

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, Н.Н.Шуюшбаева,
Б.А.Ахмадиев, Н.Н.Омаров, Ж.Т.Шиликбай

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: nn_shuish@mail.ru)

Исследование процесса распространения импульсного давления при электрогидравлическом бурении

В статье рассматривается распространение импульсного давления, которое создается электрическими разрядами в неоднородной жидкости при бурении скважин. В работе приведены численные расчеты динамики давления на основе термодинамического анализа нелинейного процесса электрогидравлического эффекта в гетерогенной среде. По результатам исследования получены зависимости относительного давления и координаты фронта ударной волны от времени.

Ключевые слова: электрический разряд, импульсное давление, электрогидравлический бур, параболический отражатель.

Совершенствование процессов преобразования энергии обусловлено интенсивным развитием промышленного производства в условиях нарастания экологических проблем и необходимости применения энергосберегающих технологий.

Прогресс в освоении техники мощных импульсных разрядов позволил найти приложение для нее не только в технике физического эксперимента, но и в технологических процессах. Среди технологических процессов, использующих короткие мощные импульсы давления, можно выделить электроимпульсную дезинтеграцию материалов, электрогидравлическую обработку, а также электрогидравлический способ бурения. Для решения этих задач в качестве источника энергии используются генераторы импульсных токов, генераторы импульсных напряжений, а также разные конструкции электрогидравлического бура. Хорошо освоены технологические процессы, требующие выделения энергии накопителя за время в несколько микросекунд и более [1–3]. Однако на сегодняшний день задачи о сокращении времени процесса, повышении мощности и скорости ввода мощности являются актуальными, поскольку их решение приводит к росту объемной плотности энергии. В этом случае можно ожидать изменения импульса давления в канале и увеличения коэффициента полезного действия.

Электрический разряд в жидкой среде сопровождается образованием ударных волн с большой амплитудой давления на фронте, которое и используется в качестве мощного источника механической энергии с высоким коэффициентом полезного действия. Возмущения, вносимые в рабочую среду внешними источниками, в данном случае высоковольтными электрическими разрядами, оказывают влияние на свойства рабочей среды. Рабочая среда, представляющая собой неоднородную жидкость, турбулизуется, так как насыщается парами, в ней образуются газовые пузырьки, которые растворяются и перемешиваются в процессе разрушения и измельчения горных пород. Все эти аспекты оказывают существенное воздействие на амплитуду и частоту мощных импульсных давлений, и при расчетах это необходимо учитывать [4].

При моделировании гидродинамики электрогидравлического эффекта предполагается изотропность всех процессов, а именно волны возмущения, и все другие параметры меняются одинаково по всем направлениям. В проведенных нами экспериментах была обнаружена возможность концентрирования мощности ударной волны при помощи твердого отражателя — представляет собой внутреннюю часть электрогидравлического бура в виде парабооида.

Экспериментальные данные по измерению импульсного давления в гетерогенных средах при различных условиях [5–8] также показали необходимость исследования закономерностей отражения волн давления большой амплитуды в пузырьковой жидкости от твердой границы.

Для проведения численного расчета используем дифференциальные уравнения, которые позволяют определить изменение по времени давления взрыва $P(t)$ и размера полости разряда $x(t)$ при заданных начальных условиях.

Проведенные нами численные расчеты динамики давления на основе термодинамического анализа нелинейного процесса электрогидравлического эффекта в гетерогенной среде учитывают влия-

ние степени дисперсности среды и изменения геометрии канала на распространение ударной волны посредством введения уточняющих коэффициентов в уравнение теплового баланса.

Мощность, выделяемая при электрогидравлическом эффекте, запишем в следующем виде:

$$N(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{C_j}{k(\varphi) - 1(V \cdot P' + k(\varphi) \cdot PV')}, \quad (1)$$

