

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЙ ВБЛИЗИ ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

THE FEATURES OF THE RESEARCH FOR PRESSURE FIELDS NEAR THE SOURCES OF IMPULSE SIGNALS

г.Белгород, Белгородская государственная технологическая академия строительных материалов
Belgorod, Belgorod State Technological Academy of Building Materials

The paper contains the results of an experimental study of determining the pressure fields near the impulse signals sources. Pressure impulses occur as a result of fuel gas mixture detonation in the semi-closed cylindrical chamber with a length greatly exceeding its diameter. The distinctive feature of this process is that the pressure field near the source is created by the air shock wave and high-speed flow of the detonation products. Besides, pressure impulses from air shock wave have discontinuities on their fronts and short durations. Detonation product impulses have several times larger durations, amplitudes, high temperatures, and their impulses decay over time much slower. Measurements of the impulse pressures of this type become a sophisticated technical problem, because the sensors and measuring devices have to comply with strict requirements concerning frequency characteristics.

Особенность современного производства – применение новых высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий. К ним относится газо-детонационное оборудование, предназначенное для обработки материалов и отличающееся мобильностью, простотой и низкой стоимостью.

Детальный анализ закономерностей процесса истечения продуктов детонации из ствола газо-детонационной установки представляет собой весьма сложную задачу, требующую проведения экспериментальных исследований. Анализ полученных экспериментальных результатов позволяет более обоснованно подходить к выбору оптимальных параметров работы газо-детонационного оборудования.

Основным элементом газо-детонационной установки является полузамкнутая цилиндрическая камера (ствол), в которую подается окислитель и горючий газ в циклическом режиме. Образовавшаяся горючая газовая смесь воспламеняется с помощью свечи поджига, размещенной на стволе установки. Воспламенение смеси переходит в горение, а затем в детонацию.

Особенностью исследуемого процесса является то, что поле давлений вблизи источника создается воздушной ударной волной, образовавшейся в результате выхода детонационной волны на границу раздела сред воздух – горючая газовая смесь, и высокоскоростным потоком продуктов детонации. При этом импульс давления от воздушной ударной волной имеет разрыв на фронте, малую длительность и быстро затухает, а давление от вытекающих из камеры продуктов детонации имеет колоколообразную форму, на несколько порядков большую длительность, большую амплитуду, высокую температуру и значительно медленное затухание во времени. При этом суммарная длительность такого импульса более 3 мс. Измерение импульсных давлений такого типа представляет собой сложную техническую задачу, поскольку к датчикам и измерительной аппаратуре предъявляются жесткие требования по частотным характеристикам.

При решении сложных задач, протекающих при детонации горючей газовой смеси, с помощью экспериментальных исследований широко используют регистрирующие элементы двух типов – оптические приборы и датчики давления, например, пьезокерамические [1]. Короткие по длительности импульсные воздействия вызывают колебания пьезокерамических датчиков на их собственной частоте, при этом колебания могут наблюдаться сравнительно долго после того, как внешнее возмущение исчезло. Так как элементы измерительной системы обладают ограниченной полосой пропускания по высокой частоте, то процесс нарастания, максимальная величина, длительность и характер спада измеряемого параметра отличаются от истинного. Поэтому при проведении экспериментов возникает необходимость сочетания различных методов исследований с целью взаимной проверки полученных данных.

Цель экспериментальных исследований заключалась в определении полей давлений вблизи импульсного источника с помощью пьезокерамического датчика и датчика КРУ-51 (фирмы Siemens) при различных режимах работы газо-детонационной установки (ГДУ) с одновременной видеосъемкой исследуемого процесса.

Условия проведения экспериментов следующие:

1. Скорострельность ГДУ составляла 3,3 выстрела/с.
2. Параметры окислителя P_k и горючего газа P_g были следующие:
 - для первого режима: $P_k=60$ кПа $P_g=15$ кПа;
 - для второго режима: $P_k=100$ кПа, $P_g=30$ кПа.
3. Дистанция между датчиком и стволом изменялась от 20 мм до 200 мм.

