© В.П. Плотников, 2006

УДК 532.11:622.232.53

В.П. Плотников

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ В УСТАНОВКЕ С ПОРШНЕВЫМ ПНЕВМОАККУМУЛЯТОРОМ

Для исполнительных органов буроотрывающих гидроимпульсных комбайнов в качестве генераторов импульсов автором предложена гидравлическая импульсная установка [1], представляющая собой пневмоаккумулятор в соединении с трубой и штоком.

Разработка, исследование и внедрение такого комбайна позволят снизить выход штыба с 61.4 до 20÷22 %, отказаться от применения электроэнергии в забоях шахт, т.е. предотвращать взрывы метана и угольной пыли [2].

Наибольшее распространение гидропривод с поршневыми аккумуляторами энергии получил в машиностроении, например в прессах [3]. Однако он отличается сложностью и большими потерями энергии по сравнению с импульсными водомётами [4] и с гидравлической импульсной установкой автора [5]. В работе [3] проанализировано дифференциальное уравнение движения плунжера поршневого пневмоаккумулятора ковочного пресса, уравнение – нелинейное второго порядка с переменными коэффициентами, и указано, что общее решение этого уравнения до настоящего времени получить не удаётся. Для конкретных случаев после ряда упрощений можно найти численное решение с помощью компьютера [3].

Поэтому автор выполнил экспериментальные исследования импульсов давления воды на гидравлической импульсной установке с поршневым пневмоаккумулятором, с использованием электротензометрической аппаратуры, обработал результаты методами математической статистики и получил достаточно точные формулы и номограммы для расчёта параметров импульсов давления воды при отрыве угля в шахте.

Исследования влияния уплотнения на амплитуду импульсов давления воды выполнены на металлической импульсопроводящей трубе импульсной установки с внутренним диаметром 12 мм.

При измеренном уплотнении создавались и записывались в осциллографе на киноплёнку от 8 до 10 импульсов давления воды при каждом из указанных ниже давлений воздуха в пневмоаккумуляторе.

Средние арифметические значения давлений воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия в данном исследовании равнялись 0.316; 0.412; 0.515; 0.60; 0.76 МПа.

Средние арифметические значения расходов воды через уплотнения до импульса при давлении 0.08 МПа: 5; 34; 63; 90; 122 см^3/с.

Во время исследования измерялись амплитуды импульсов давления воды, расход воды через уплотнение до импульса при давлении 0.08 МПа, давление воздуха в пневмоаккумуляторе в начале и в конце сжатия и скорость плунжера импульсной установки. Результаты

Таблица 1

Зависимости амплитуд импульсов давления воды от качества уплотнения импульсопередающей трубы при разном давлении воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия

Давление воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия P_2, МПа	**Корреляционные уравнения зависимостей амплитуд импульсов давления воды P, МПа, от качества уплотнения $Q_{уп}$, см^3/с**	**Максимальный коэффициент импульсного давления**	**Коэффициент корреляции**	**Коэффициент вариации, %**
0.316	$P=13.83 - 0.1 \cdot Q_{уп}$	0.71	-0.98	5
0.412	$P=20.46 - 0.141\ Q_{уп}$	0.8	-0.99	8.2
0.515	$P=24.31 - 0.167\ Q_{уп}$	0.76	-0.97	7.7
0.60	$P=27.59 - 0.178\ Q_{уп}$	0.74	-0.96	3.6
0.76	$P=33.47 - 0.218 \cdot Q_{уп}$	0.71	-0.99	6.2

измерений параметров импульсов давления воды обработаны методами математической статистики [6]. Полученные корреляционные зависимости приведены в табл. 1, 2, 3, 4.

Сравнение максимальных амплитуд импульсов давления воды, определённых при давлении воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия 0.316 МПа, показывает, что максимальная амплитуда в металлической трубке – 13.83 МПа, а в бетонных блоках с основаниями 200×200 мм – 9.4 МПа. Поэтому можно сделать вывод, что вследствие снижения модуля упругости бетона по сравнению со сталью и образования трещин в бетоне при разрушении амплитуда импульсов давления воды при прочих равных условиях уменьшается в 1.5 раза.

Среднее арифметическое значение максимальной величины коэффициента импульсного давления при исследованиях в металлической трубке равно 0.75 со средней квадратической погрешностью 0.04 и коэффициентом вариации 5.1 %.

