

УДК 622.831.325:622.232.522.24:532.528

Зберовский В.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Пазынич А.В., магистр,
Поляков Ю.Е., аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕЁ ИМПУЛЬСНОМ НАГНЕТАНИИ В УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Зберовський В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Пазиніч А.В., магістр,
Поляков Ю.Є., аспірант
(ІГТМ НАН України)

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ТИСКУ РІДИНИ ПРИ ЇЇ ІМПУЛЬСНОМУ НАГНІТАННІ У ВУГІЛЬНИЙ ПЛАСТ

Zberovskiy V.V. Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Pazynich A.V., M. S. (Tech.),
Polyakov Yu.E., Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)

DETERMINING OF PRESSURE PEAKS AT PULSE FLUID INJECTION

Аннотация. На основании результатов моделирования гидроимпульсного воздействия на выбросоопасные угольные пласты установлена зависимость значений размаха автоколебаний давления от режимных параметров нагнетания. Определены максимальные значения амплитудной характеристики генератора и соответствующие им значения гидродинамических параметров. На основании последних установлены зависимости максимальных значений размаха автоколебаний от параметра кавитации и граничные значения давления нагнетания жидкости в угольные пласты для различных режимов гидроимпульсного воздействия. Развитие аналитического метода расчета динамических характеристик, реализуемых кавитационными генераторами, применено в методе расчета рабочих параметров генератора упругих колебаний и теоретической модели процесса формирования амплитудно-частотных характеристик импульсного нагнетания жидкости.

Ключевые слова: угольный пласт, гидроимпульсное воздействие, жидкость, давление, кавитация, автоколебания.

Недостатки нормативного способа гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов [1, 2] позволяет устранить гидроимпульсное воздействие в режиме периодически-срывной кавитации. Однако, несмотря на достигнутые результаты и повышение эффективности гидрорыхления [3-5], до настоящего времени технология этого способа находится на стадии разработки. Имеется ряд нерешенных вопросов, которые требуют более детального исследования параметров импульсного нагнетания жидкости. Одной из таких задач является определение давления нагнетания, при котором будет исключена вероятность гидроразрыва пласта.

Как показала практика ведения горных работ в условиях больших глубин, технологические параметры и значение давления нагнетания при гидрорыхлении, определяемое по выражению (1) [1], по ряду факторов не всегда обеспечивают надежность способа, его эффективность и безопасность ведения работ.

$$P_H = (0,75 - 1,0)\gamma_{п}H, \quad (1)$$

где $(0,75-1,0)$ – эмпирический коэффициент; $\gamma_{п}$ – объемный вес горных пород, $\text{м}^3/\text{т}$; H – глубина залегания пласта, м.

Эффективность гидрорыхления зависит от гидропроницаемости угля, величины зоны разгрузки и расположения относительно её фильтрационной части скважины. Эти параметры не учитываются в расчетах и определяются непосредственно в промышленных условиях при опытных нагнетаниях. При этом критерием контроля служит падение давления от максимально установленного в процессе нагнетания на 30%.

При гидроимпульсном воздействии вместо давления нагнетания, создаваемого насосной установкой, необходимо рассматривать значение размаха амплитуды автоколебаний, реализуемых генератором в фильтрационной части скважины. Эта характеристика генератора строго соответствует установленному режиму импульсного нагнетания жидкости и определяется экспериментально на гидравлическом стенде.

Пример результатов расчета размаха автоколебаний ΔP и частоты их следования f при моделировании импульсного нагнетания жидкости с различными значениями давления нагнетания 5, 10, 20 и 30 МПа приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета размаха автоколебаний и их частоты в зависимости от давления подпора [3]