Особенностью используемого пьезокерамического датчика является то, что он работает в режиме вынужденных высокочастотных колебаний.

В результате экспериментальных исследований полей давлений вблизи импульсного источника было установлено следующее.

На осциллограммах исследуемых процессов для 2 режима работы ГДУ (рис.1) фиксируются 3 импульса давлений от воздушной ударной волны, волны давления, создаваемой продуктами детонации, и от заторможенного потока продуктов детонации. Анализ экспериментальных данных показывает, что для 1 режима работы ГДУ на типовых осциллограммах характерно наличие 2 импульсов от воздушной ударной волны и волны давления, создаваемой продуктами детонации (рис.2). Это было подтверждено видеосъемкой исследуемого процесса.

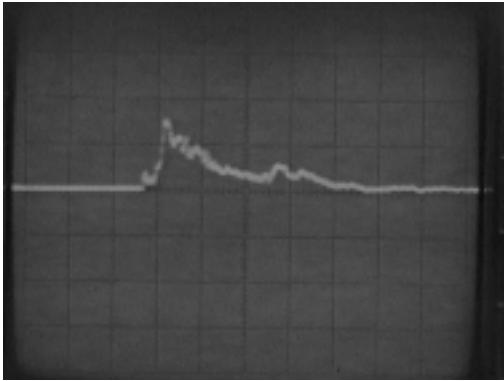


Fig. 1. (Рис. 1)

Oscillogram of the KPY-51 sensor. Distance equals to 160 mm. Mode 2

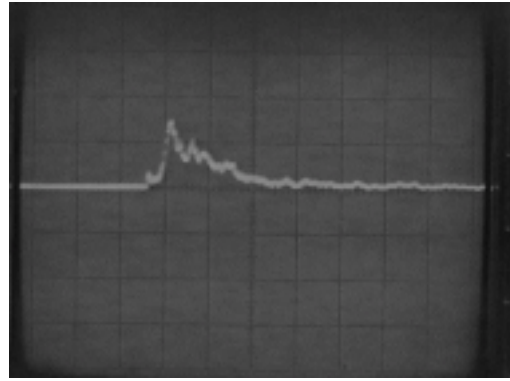


Fig. 2. (Рис. 2)

Oscillogram of the KPY-51 sensor. Distance equals to 160 mm. Mode 1

Следует отметить, что характер изменения амплитуды воздушной ударной волны, образованной головной частью детонационной волны, имеет существенно большее затухание, чем затухание амплитуды волны давления, созданной продуктами детонации. При этом энергия ударной волны в воздушной среде незначительна по сравнению с энергией от продуктов детонации.

Подход и уравнения динамики для определения основных параметров исследуемого процесса приведены в [2].

Система уравнений для исследуемой области $D(t)$ вблизи импульсного источника в цилиндрической системе координат в осесимметричной постановке с учетом ударной волны следующая (в операторной форме):

$$L_h \Psi^{(h)} \equiv \begin{cases} L_{rr} \Psi_{ij} + \frac{1}{r} \cdot L_r \Psi_{ij} + L_{zz} \Psi_{ij} = \frac{1}{a_0^2} \cdot L_n \Psi_{ij}, (r_i, z_j) \in D(t); \\ L_n \Psi_{ij} = 0, (r_i, z_j) \in Q_1, Q_2, Q_3; \\ L_t \Psi_{ij} = \frac{P_{m1}}{\rho_{20}} e^{-\frac{t}{\tau_1}}, (r_i, z_j) \in B(t). \end{cases}$$

Аналогичная система с учетом изменения давления в продуктах детонации имеет следующий вид:

$$L_h \Psi^{(h)} \equiv \begin{cases} L_{rr} \Psi_{ij} + \frac{1}{r} \cdot L_r \Psi_{ij} + L_{zz} \Psi_{ij} = \frac{1}{a_0^2} \cdot L_n \Psi_{ij}, (r_i, z_j) \in D(t); \\ L_n \Psi_{ij} = 0, (r_i, z_j) \in Q_1, Q_2, Q_3; \\ L_t \Psi_{ij} = \frac{P_{m2}}{\rho_{20}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) e^{-\frac{t}{\tau_3}}, (r_i, z_j) \in B(t). \end{cases}$$