Из уравнений табл. 1 определено среднее арифметическое значение расхода воды через уплотнение при давлении импульса равном нулю, что составило 148 см^3/с, при внутреннем диаметре импульсопередающей трубы 12 мм.

Прямые, выражающие теоретические линии регрессии (табл. 2), пересекают оси P и P_2 близко от начала координат, при P_2, =0, амплитуда импульса 0.21 МПа, т.е не более 2.2 % от его максимального значения.

Можно сделать вывод, что потери энергии сжатого воздуха при образовании импульса давления воды на преодоление сил инерции и трения поршня пневмоаккумулятора и плунжера камеры высокого давления импульсной установки пренебрежимо малы, поэтому в дальнейших расчётах этими потерями пренебрегаем.

Систему уравнений в табл. 1 можно преобразовать. Запишем новое уравнение:

$$P = 46.9 - 0.16 \cdot Q_{уп} \qquad (1)$$

Для определения давления импульса воды при любом конечном давлении воздуха P_2 и при расходе воды через уплотнение $Q_{уп}$ получим:

$$P = 46.1 \cdot P_2 - 0.16 \cdot P_2 \cdot Q_{уп} \qquad (2)$$

Среднее арифметическое значение коэффициента при расходе воды через уплотнение $Q_{уп}$ в уравнениях табл. 3 равно 0.01. Этот коэффициент показывает угол наклона прямых к оси ординат $Q_{уп}$, который равен arctg 0.01.

Условия не всегда позволяют определить амплитуду импульсов давления

Таблица 2

Завсимости амплитуды импульсов давления воды от давления воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия при разном уплотнении импульсопередающей трубы

Расход воды через уплотнение $Q_{уп}$, см^3/с, при давлении 0.08 МПа	**Корреляционные уравнения зависимостей амплитуд импульсов давления воды *P*, МПа, от давления воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия P_2, МПа**	**Коэффициент корреляции**	**Коэффициент вариации, %**
5	$P=39.5 \cdot P_2 + 3.55$	0.89	4.4
34	$P=30.9 \cdot P_2 + 0.23$	0.97	5.3
63	$P=28 \cdot P_2 - 0.96$	0.97	8.0
90	$P=23.8 \cdot P_2 - 2.52$	0.98	6.8
122	$P=10.7 \cdot P_2 - 0.51$	0.79	18.4

воды непосредственным измерением, поэтому необходимо по результатам экспериментального исследования найти расчётный метод определения этой амплитуды. Для этого найдём коэффициент импульсного давления $K_{им}$, как отношение амплитуды импульса давления воды P к расчётному удельному давлению воздуха на единицу площади плунжера, определённому как произведение давления воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия P_2 на отношение площадей поршня пневмоаккумулятора $S_{пор}$ и плунжера $S_{пл}$ импульсной установки:

$$K_{им} = \frac{P}{P_2 \cdot \frac{S_{пор}}{S_{пл}}} = \frac{P}{P_{уд}} \qquad (3)$$

где $P_{уд}$ – удельное давление воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия на площадь плунжера установки, МПа.

При увеличении расхода воды до импульса при давлении 0.08 МПа с 0 до 148 см^3/с амплитуда импульса и коэффициент импульсного давления снижается от максимального значения до нуля. Максимальный коэффициент импульсного давления при разрушении бетонных блоков с основаниями 200×200 мм высотой 50 и 100 мм, и с основаниями 500×500 мм высотой 100 и 150 мм равен 0.50. Максимальный коэффициент импульсного давления в стальной трубе равен 0.75.

Определим давление воздуха в пневмоаккумуляторе исследованной гидравлической импульсной установки:

$$P_2^I = \frac{P_2^{II} D_2^2 \quad d_1^2}{d_2^2 \quad D_1^2}. \qquad (4)$$

где P^I_2 *и* P^{II}_2 – давление воздуха в пневмоаккумуляторах установок с поршнями разного диаметра D_1 и D_2 .

Диаметр поршня пневмоаккумулятора исследованной импульсной установки - D = 220 мм.