P _н =5 МПа, Q=28 л/мин			P _н =10 МПа, Q=39 л/мин			P _н =20 МПа, Q=55 л/мин			P _н =30 МПа, Q=69 л/мин		
P _п , МПа	ΔP, МПа	f, Гц	P _п , МПа	ΔP, МПа	f, Гц	P _п , МПа	ΔP, МПа	f, Гц	P _п , МПа	ΔP, МПа	f, Гц
0,05	1,18	459	0,1	2,36	652	0,2	4,71	926	0,3	7,05	1130
0,15	2,93	532	0,3	5,82	756	0,6	11,46	1075	0,9	16,93	1311
0,25	4,63	607	0,5	9,07	862	1,0	17,41	1225	1,5	25,15	1495
0,5	8,23	797	1	15,11	1133	2,5	26,36	1943	3	35,51	2227
1	10,89	1201	2	17,28	1516	4	26,19	2416	6	32,90	2860
1,5	9,43	1627	3	13,93	2312	6	20,16	3285	9	24,89	4008
2	6,97	2096	4	10,03	2979	8	14,31	4233	12	17,58	5163
2,5	4,66	2617	5	6,64	3719	10	9,42	5285	15	11,55	6447
3	2,75	3213	6	3,90	4566	12	5,53	6488	18	6,77	7915
3,5	1,30	3929	7	1,84	5583	14	2,61	7934	21	3,19	9678

Моделирование процесса осуществлялось на имитаторе скважины путем изменения давления подпора $P_{п}$ в диапазоне $P_{п}=(0,01-0,7)P_{н}$. Анализ результатов исследований размаха автоколебаний при различных режимных парамет-

рах, позволил установить диапазон, в котором за генератором упругих колебаний, в нашем случае ГК-2.5, наблюдается кавитационное течение жидкости. По параметру кавитации этот диапазон составляет от $\tau \approx 0,01$ до $\tau \approx 0,88$. Устойчивый режим кавитации, диапазон которого принимается в качестве рабочего, для данного генератора, наблюдается при $0,03 \leq \tau \leq 0,82$. В этом диапазоне режимным параметрам импульсного нагнетания соответствуют строго определенные гидродинамические параметры генератора. Из результатов исследований (табл. 1) мы видим, что если изменяется какой-либо параметр нагнетания, например давление подпора, то соответственно ему изменяются частота и размах автоколебаний.

Полученные результаты были использованы в аналитическом методе расчета динамических характеристик, реализуемых кавитационными генераторами [6]. Развитие метода расчета рабочих параметров генератора упругих колебаний, позволило разработать теоретическую модель процесса формирования амплитудно-частотных характеристик импульсного нагнетания жидкости.

Рассматривая характер изменения размаха автоколебаний в зависимости от параметра кавитации или давления подпора, отметим следующее. В рабочем диапазоне кавитационного течения жидкости при различных значениях режимных параметров наблюдается рост размаха автоколебаний до его максимума с последующим снижением. Это дает основание утверждать, что в процессе импульсного нагнетания жидкости наблюдается закономерность развития максимальных значений размаха автоколебаний от давления подпора. Учитывая, что с одной стороны давление подпора жидкости в фильтрационной части скважины характеризует фильтрационные свойства угольного пласта, а с другой определяет величину параметра кавитации, эту закономерность следует рассматривать как граничную характеристику значений импульсной нагрузки на выбро-соопасный угольный пласт.

Этот вывод имеет важное практическое значение. Поэтому, далее рассмотрим развитие размаха автоколебаний при различных режимных параметрах импульсного нагнетания. Для этого по результатам лабораторных исследований с помощью численного дифференцирования определим максимальные значения размахов автоколебаний ΔP_{\max} и вычислим соответствующие им значения параметров импульсной нагрузки (табл. 2).

Таблица 2 – Параметры режимов импульсного нагнетания жидкости при максимальных значения размаха автоколебаний

P_n , МПа	Q , л/мин	ΔP_{\max} , МПа	f , Гц	P_n , МПа
5	28	10,89	1201	1,01
10	39	17,28	1516	1,68
20	55	26,36	1943	2,84
30	69	35,51	2227	3,9

Для того, что бы определить каким образом параметры режима импульсного нагнетания влияют на гидродинамические параметры кавитационного течения

жидкости по результатам численного дифференцирования (табл. 2) рассмотрим их взаимозависимости.

На рисунках 1-3 приведены установленные зависимости максимальных значений размаха автоколебаний ΔP_{\max} и соответствующие им значения частоты от режимных параметров: давления нагнетания P_H , давления подпора P_n и расхода жидкости Q .