Здесь $L_{rr}=\partial^2/\partial r^2$; $L_{zz}=\partial^2/\partial z^2$; $L_n=\partial/\partial n$; $L_r=\partial/\partial r$; $L_{tt}=\partial^2/\partial t^2$; $L_t=\partial/\partial t$; $V(t)$ -нестационарная граница импульсного источника; Q_3 - границы импульсного источника; Q_2 - обрабатываемая поверхность; Q_1 - граница исследуемой области; a_0 -скорость звука в воздухе; ρ_{20} -плотность воздуха; P_{mi} , τ_i - параметры импульсного источника; r , z - координаты; t - время.

В результате численных расчетов вблизи импульсного источника были определены поля скоростей и давлений, выполнена оценка объемной плотности потенциальной и кинетической энергий.

Сравнительный анализ результатов расчета и экспериментальных данных позволил установить следующее. По результатам расчетов распределения объемных плотностей потенциальной и кинетической энергий определена площадь обрабатываемой поверхности, которая пропорциональна площади проходного сечения ствола ГДУ, и соответствует данным экспериментов с погрешностью до 5%. С увеличением дистанции от ствола ГДУ до обрабатываемой поверхности с 40мм до 80мм амплитуда волны давления от продуктов детонации уменьшается в 1.5 раза, причем погрешность расчетных и экспериментальных данных с учетом используемого пьезокерамического датчика составляет около 5%, а с учетом датчика КРУ-51 - 16% (рис.3-рис.8). Формы импульсов давлений, полученных при расчете и в эксперименте на интервале $\Delta t=10^{-3}$ с качественно совпадают, причем они ближе к данным, полученным датчиком КРУ-51.

Погрешность при расчете давления на фронте ударной волны на дистанциях от 40мм до 80мм составляет по сравнению с данными экспериментов порядка 60%, однако следует отметить, что энергия ударной волны незначительна (см. рис. 1, рис. 2). Сравнительный анализ результатов расчета с экспериментальными исследованиями данной работы и других авторов [3] показывает, что они качественно совпадают по основным параметрам.

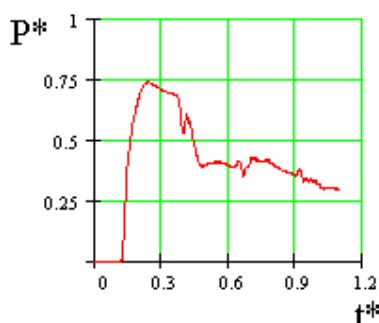


Fig. 3. (Рис. 3)
Calculated diagram of pressure,
distance equals to 40 mm.
 $P^*=P_i/P_{m2}$; $t^*=t_i/\tau$

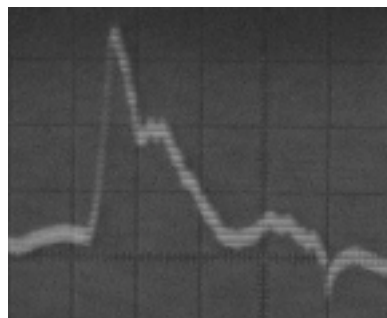


Fig. 4. (Рис. 4)
Oscillogram of the piezoelectric
sensor. Scaling: 1ms/point, 50
mV/point, distance equals to 40
mm

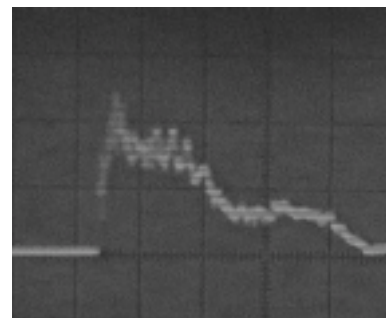


Fig. 5. (Рис. 5)
Oscillogram of the KPY-51
sensor. Scaling: 1ms/point, 2
V/point, distance equals to 40
mm.

