказываются значительно.

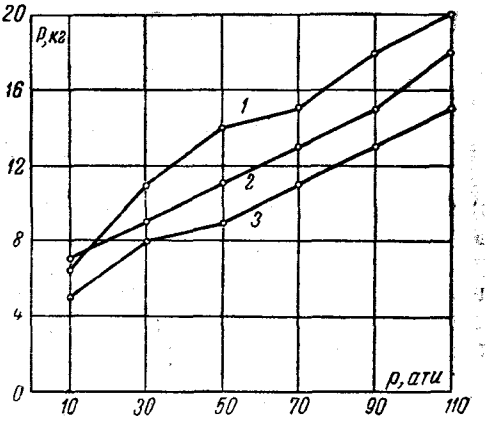


Рис. 8. Зависимость $P = f(p)$ при $d_0 = 3{,}2$ мм и $l = 2$ м по данным осциллографических исследований:
1 — без стабилизатора; 2 — со стабилизатором; 3 — то же, с воздушными баллонами

Введение перед насадком стабилизаторов и воздушных баллонов не улучшает, а ухудшает динамические качества водяных струй на всем диапазоне исследованных осциллографическим методом давлений (рис. 8). Ударная сила струи при введении стабилизаторов в условиях эксперимента снижается в среднем на 14%, а дополнительное включение в сеть воздушных баллонов уменьшает в среднем силу струи при ударе еще на 16%.

При постановке вопроса изучения динамики прерывистых (импульсных) струй и сравнительной оценки их с непрерывными струями были проведены более широкие осциллографические исследования.

В процессе дальнейшей обработки изложенного выше метода осциллографирования выявился ряд его недостатков, главнейшим из которых являлся короткий срок «жизни» датчиков из-за быстрого падения сопротивления их изоляции. Несмотря на тщательную гидроизоляцию датчиков и длительную просушку их после наклейки на гибкие пластинки, сопротивление изоляции по отношению к земле со 100 *мгом* падало от 10 000÷50 000 *ом* спустя 2—3 *мин* после начала воздействия исследуемой струи на центр диска. В ходе указанного снижения сопротивления изоляции происходил разбаланс измерительного моста со всеми вытекающими из этого последствиями. Отдельные датчики часто выходили из строя, что влекло за собой переклейку всего комплекта (из шести единиц) новыми датчиками с последующей их просушкой,

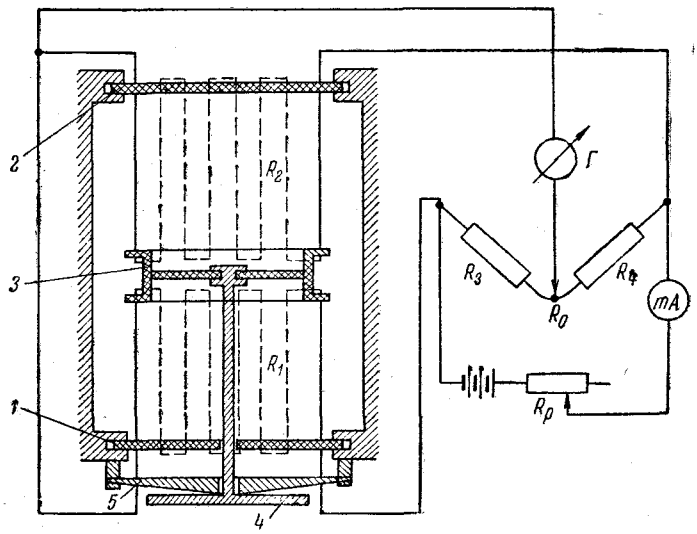


Рис. 9. Принципиальная схема включения системы датчиков многократного действия

изоляцией, повторной тарировкой прибора и т. д. Трудоемкость вспомогательных операций в общем процессе осциллографирования из-за указанных здесь недостатков резко повышалась, а качество самих осциллограмм часто было неудовлетворительным. Усилитель, являющийся промежуточным звеном между системой датчиков и осциллографом, в отмеченных условиях также доставлял не мало хлопот исследователям.