где $N(t)$ — мощность; $Q(t)$ — энергия, выделяемая при электрическом разряде; P — давление рабочей среды; V — объем канала разряда; k — показатель политропы. Величины со штрихами обозначают дифференциалы по времени. Давление P на первом шаге равно максимальному значению давления на фронте ударной волны, которое определяется из условий Гюгонию:

$$P = \frac{2\rho_0}{k+1} \cdot u^2 = C_1 \cdot u^2 \quad (2)$$

где $C = \frac{2\rho_0}{k+1}$ — коэффициент, учитывающий нелинейные свойства гетерогенной среды с плотностью ρ_0 в невозмущенном состоянии; x — пространственная координата; u — скорость распространения ударной волны:

$$u = \frac{dx(t)}{dt}. \quad (3)$$

Объем пространства, в котором происходит распространение ударной волны, равен объему некоторого эллиптического параболоида. Если направить ось эллиптического параболоида по направлению движения ударной волны, тогда радиус основания совпадет с радиусом рабочего канала (рис. 1). При этом предполагается, что высоковольтный кабель-электрод, который является источником мощного импульсного давления, расположен между фокусом и двойным фокусом параболоида. Тогда высота эллиптического параболоида направлена по оси x , а радиус основания r определяется значением перпендикулярной оси координаты.

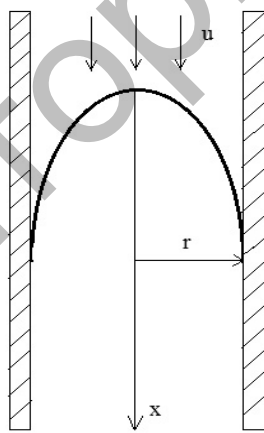


Рисунок 1. Схема расчета объема разрядного пространства

Отсюда можно представить рабочий объем, окружающий канал разряда, как объем эллиптического параболоида:

$$V = C_2 \cdot x^2, \quad (4)$$

где $C_2 = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r \cdot \text{tg}\theta$ — коэффициент, зависящий от геометрических параметров канала распространения ударной волны; r — радиус рабочей части трубы; θ — угол, равный соотношению радиуса на высоту эллиптического параболоида.

При наличии ограничивающих стенок рабочего участка в виде эллиптического параболоида коэффициент C_2 зависит от расположения центрального кабеля-электрода, который учитывает влияние ограничивающих отражателей. На рисунке 2 показана модель электрогидравлического бура.

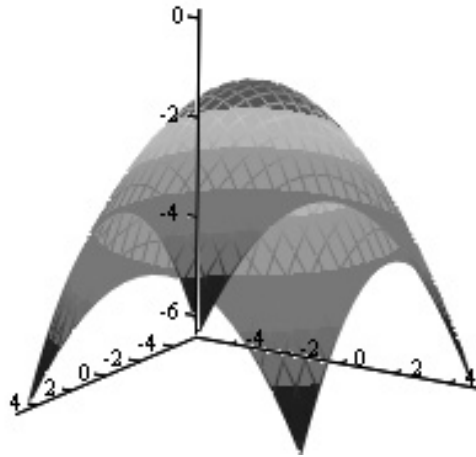


Рисунок 2. Модель внутренней части электрогидравлического бура

Используя выражения (2), (3) и (4), преобразуем уравнение (1) и получим следующую систему для расчета эволюции давления и скорости распространения ударной волны:

$$\begin{cases} P' = \frac{k-1}{C_2} \cdot \frac{N(t)}{x^2} - 2 \cdot k \sqrt{\frac{P^3}{C_1}} \cdot \frac{1}{x(t)} \\ x' = \pm \sqrt{\frac{P}{C_1}} \end{cases} \quad (5)$$

Ударная волна, распространяющаяся вдоль оси эллиптического параболоидного отражателя, давление на фронте которой используется для разрушения твердых камней, с точки зрения гидродинамики представляет собой затопленную турбулентную струю, как известно, не имеющую до сих пор теоретического описания. В работах [9–11] приведены результаты современных исследований динамики турбулентных процессов.

Сущность данного подхода основана на рассмотрении явления перемежаемости в турбулентном перемешивании, заключающегося в чередовании по времени в фиксированной точке турбулентной жидкости с невозмущенной. Вся струя рассматривается как смесь двух жидкостей: турбулентной и невозмущенной. Вероятность появления турбулентной жидкости в заданной точке характеризуется коэффициентом перемежаемости, который определяется через относительное значение масштаба турбулентности или пульсаций скорости.