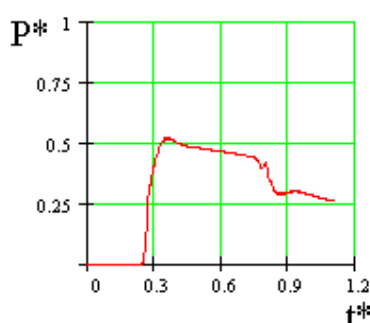


Fig. 6. (Рис. 6)
Calculated diagram of pressure,
distance equals to 80 mm.,
 $P^*=P_i/P_{m2}$; $t^*=t_i/\tau$

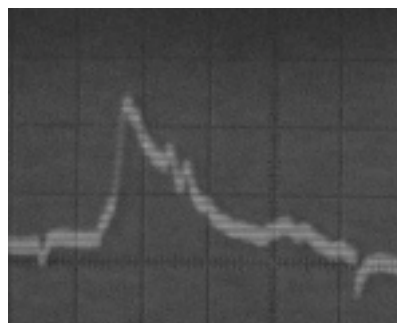


Fig. 7. (Рис. 7)
Oscillogram of the piezoelectric
sensor. Scaling: 1ms/point, 50
mV/point, distance equals to 80
mm.

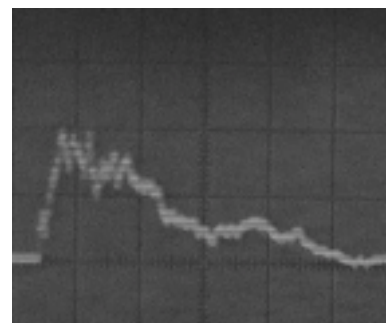


Fig. 8. (Рис. 8)
Oscillogram of the KPY-51
sensor. Scaling: 1ms/point, 2
V/point, distance equals to 80
mm.

В результате проведения экспериментальных исследований установлены возможности используемых датчиков и особенности их применения для определения полей давлений, возникающих при детонации горючей газовой смеси. Установлено, что минимально допустимая дистанция для датчиков давления составляет: 38 мм для пьезокерамического и 20 мм для КРУ-51. Она определяется температурным режимом датчиков при измерении давления, создаваемого высокотемпературным потоком продуктов детонации.

При сопоставлении результатов измерений пьезокерамическим датчиком и КРУ-51, можно сделать вывод, что амплитуды измеряемых давлений датчиками совпадают на дистанциях начиная с 120 мм и далее (2 режим работы ГДУ). При приближении датчиков к стволу установки градиент нарастания давления на пьезокерамическом датчике больше, чем на датчике КРУ-51 (см. рис.4, рис.5 и рис.7, рис.8), т.е. чувствительность его выше. Однако следует отметить, что он не фиксирует импульс от воздушной ударной волны в отличие от датчика КРУ-51.

Таким образом, эксперименты подтвердили необходимость проведения комплексных исследований с целью взаимной проверки полученных результатов при изучении закономерностей процесса истечения продуктов детонации из ствола ГДУ.

Список литературы

1. Бескаравайный Н.М., Поздеев В.А. Теоретические основы измерения импульсных давлений в жидких средах.- Киев: Наук. думка, 1981.-190с.
2. Потапенко А.Н., Штифанов А.И., Семернин А.Н. Моделирование волновых процессов при детонационно-газовой обработке фильтрующих сеток //Журнал "Известия ВУЗов. Строительство", №2, 1998, С.126-131.
3. Вовк В.Т., Сафонов А.Г. Экспериментальные исследования поля давлений при взрыве газового заряда в гидросреде //В кн. Импульсная обработка металлов давлением. Вып. 10. Харьков, 1982.- С. 105-108.