Все это направило внимание исполнителей на разработку системы датчиков, свободных от указанных выше недостатков, т. е. обеспечивающих длительную и устойчивую работу в условиях сырости и высокой влажности и предназначенных для фиксации на осциллограмме быстропротекающего процесса без применения усилителя. Такая система датчиков была названа «датчиками многократного действия», в отличие от освоенных ранее «датчиков однократного (разового) действия».

Принципиальная схема системы проволочных датчиков многократного действия, включенных в схему одинарного моста сопротивления, была предложена Л. С. Левиным и конструктивно оформлена с его участием В. Д. Зиневичем. Как видно из рис. 9, между неподвижно закрепленными пластинками *1*, *2* и подвижной пластинкой *3* намотаны

под натяжением 30 изолированных друг от друга тонких проволок высокого удельного сопротивления (константановая, диаметр 0,1 *мм*). Образованные такой намоткой между пластинками *1—3* и *2—3* сопротивления R_1 и R_2 составляют два плеча одной и той же ветви измерительного моста. Другая ветвь моста состоит из постоянных сопротивлений R_3 и R_4.

Реохорд R_0 служит для установления равновесия моста. Реостат $R_р$ предназначен для регулирования, а миллиамперметр *mA* — для контроля рабочего тока моста. В качестве индикатора *Г* может быть применен прибор (гальванометр) для визуального отсчета или шлейф осциллографа для записи исследуемого процесса. Подвижная пластинка *3* механически связана с диском *4*, воспринимающим ударные действия исследуемой струи. Диск опирается на балки *5* равного сопротивления, лежащие на опорах корпуса. Перемещение диска под воздействием силы водяной струи влечет за собой перемещение пластинки *3* относительно своего нейтрального положения. При этом напряжение проволок между пластинками *1* и *3* увеличивается, а между *2* и *3* — уменьшается. Соответственно с этим изменяются и их электрические сопротивления, что приводит к нарушению равновесия моста. По углу отклонения стрелки гальванометра *Г* или величине отклонения луча шлейфа осциллографа можно судить о величине перемещения диска *4*. В натуре пластинки *1*, *2* и *3* выполнены из органического стекла, а диск и связанные с ним детали — из углеродистой стали.

Вся система собирается в металлическом корпусе из двух стальных труб, соединенных между собой общей муфтой с правой и левой нарезкой. Тарировка прибора производилась таким же способом как и при датчиках разового действия. Питание системы осуществлялось от аккумуляторной батареи с напряжением на зажимах 8 *в*.

Для получения наибольшей мощности, выделяемой в диагонали моста при включении низкоомного шлейфа, проволоки каждого плеча датчиков соединялись в группу по 6 шт. последовательно и 5 таких групп — параллельно между собой. При таком соединении проволок сопротивление каждого плеча датчиков R_1 и R_2 составляло по 9,6 *ом*. Постоянные сопротивления R_3 и R_4 принимались равными по 10 *ом*, а общий ток моста 1600 *mA*.

Динамические качества напорных водяных струй были исследованы двумя методами осциллографирования: с датчиками сопротивления разового действия и с датчиками многократного действия. Осциллографирование с датчиками многократного действия производилось с применением шлейфа типа VIII осциллографа МПО-2. Эти исследования подтвердили замеченные ранее ухудшения динамических качеств гидромониторных струй при включении в нагнетательную сеть стабилизаторов и воздушных баллонов. Поэтому все дальнейшие исследования производились со струями, свободными от включения указанных устройств.

На рис. 10 приведены фотографии четырех разновидностей осциллограмм — типичных для всех серий этих экспериментов. Все осциллограммы получены для равных условий и одинаковом масштабе времени: 100 *мм* в 1 *сек*. Масштабы сил для осциллограммы *а* приняты 1 *мм* = 1,15 *кг*; для осциллограммы *б* 1 *мм* = 1,09 *кг*; для осциллограмм *в* и *г* 1 *мм* = 2 *кг*. Частота собственных колебаний дисков составляла по замерам: для датчиков разового действия 80 *гц*, многократного действия 200 *гц*.