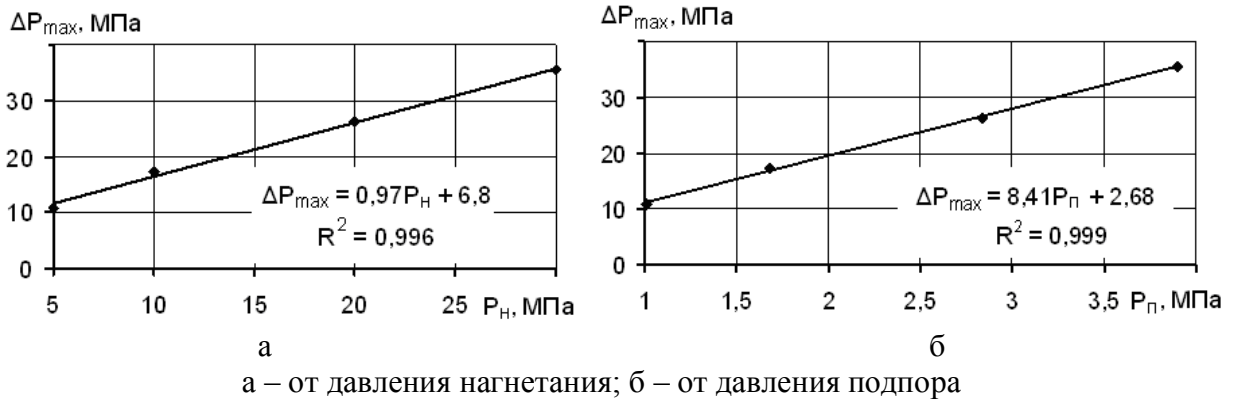


Рисунок 1 – Развитие максимальных значений размаха автоколебаний ΔP_{\max}

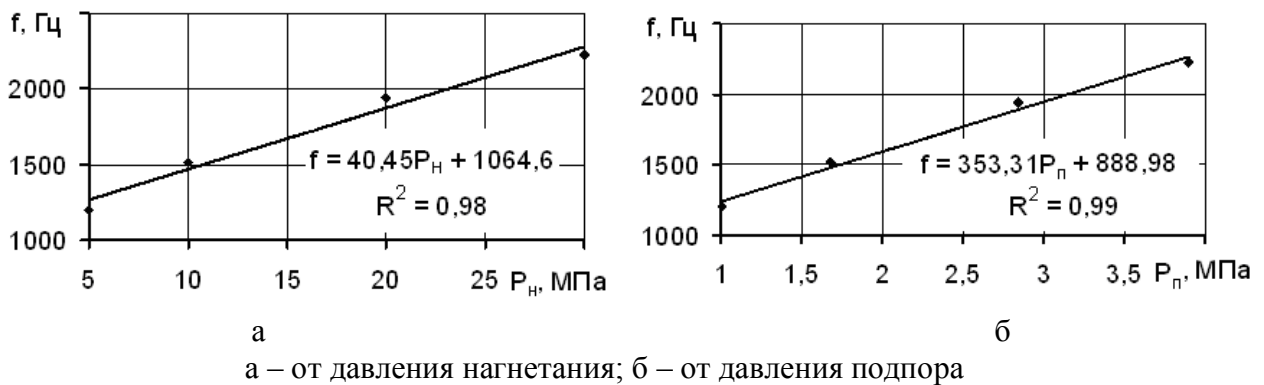


Рисунок 2 – Зависимости частоты автоколебаний от давления

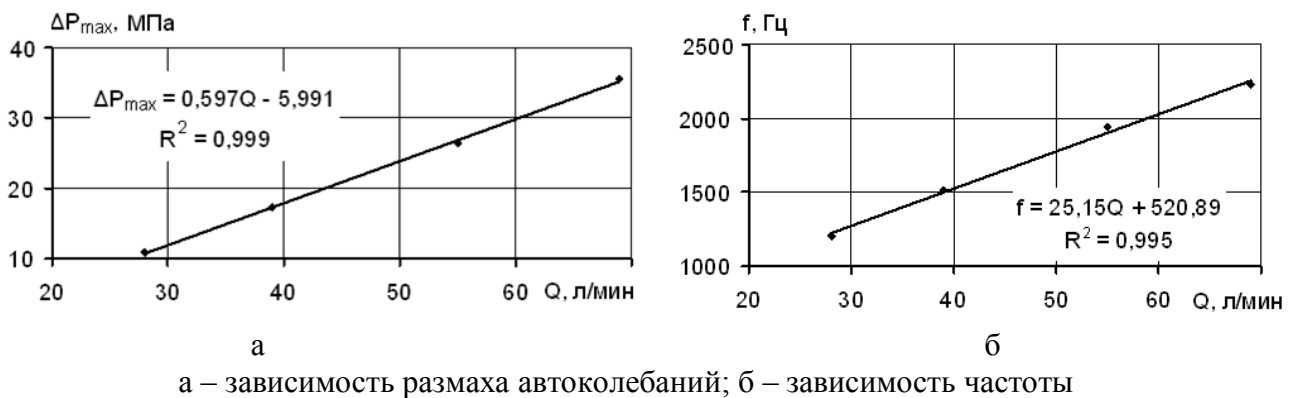


Рисунок 3 – Зависимости максимальных значений размаха автоколебаний и соответствующей им частоты от расхода жидкости

Анализ установленных зависимостей показывают, что рост максимальных значений размаха автоколебаний от режимных параметров нагнетания происходит по линейной зависимости. При этом с увеличением максимальных значений размаха автоколебаний наблюдается и рост соответствующих им частот.

Исходя из приведенных зависимостей, установленную закономерность можно сформулировать следующей образом. Увеличение давления нагнетания и расхода жидкости при гидроимпульсном воздействии на угольный пласт приводит к росту максимумов размахов автоколебаний и частоты их следования по линейной зависимости от параметров нагнетания и давления подпора жидкости в скважине.

Установленная зависимость изменения максимальных значений размаха автоколебаний от давления нагнетания (2) позволяет обосновать граничное значение максимального давления нагнетания жидкости в заданном режиме, при котором обеспечиваются максимальные значения размаха автоколебаний.

$$\Delta P_{\max} = 0,97P_{\text{H}} + 6,8, \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$P_{\text{H max расч.}} = (\Delta P_{\max} - 6,8)/0,97 \quad (3)$$

Расчетное значение давления нагнетания $P_{\text{H max расч.}}$ следует рассматривать как максимальное (граничное) значение давления импульсного нагнетания жидкости в угольные пласты при установленных гидродинамических параметрах генератора ГК-2,5. Значение ΔP_{\max} определяется экспериментально на гидравлическом стенде для каждого режима работы генератора.