Диаметр плунжера исследованной импульсной установки d = 28 мм, После подстановки этих значений получим:

$$P_2^I = \frac{0.016 P_2^{II} D_2^2}{d_2^2}. \qquad (5)$$

Расходы воды до импульса при давлении 0.08 МПа при разном качестве уплотнения и при открытых трубах разного диаметра связаны зави-симостью:

$$\frac{Q_{уп1}}{Q_{уп2}} = \frac{Q_{уп\ м\ 1}}{Q_{уп\ м\ 2}} \qquad (6)$$

где $Q_{уп1}$ и $Q_{уп2}$ расходы воды в трубах разного диаметра при давлении 0.08 МПа с одинаковым качеством уплотнения; $Q_{уп\ м\ 1}$ и $Q_{уп\ м\ 2}$ – максимальные расходы воды при открытых трубах разного диаметра под давлением 0.08 МПа, в

Таблица 3

Зависимости скорости плунжера импульсной установки от качества уплотнения трубы при разном давлении воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия

Давление воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия P_2, МПа	**Корреляционные уравнения зависимости скорости плунжера импульсной установки V, м/с, от качества уплотнения $Q_{уп}$, см^3/с**	**Коэффициент корреляции**	**Коэффициент вариации, %**	**Надёжность коэффициента корреляции**
0.316	$V=2.23 + 0.0044 \cdot Q_{уп}$	0.47	13.9	3.6
0.412	$V=2.77 + 0.0109 \cdot Q_{уп}$	0.84	8.5	16.2
0.515	$V=3.55 + 0.0131 \cdot Q_{уп}$	0.90	6.7	28.3
0.60	$V=4.27 + 0.0114 \cdot Q_{уп}$	0.72	7.2	8.9
0.76	$V=5.31 + 0.0063 Q_{уп}$	0.57	5.9	5.3

трубах с диаметром 12, 20, и 24 мм, эти расходы – 148, 525, и 825 см^3/с, соответственно.

Уравнение (2) после пересчёта давления в стальной трубе на давление в бетоне и угле в результате деления на 0.75 и умножения на 0.5,учитывая равенства (5) и (6), можно записать в виде:

$$P = P_{уд} 0,67(0,75 - \frac{0,003 Q_{уп\,2} Q_{уп\,м\,1}}{Q_{уп\,м\,2}}), \quad (7)$$

Все коэффициенты правой части уравнений табл. 3 разделим на давление воздуха в пневмоаккумуляторе P_2, найдём средние значения этих коэффициентов и получим новое уравнение, которое показывает изменение скорости плунжера импульсной установки при увеличении давления P_2 на 0,1 МПа и изменении качества уплотнения $Q_{уп}$:

$$V = 7 + 0.009 \cdot Q_{уп\,1} \quad (8)$$

При умножении правой части этого уравнения на P_2 получим уравнение для расчёта скорости плунжера в момент импульса давления воды при изменении давления P_2 и качества уплотнения $Q_{уп}$. После подстановки в полученное уравнение значений P_2 (формула 5) и $Q_{уп\,1}$ (формула 6) получим:

$$V = 0,016 P_{уд} (7 + \frac{0,009 Q_{уп\,2} Q_{м\,1}}{Q_{м\,2}}), \quad (9)$$

Полученные экспериментально и обработанные корреляционным анализом результаты исследования импульсов давления воды можно обобщить и получить номограммы для определения параметров импульсов при отрыве угля в шахте и основных размеров проектируемых гидравлических импульсных установок.

Проанализировав уравнения зависимостей скорости плунжера импульсной установки от качества уплотнения при разном давлении воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия можно найти среднее значение коэффициента при втором члене уравнения, которое равно 0.01. Затем на оси координат удельного давления воздуха на плунжер откладываем значения первого члена названных выше уравнений, строим равномерную шкалу по 5.0 МПа и из полученных точек проводим параллельные прямые под углом arctg0.01 (рис. 1).