При сопоставлении осциллограмм (рис. 10) заметно, что пиковые усилия в начальный момент удара струи (*а* и *б*), значительно превы-

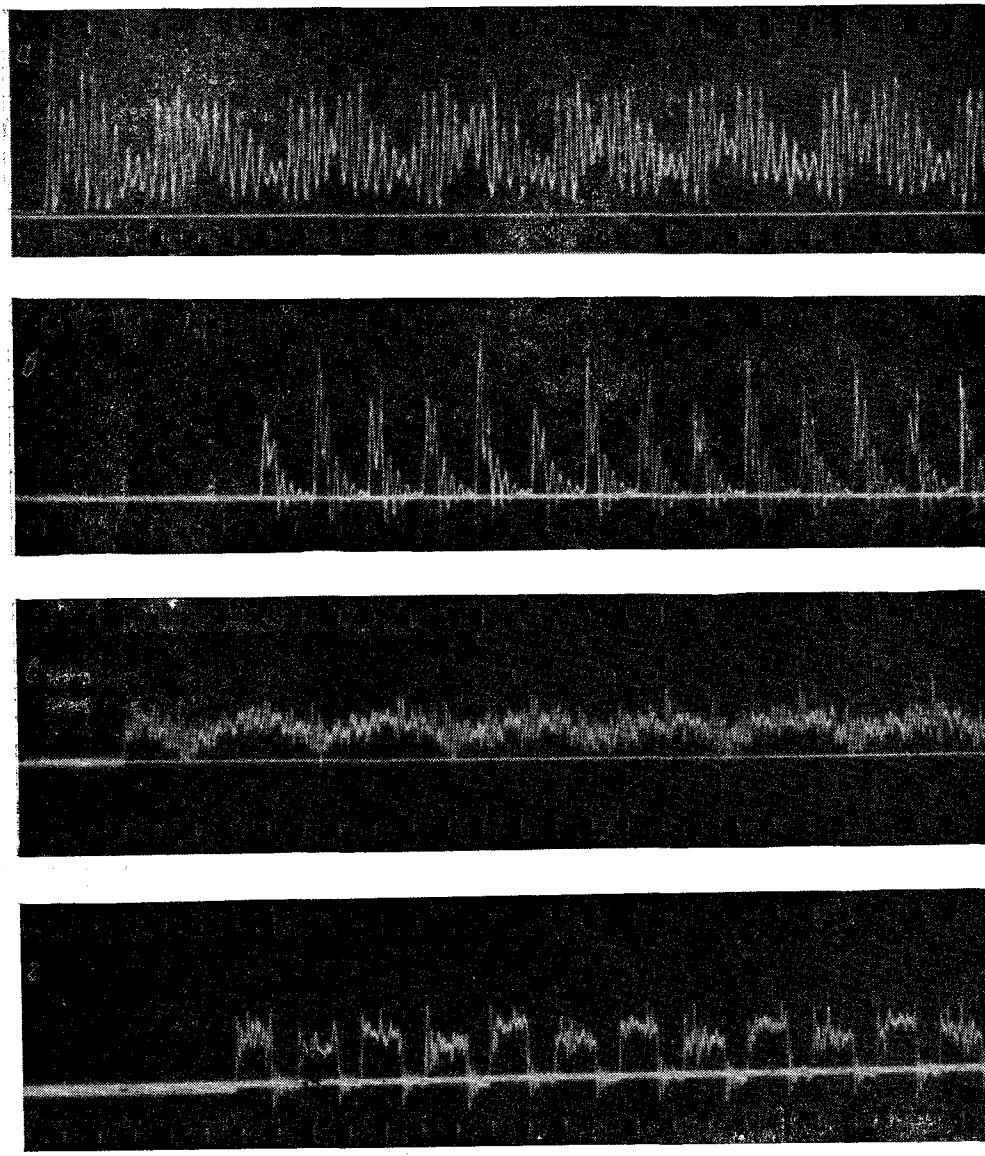


Рис. 10. Осциллограммы ($p = 70$ *кг/см*^{2}, $d_0 = 3{,}3$ *мм*, $l = 1{,}5$ *мм*):