Таким образом, развитие аналитического метода расчета динамических характеристик, реализуемых кавитационными генераторами, реализованное в методе расчета рабочих параметров генератора упругих колебаний позволило разработать теоретическую модель процесса формирования амплитудно-частотных характеристик при импульсном нагнетании жидкости. Использование данной модели в разработке технологии гидроимпульсного воздействия на выбросоопасные угольные пласты позволит в дальнейшем на основании результатов моделирования установить соответствие расчетных и экспериментальных данных режимных параметров импульсного нагнетания жидкости горно-геологическим и горнотехническим условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.001740088-2005. – [Действующий 30.12.2005] . – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.- (Нормативный документ Минуглепрома Украины. Стандарт).
2. Бойко, Я.Н. Повышение эффективности гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов в подготовительных выработках и нишах / Я.Н. Бойко, А.В. Никифоров, А.А. Рубинский // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка: Донбасс, 2009. – №2 (24). – С. 52-57.

3. Оценка эффективности гидроимпульсного воздействия по газовому фактору в забоях подготовительных выработок / В.В.Зберовский, А.В.Пазынич, Ю.Е.Поляков [и др.]. // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 89. – С.126-133.

4. Zberovski, V. Complex of measures on prevention of gas-dynamic occurrences when coal-gas deposits developing by means of active impact // Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2011: Program and abstracts volume. Almaty, October 12-14, 2011. – Almaty, 2011.- P. 423.

5. Васильев, Л.М. Гидроимпульсное рыхление угольных пластов при проведении подготовительных выработок / Л.М. Васильев, В.В. Зберовский // Уголь Украины.- 2013. - № 2.- С. 44-47.

6. Выполнить обоснование и разработать способ гидроимпульсного воздействия, который обеспечивает повышение безопасности труда при проведении подготовительных выработок: отчёт о НИР (заключит.) / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова; рук. Васильев Л.М. – Днепропетровск, 2011. – 135 с. – ГР 0107U002004. – Инв. № 7078.