Для численного счета задаются значение функции и ее производных в одной точке, при котором начальный момент времени равен нулю ($t = 0$). Числовые результаты получены с помощью программы Паскаль, и построены графики зависимости относительного давления и координаты ударной волны от времени в пакете MatCad (показаны на рис. 3 и 4).

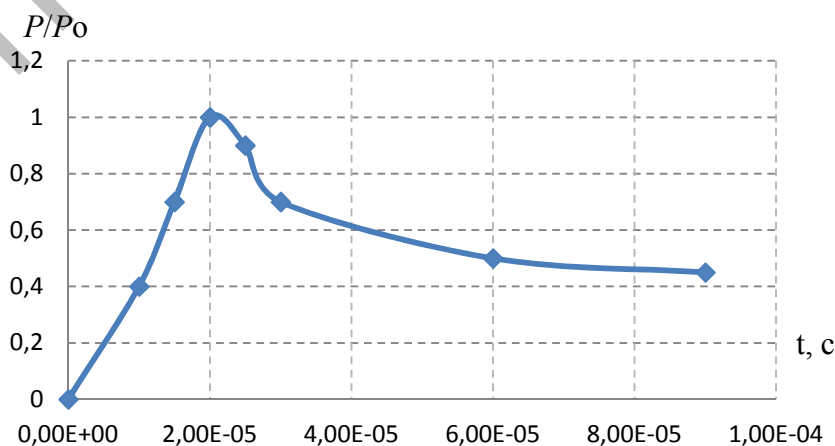


Рисунок 3. Зависимость относительного давления на фронте ударной волны от времени

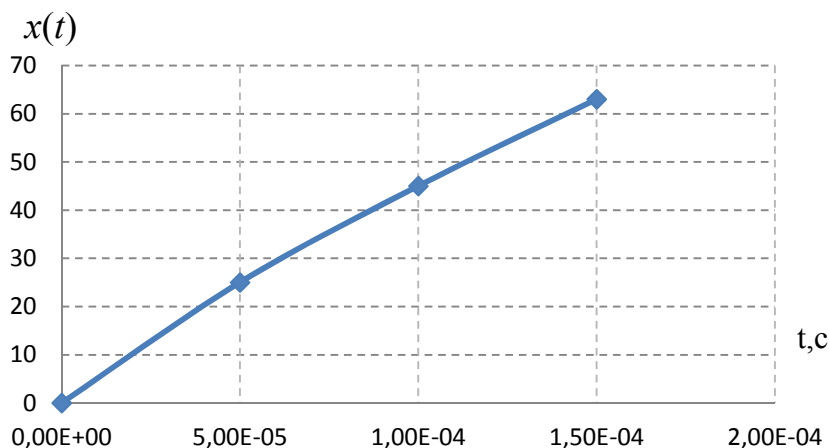


Рисунок 4. Зависимость координаты ударной волны в разрядном канале от времени

По результатам эксперимента наблюдается увеличение амплитуды импульсного давления в определенных местах центрального кабеля-электрода в параболоидном отражателе бура. Этот факт свидетельствует о случае предельно развитой и самоорганизованной турбулентности, т.е. комбинации вихрей, образуемых при отражении от твердых отражателей, — случай своего рода некоторого резонанса наложения отраженных ударных волн. При электровзрыве энергия ударной волны распространяется во все стороны изотропно, а с помощью параболоидного отражателя она может концентрироваться в одном, преимущественном направлении. Наибольшая эффективность была зафиксирована при расположении кабеля-электрода между фокусом и двойным фокусом параболоидного отражателя.