а, *б* — непрерывная и прерывистая струи при датчиках однократного действия; *в*, *г* — непрерывная и прерывистая струи при датчиках многократного действия

шающие закономерно чередующиеся всплески сил в процессе дальнейшего действия струи на диск, полностью отсутствуют на осциллограммах, полученных при датчиках многократного действия (*в* и *г*). Абсолютные значения сил струи на осциллограммах *а* и *б* дают завышенные величины как средних, так и максимальных сил примерно на 20—25% по сравнению с осциллограммами *в* и *г*. Одновременно выявляется близкое совпадение средних и максимальных закономерно чередующихся значений сил непрерывной и прерывистой струй, независимо от датчиков.

Анализируя полученные результаты по записям на многих осцил-

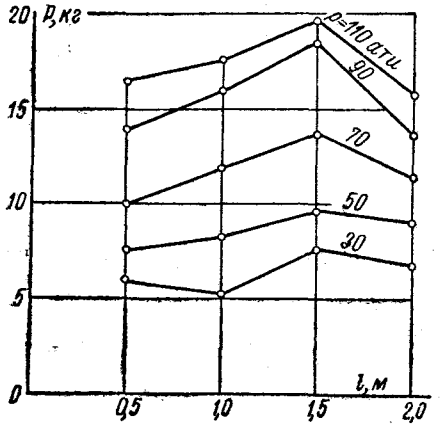


Рис. 11. Средние значения силы непрерывной струи при датчиках разового действия

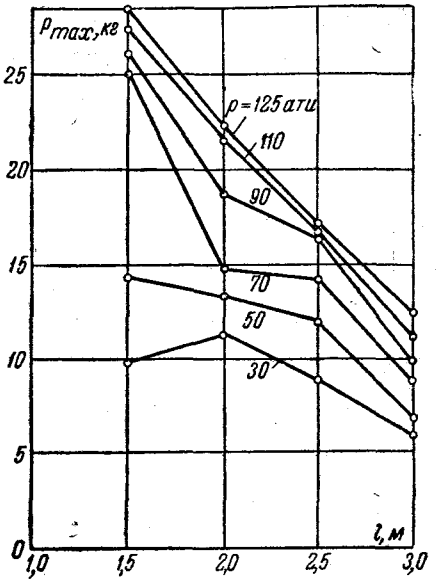


Рис. 12. Максимальные повторяющиеся значения силы прерывистой струи при датчиках разового действия

лограммах пиковых усилий в начальный момент удара струи о преграду при датчиках разового действия и отсутствие пиков при датчиках многократного действия, нельзя уверенно утверждать, что они имеются в действительности или, наоборот, отсутствуют. Несомненно, датчики разового действия обладают большей чувствительностью, чем все остальные. Однако их гистерезис из-за наклеивания проволок на бумагу и разности температурных коэффициентов расширения материалов проволоки и гибких пластинок, на которые датчики наклеиваются, в условиях исключительной сырости при измерениях не дают оснований судить об относительной величине фиксируемых пиков.

В исследованных зависимостях $P = f(l)$ диапазон интервалов замеряемых сил по длине струи чередовался через каждые 0,5 *м*. Из рис. 11 * видно, что при изменениях давлений от 30 до 110 *ати* оптимальные значения сил получаются при расстоянии от насадка до диска 1,5 *м*, что отвечает отношению

$$\frac{l}{d_0} = \frac{1500}{3{,}3} \approx 455,$$

справедливому и для максимальных значений сил непрерывных и прерывистых (рис. 12) ** водяных струй при датчиках разового действия.