REFERENCES

1. Ukraine Ministry of Coal Industry (2005), *10.1.001740088.011:2005. Pravyla vedennia hirnychykh robit na plastakh, skhilnykh do hazodynamichnykh yavlyshch: Normatyvnyu dokument Minvuhlepromu Ukrayiny. Standart* [10.1.001740088:2005. Rules of Mining on Layers Prone to Gas-Dynamic Phenomena. Standart], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kyiv, Ukraine.

2. Boyko, Ya.I., Nikiforov, A.V. and Rubynskiy, A.A. (2009), “Increase of efficiency of hydro loosening of outburst-prone coal layers in development working and in niches”, *Sbornyk nauchnykh trudov MakNII*, no. 2 (24), pp. 52-57.

3. Zberovskiy, V.V., Pazynich, A.V., Polyakov, Yu.E., Potapenko, A.A. and Angelovskiy, A.A.(2010), “The effectiveness assessment of hydro-pulse influence by gas factor in tunnel cutting”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 89, pp. 126-133.

4. Zberovskiy, V.V. (2011), “Complex of measures on prevention of gas-dynamic occurrences when coal-gas deposits developing by means of active impact”, *Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2011: Program and abstracts volume*, p. 423.

5. Vasilyev, L.M. and Zberovskiy, V.V. (2013), “Hydropulsive loosening of coal layers in the preparatory developments workings”, *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 44-47.

6. *Vypolnit obosnovanie i razrobotat sposob gidroimpulsnogo vozdeistviya, kotoryu obespechivayet povysheniye bezopasnosti truda pri provedenii podgotovitelnykh vyrabotok* [To execute the ground and to develop the method of hydro-impulse influence which provides increased safety during the development working]: otchet o NIR (zaklyuchit.) / M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAScience of Ukraine; ruk. Vasilyev L.M.. – Dnepropetrovsk, 2011. – 135 p. – GR 0107U002004. – Inv. № 7078.

Об авторах

Зберовский Василий Владиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, avalansh@ua.fm.

Пазынич Артём Вячеславович, магистр, инженер I категории в отделе Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, dneprovec78@bigmir.net.

Поляков Юрий Евгеньевич, аспирант, ведущий инженер в отдел Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, ZoRTFA@mail.ru.

About the authors

Zberovskiy Vasyil Vladislavovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, avalansh@ua.fm.

Pazynich Artem Viacheslavovich, Master of Science, Engineer in Department of Rock Breaking Prob-

lems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, dneprovec78@bigmir.net.

Polyakov Yuriy Evgenevich, Doctoral Student, principal engineer in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, ZoRTFA@mail.ru.

Анотація. На основі результатів моделювання гідроімпульсної дії на викидонебезпечні вугільні пласти встановлено залежність значень розмаху автоколивань тиску від режимних параметрів нагнітання. Визначено максимальні значення амплітудної характеристики генератора та відповідні значення гідродинамічних параметрів. На їхньої основі встановлено залежності максимальних значень розмаху автоколивань від параметру кавітації та граничні значення тиску нагнітання рідини у вугільні пласти для різних режимів гідроімпульсної дії. Розвиток аналітичного методу розрахунку динамічних характеристик, реалізованих кавітаційними генераторами, застосовано в методі розрахунку робочих параметрів генератора пружних коливань та теоретичній моделі процесу формування амплітудно-частотних характеристик імпульсного нагнітання рідини.

Ключові слова: вугільний пласт, гідроімпульсний вплив, рідина, тиск, кавітація, автоколивання

Abstract. With the help of modeling a hydroimpulsive action on the prone-to-outburst coal seams, interdependence between amplitude of pressure self-fluctuations and regime parameters of injection was established. Peak values of generator amplitude characteristics and corresponding values of hydrodynamic parameters are determined. Basing on the determined hydrodynamic parameters, dependence between peak amplitude of pressure self-fluctuations, cavitation parameters and boundary values of liquid injection pressure in the coal seams is established for different modes of hydroimpulsive action. This analytical method for calculating dynamic characteristics by cavitation generators was applied in calculations of operating parameters for generator of elastic vibrations and theoretical model of a process of the amplitude-frequency characteristics formation for the pulsed liquid injection.

Keywords: coal seam, hydroimpulsive action, fluid, pressure, cavitation, self-vibration.

Стаття постуила в редакцію 06.10.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Л.М. Васильевым