Список литературы

- 1 Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 272.
- 2 Бельков Е.П., Бочаров Ю.Н., Шнеерсон Г.А., Янчус Э.И. Генератор импульсных токов: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГТУ, 1998. — 99 с.
- 3 Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. — Томск: Изд-во ТГУ, 1961. — 150 с.
- 4 Сакипова С.Е. К расчету импульсного давления при электроразрядном воздействии в неоднородной жидкости // Вестник ТГУ. — 2009. — № 1(5). — С. 74–81.
- 5 Прибатурин Н.А., Стасенко Д.П. Исследование возможности интенсификации насыщения жидкостей газом путем воздействия ударных волн // ПМТФ. — Новосибирск, 2000. — Т. 41, № 2. — С. 64–69.
- 6 Донцов В.Е. Исследование отражения волн давления на границе многофазных сред // Акустика неоднородных сред. — Новосибирск, 1997. — Вып. 112. — С. 139–147.
- 7 Донцов В.Е. Отражения волн давления умеренной интенсивности от твердой стенки в жидкости с пузырьками легко-растворимого газа // ПМТФ. — Новосибирск, 1998. — Т. 39, № 5. — С. 19–24.
- 8 Kussaiynov K., Sakipova S.E. Research of hydrodynamic parameters of streams with application of fractal models // Mat. of 10-th international conference on the methods of aerophysical research. — Novosibirsk, 2000. — Pt. II. — P.120–124.
- 9 Жанабаев З.Ж. Структурная теория гидродинамической турбулентности. — Алматы, 1997. — С. 54.
- 10 Жанабаев З.Ж. Структурные модели турбулентных струй // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. — 1998. — Вып. 5, № 18. — С. 83–88.
- 11 Кусаиынов К., Сакипова С.Е. Динамика гетерогенного потока при электроимпульсном воздействии // Устойчивость течений гомогенных и гетерогенных жидкостей: Мат. VIII Междунар. конф. — Новосибирск, 2001. — С. 99–101.

Қ.Құсайынов, С.Е.Сақыпова, Н.Н.Шуюшбаева,
Б.А.Ахмадиев, Н.Н.Омаров, Ж.Т.Шілікбай

Электрогидравликалық бұрғылау кезіндегі импульстік қысымның таралу үдерісін зерттеу

Мақалада бұрғылау кезіндегі біртекті емес ортада пайда болатын импульстік қысымның таралуы қарастырылған. Қысымның даму деңгейінің сандық есептеулері гетерогендік ортадағы сызықты емес электрогидравликалық эффект үдерісінің термодинамикалық талдаулары негізінде көрсетілген. Зерттеу нәтижелері бойынша алынған салыстырмалы қысым және соққы толқындар көрсеткіштерінің уақытқа тәуелділігі байқалған.

K.Kussainov, S.E.Sakipova, N.N.Shuyushbayeva,
B.A.Ahmadiyev, N.N.Omarov, Zh.T.Shilikbay

Investigation of the process propagation of pulse pressure of electrohydraulic drilling

The article deals with propagation of pulse pressure, which is created by electrical discharges in an inhomogeneous fluid during well drilling. In this paper The numerical calculations of the dynamics of pressure, based on the thermodynamic analysis of the nonlinear process electrohydraulic effect in a heterogeneous environment. According to a study derived dependence the relative of pressure and the coordinates of the shock wave front on the time.

References

- 1 Malyshevsky P.P. *Fundamentals of discharge-pulse technology*, Kiev: Naukova Dumka, 1983, p. 272.
- 2 Bel'kov E.P., Bocharov Yu.N., Schneerson G.A., Yanchus E.I. *Impulse current generator*, Textbook, St. Petersburg: SPbGTU Publ., 1998, 99 p.
- 3 Vorobyov A.A. *Destruction of rocks electrical pulse discharges*, Tomsk: TSU Publ., 1961, 150 p.
- 4 Sakipova S.E. *Herald TGU*, 2009, 1(5), p. 74–81.
- 5 Pribaturin N.A., Stasenko D.P. *MFF*, Novosibirsk, 2000, 41, 2, p. 64–69.
- 6 Dontsov V.E. *The acoustics of inhomogeneous media*, Novosibirsk, 1997, 112, p. 139–147.
- 7 Dontsov V.E. *MFF*, Novosibirsk, 1998, 39, 5, p. 19–24.
- 8 Kussainov K., Sakipova S.E. *Mat. of 10th international conference on the methods of aerophysical research*, Novosibirsk, 2000, 2, p. 120–124.
- 9 Zhanabaev Z.Zh. *Structural theory of hydrodynamic turbulence*, Almaty, 1997, p. 54.
- 10 Zhanabaev Z.Zh. *Izv. SO USSR Academy of Sciences, Series of Technical Sciences*, 1998, 5, 18, p. 83–88.
- 11 Kussainov K., Sakipova S.E. *Stability of Homogeneous and Heterogeneous Flows: Mat. VIII Int. conf.*, Novosibirsk, 2001, p. 99–101.