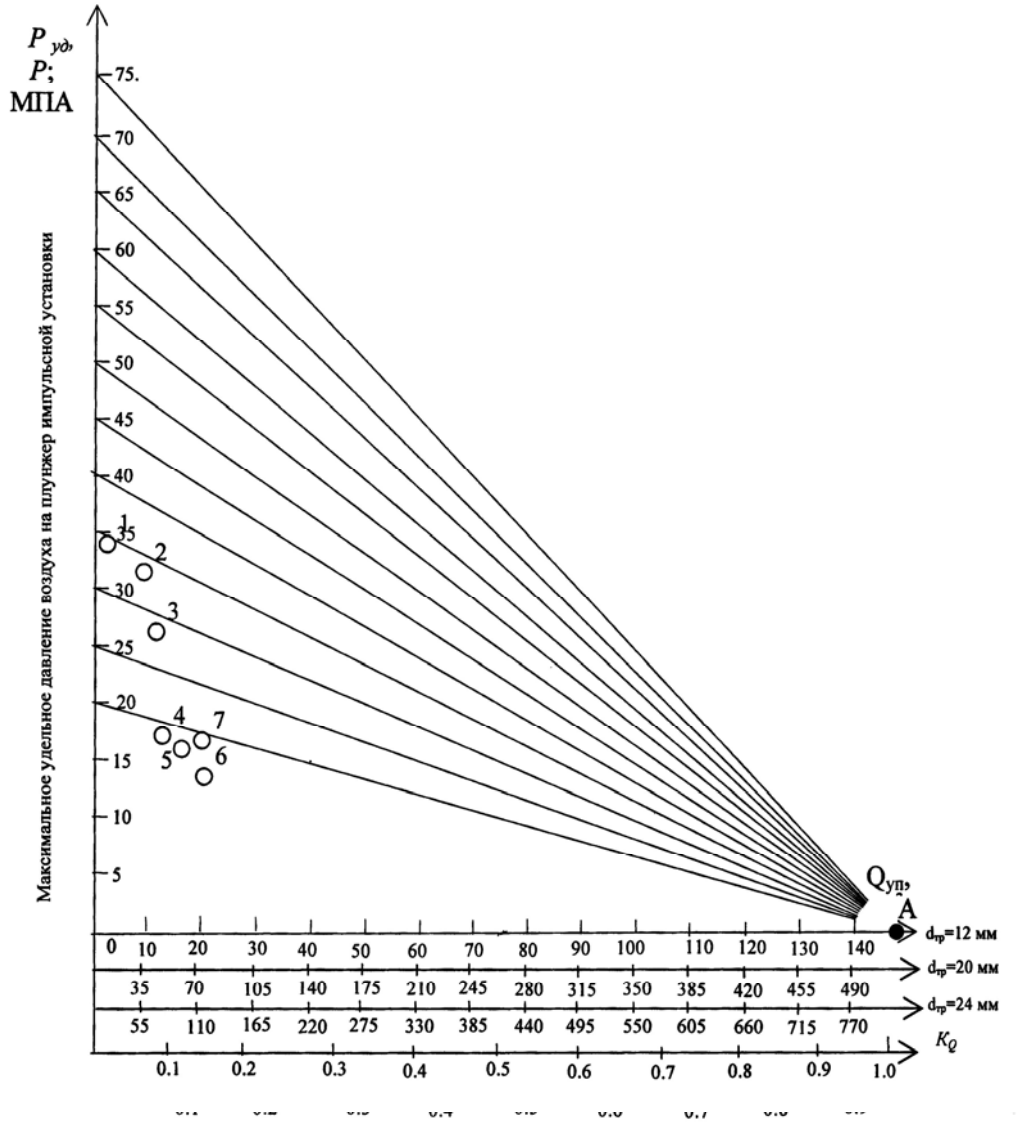

Рис. 2. Номограмма для определения давления воды в шпуре при отрыве угля гидравлической импульсной установкой в шахте

Рис. 1. Номограмма для определения скорости плунжера импульсной установки при отрыве угля импульсами давления воды в шахте

Для определения скорости плунжера импульсной установки в шахт-ном исследовании отрыва угля при разных диаметрах импульсопередающей трубы в номограмме (рис. 1) применены разные масштабы ординаты $Q_{уп}$ для труб с внутренним диаметром 12, 20, 24 мм, а также значения коэффициента K_Q

$$K_Q = \frac{Q_{уп\ 2}}{Q_{уп\ м\ 2}} \qquad (10)$$

Таблица 4

Зависимости скорости плунжера импульсной установки от давления воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия при разном уплотнении импульсопередающей трубы

Качество уплотнения $Q_{уп}$, см^3/с, при 0.08 МПА	**Корреляционные уравнения зависимости скорости плунжера импульсной установки V, м/с, от давления воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия P_2, МПа**	**Коэффициент корреляции**	**Коэффициент вариации, %**	**Надёжность коэффициента корреляции**
5	$V=7\cdot P_2 - 0.09$	0.9	10.4	28.3
34	$V=7\cdot P_2+ 0.45$	0.94	10.2	44.3
63	$V=7\cdot P_2+ 0.51$	0.95	11.2	57.7
90	$V=7.6\cdot P_2 + 0.49$	0.95	6.7	119
122	$V=7.2\cdot P_2+ 0.98$	0.96	5.2	72

Максимальные значения ординат $Q_{уп}$ рассчитаны из условия максимального расхода воды при давлении 0.08 МПа при полностью открытом уплотнении. Этот максимальный расход воды определялся по условию:

$l\cdot Q_{уп}^2/d^5 = const$,

и составил для труб длиной 1 м с внутренним диаметром 12, 20 и 24 мм - 150, 525 и 825 см^3/с соответственно.