* Для возможности осциллографирования при $l = 0{,}5$ *м* испытательный стенд был переделан.

** Средние значения сил прерывистых струй не определялись из-за наличия пауз и кратковременных промежутков времени воздействия струй на диск датчиков.

Аналогичные результаты получены и при исследовании динамики непрерывных струй, зафиксированных на осциллограммах с помощью датчиков многократного действия (рис. 13).

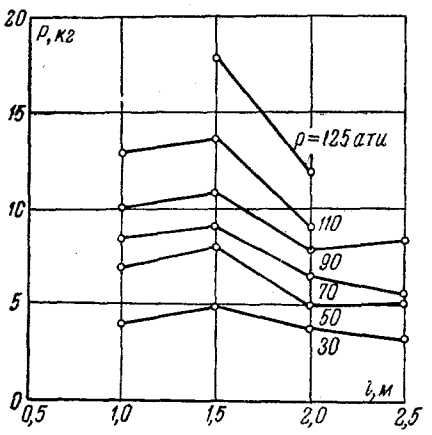


Рис. 13. Средние значения силы непрерывной струи при датчиках многократного действия

Таким образом, при относительно малых давлениях (30—50 *ати*) значения сил при ударе существенно выше у непрерывных струй, чем у струй прерывистых, а при высоких давлениях (70—110 *ати*) значения сил у тех и других струй почти полностью совпадают.

С целью проверки результатов исследования динамики водяных струй, полученных методом осциллографирования, был произведен комплекс экспериментов по разрушению песчано-цементных образцов в виде кубиков с размером ребра 20 *см*. Результаты этих экспериментов в виде четырех графиков $V = f(l)$ (V — объем вымытого за равные промежутки времени материала) представлены на рис. 14.

Значения V на этих графиках несопоставимы, так как прочность разрушаемых образцов различна. Однако серия экспериментов для построения каждой зависимости выполнялась на отдельном образце. Наи-

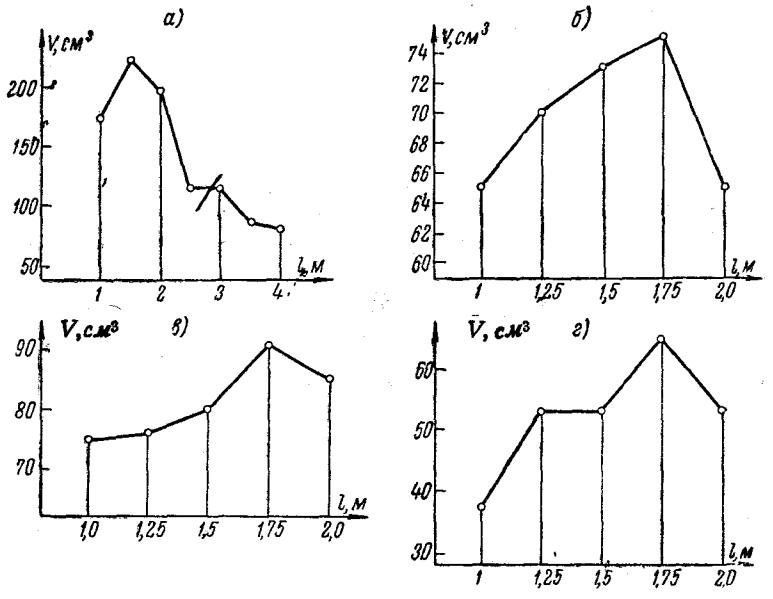


Рис. 14. Зависимость $V = f(l)$:
а — $p = 50$ *ати*, $d_0 = 3{,}3$ *мм*; *б* — $p = 80$ *ати*, $d_0 = 3{,}3$ *мм*; *в* — $p = 40$ *ати*, $d_0 = 3{,}3$ *мм*; *г* — $p = 40$ *ати*, $d_0 = 5$ *мм*

больший объем вымываемого материала, как видно из рис. 14, *а*, происходит при удалении испытуемого образца от насадка более 1 *м* и менее 2 *м*. Это расстояние совпадает с положениями максимума силы струи при ударе в наших осциллографических исследованиях. Более тща-

тельное исследование графиков *б*, *в* и *г* показывает, что максимум V находится на расстоянии $l = 1{,}75$ *м*. Это расстояние для условий проведенных опытов можно назвать оптимальным. Несмотря на увеличение диаметра насадка d_0 в полтора раза, оптимальное расстояние от этого не изменилось. Не сказалось также на величине оптимального расстояния двукратное изменение давления. Попутно с этим выявилась прямая связь между силой струи при ударе и разрушаемым ею объемом.

Новым в осциллографических исследованиях Ленинградского горного института последнего этапа является применение датчика сопротивления многократного действия с включением его в уравновешенный мост электронного усилителя (рис. 15). Датчики R_1 и R_2, образующие два плеча одинарного моста сопротивления, в рассматриваемых условиях выполнялись как и ранее из константановой проволоки диаметром 0,1 *мм* с общим сопротивлением каждый 240 *ом*. Такие сопротивления достигаются при зигзагообразном натяжении между пластин-

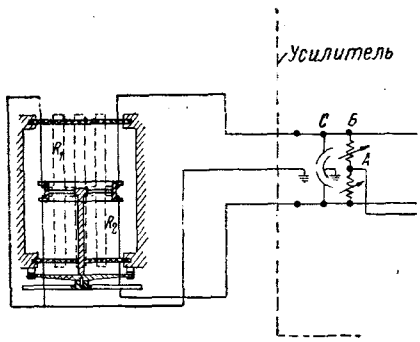


Рис. 15. Схема включения тензометрических датчиков сопротивления в мост электронного усилителя

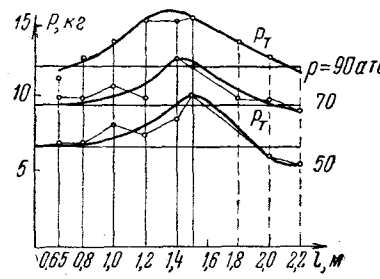


Рис. 16. Зависимость $P = f(l)$ при $d_0 = 2{,}9$ *мм*, $P_т = 2pF$ *кг* $\left(F = \frac{\pi}{4} d_0^2,\ см^2\right)$

ками проволоки указанного диаметра при общей длине в каждой намотке 4,5 *м*.

Общий характер записанных в последних опытах на фотопластинку осциллограмм ничем не отличается от полученных в предыдущих исследованиях. Однако устойчивость сопротивления тензометрической системы в последних экспериментах благоприятно сказалось на качестве изображения самих осциллограмм. Это позволило после тщательного исследования получить результаты, несколько отличные от предшествующих, что можно проследить по рис. 16, где приведены зависимости средних значений силы удара струи о преграду (диск системы датчиков) в функции расстояния при давлениях в струепроизводящем устройстве 50, 70 и 90 *ати*. Расстояние между диском и выходным отверстием насадка изменялось через каждые 15—20 *см*, начиная от 0,65 и кончая 2,2 *м*. Диаметр выходного отверстия насадка оставался неизменным, угол конусности 13°. С повышением давления, как видно из рис. 16, оптимальное расстояние, отвечающее максимуму силы струи при ударе о диск, имеет тенденцию к некоторому уменьшению, что было замечено и опытами Н. П. Гавырина [2].