По построенной номограмме можно быстро и достаточно точно определить скорость плунжера при отрыве угля в шахте гидравлической импульс-ной установкой при разном удельном давлении воздуха в конце сжатия на плунжер.

Полученные корреляционные уравнения в табл. 1 необходимо преобразовать и построить номограмму для определения давления воды в шпурах при отрыве угля в шахте (рис. 2). Для этого приравняв к нулю давление воды в момент импульса Р найдём расход воды $Q_{уп}$ при максимально открытом уплотнении. Средний расход воды в этом случае для пяти вариантов давления воздуха при внутреннем диаметре трубы 12 мм и длине 1 м равен 148 см^3/с. Затем строим номограмму зависимостей удельного давления воздуха в пневмоаккумуляторе на единицу площади плунжера установки при разных уплотнениях трубы.

Номограмма для расчёта амплитуды импульса давления воды при исследовании отрыва угля в шахте показана на рис. 2.

На полученной номограмме можно определить амплитуду импульса давления воды по удельному давлению воздуха в пневмоаккумуляторе в конце сжатия на единицу площади плунжера импульсной установки при разном качестве уплотнения, при любых диаметрах поршня пневмоаккумулятора и плунжера гидравлической импульсной установки, подобной спроектированной и исследованной автором. Если диаметр и длина импульсопередающей трубы будут отличаться от трубы, исследованной в лаборатории, тогда полный расход воды через трубу при любом давлении легко рассчитать по формулам гидравлики или определить экспериментально.

По давлению воды и скорости плунжера можно рассчитать мощность, энергию импульса давления воды и энергоёмкость отрыва угля в шахте. По известной энергоёмкости отрыва и мощности можно определить производительность буроотрывающего

гидроимпульсного комбайна, предложенного автором.

По полученным корреляционным уравнениям и номограммам определены параметры импульсов давления воды отрыва угля в шахте, выполненного автором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Плотников В.П.* Основные параметры гидравлической импульсной установки для отрыва угля: "Горные машины и автоматика" / В.П. Плотников. – М: №10, 2003, с. 4-7

2 *Плотников В.П.* Основные параметры буроотрывающего гидроимпульсного комбайна: "Горные машины и автоматика" / В.П. Плотников. – М: №12, 2003, с. 17-20.

3 *Корнилов В.В.* Гидропривод в кузнечно – штамповочном оборудовании. Учебное пособие для ВУЗов / В.В. Корнилов, В.М. Синицкий, под. ред. Н.В. Пасечника. – М: Машиностроение, 2002, 224 с.

4 *Черменский Г.П.* Применение импульсного водомёта для проведения выработок по углю: Реф. сб. "Гидравлическая добыча угля" / Г.П. Черменский, М.А. Никифоров. – М.: ЦНИИЭИУголь, 1966, №12.

5 *Плотников В.П.* Гидравлическая импульсная установка: Авторское свидетельство СССР на изобретение №1469125, Кл. Е21с 25/60 / В.П. Плотников. – М.: бюллетень №12, 30.03.1989.

6 *Рыжов П.А.* Математическая статистика в горном деле / П.А. Рыжов. – М.: МИРГЭМ, 1965. – 183 с.

7 *Плотников В.П.* Рабочий орган горного комбайна: Авторское свидетельство СССР на изобретение №1170136, Кл. Е21, с 27/34 / В.П. Плотников. – М.: бюллетень №28, 30.07.1985.

Коротко об авторах

Плотников В.П. – доцент, кандидат технических наук, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН			
ГЛЕБОВ Сергей Валерьевич	Обоснование рациональных комплексов геофизических исследований водозащитной толщи на месторождениях водорас-	25.00.16	к.т.н.

	творимых руд (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей)		
КРУГЛОВ Юрий Владиславович	Моделирование систем оптимального управления воздухораспределением в вентиляционных сетях подземных рудников	25.00.20	к.т.н.