В наших опытах оптимальные расстояния и отвечающие им максимальные значения силы струи при ударе характеризуются для соответствующих им давлений следующими данными:

$l_{опт} = 1{,}5$ *м*	$P_{max} = 10{,}0$ *кг*	при $p = 50$ *ати*
$l_{опт} = 1{,}4$ *м*	$P_{max} = 12{,}5$ *кг*	„ $p = 70$ *ати*
$l_{опт} = 1{,}3$ *м*	$P_{max} = 15{,}5$ *кг*	„ $p = 90$ *ати*

Эти значения величин хорошо увязываются между собой (при указанных размерностях) зависимостью

$$l_{опт} = \frac{4{,}3}{\sqrt[6]{P_{max} p}}, \; м. \qquad (2)$$

На рис. 16 нанесены также три прямые. Каждая из них показывает теоретическое значение силы струи при ударе о преграду $P_т$. Значения этих сил, вычисленные по формуле (1), в последних экспериментах составляют:

$$P_т = 6{,}6\, кг \text{ при } p = 50\, ати$$
$$P_т = 9{,}2\, кг \;\; „ \;\; p = 70\, ати$$
$$P_т = 11{,}9\, кг \;\; „ \;\; p = 90\, ати,$$

а отношения $\frac{P_{max}}{P_т}$, соответственно указанным давлениям, равны 1,52, 1,36 и 1,30.

Так как в наших экспериментах выявлена прямая связь между силой струи при ударе и разрушаемым ею объемом, приведенные здесь соотношения позволяют сделать вывод, что излишнее повышение давления при равных прочих условиях приводит к непроизводительной затрате энергии на единицу разрушаемого струей объема.

С помощью полученных отношений $\frac{P_{max}}{P_т}$ и формулы (1) можно составить выражения

$$P_{max} = 2{,}39\, p d_0^2 \;\; . \;\; . \;\; . \;\; . \text{ при } p = 50\, ати$$
$$P_{max} = 2{,}14\, p d_0^2 \;\; . \;\; . \;\; . \;\; . \;\; „ \;\; p = 70\, ати$$
$$P_{max} = 2{,}04\, p d_0^2 \;\; . \;\; . \;\; . \;\; . \;\; „ \;\; p = 90\, ати,$$

которым отвечает обобщенная зависимость

$$P_{max} = 6{,}8 p^{0{,}73} d_0^2, \; кг. \qquad (3)$$

Или, имея в виду, что исследования были произведены с насадком, диаметр выходного отверстия которого 0,29 *см*, получим для этого случая

$$P_{max} = 0{,}572 p^{0{,}73}, \; кг. \qquad (4)$$

Подстановка зависимости (4) в формулу (2) позволяет получить для условий проделанных экспериментов

$$l_{опт} = \frac{4{,}73}{p^{0{,}29}}, \; м,$$

которое дает хорошее совпадение с результатами наших последних исследований динамики водяных струй методом осциллографирования.

Выводы

1. При любых давлениях в струепроизводящих устройствах существуют определенные расстояния, при которых динамические качества струи имеют оптимальное значение. В условиях проделанных экспериментов, т. е. при диаметрах выходных отверстий конических насадков 2,9—5 *мм* и давлениях 30 — 125 *ати* максимумы сил прерывистых и не-

прерывных струй при ударе находятся на расстояниях, превышающих d_0 в 350 ÷ 550 раз.

2. Производительность гидроотбойки возрастает с удалением разрушаемого образца от выходного отверстия насадка, достигая максимума на определенном расстоянии, совпадающем с тем местом, где сила удара струи достигает своего наибольшего значения. При дальнейшем увеличении длины струи производительность гидроотбойки снижается.

3. Включение в струепроизводящие устройства успокоителей (стабилизаторов) и воздушных колпаков (при поршневых насосах) существенно ухудшает динамические качества водяных напорных струй.

4. При давлениях 70—110 *ати* и диаметрах насадка 3,3 *мм* средние и максимальные значения сил при ударе как прерывистых, так и непрерывных струй примерно одинаковы. При давлениях 30—50 *ати* значения сил при ударе у прерывистых струй существенно ниже, чем у непрерывных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никонов Г. П. и Славутский С. О. Гидромеханизация в угольной промышленности. Углетехиздат, 1952.

2. Гавырин Н. П. Исследование гидромониторных струй. Изв. АН СССР, ОТН, 1939, № 7.