

# ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОЙНОЙ ВОЛНЫ СУЧКОВА, ОПИСЫВАЮЩЕЙ СЖАТИЕ ГАЗА

Понькин Е.И.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

[epnk@rambler.ru](mailto:epnk@rambler.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе для рассматриваемого точного решения – двойной волны Сучкова в согласованном случае – построен закон движения поршня в области ДВС в трех вариантах, различающихся углом наклона поршня к косо́й стенке. Во всех трех случаях исследовано поведение газодинамических параметров: скорости звука, скорости газа, давления и плотности газа – в том числе вдоль поверхности поршня, сжимающего газ в области ДВС. Установлено, что эффекты локальной сильной кумуляции частично или полностью проявляются соответственно при втором и третьем законах движения сжимающего поршня в области ДВС. Во всех трех случаях исследованы интегральные характеристики течения сжатия в ДВС. В том числе определено, какие массы газа сжаты до разных значений плотности и какие энергетические вклады в процесс сжатия дают разные участки сжимающих поршней.

*Ключевые слова:* центрированная волна, двойная волна Сучкова, закон движения поршня, газодинамические параметры

## GAS-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A DOUBLE WAVE SUCHKOV, DESCRIBED BY GAS COMPRESSION

Ponkin E.I.

*Snezhinsk Engineering and Technological Institute of National Research Nuclear University MEPHI, Chelyabinsk region*

**Abstract.** In this paper, for the considered exact solution of the system of equations of gas dynamics in the consistent case, the law of motion of the piston in the double wave region is constructed in three versions, which differ in the angle of inclination of the piston to the oblique wall. In all three cases, the behavior of the gas-dynamic parameters was investigated: the speed of sound, the speed of the gas, the pressure and the density of the gas along the surface of the piston compressing the gas in the region of the Suchkov double wave. It was found that the effects of local strong cumulation are partially or completely manifested, respectively, for the second and third laws of motion of the compressing piston in the region of the Suchkov double wave. In all three cases, the integral characteristics of the compression flow in a double Suchkov wave are investigated. In particular, it was determined which gas masses are compressed to different densities and which energy contributions to the compression process are given by different sections of the compression pistons.

*Keywords:* centered wave, double wave Suchkov, piston motion law, gas-dynamic parameters

В работах [1, 2] в пространстве физических переменных построено автомодельное решение системы уравнений газовой динамики (далее СУГД), описывающее при  $t > 0$  истечение политропного газа в вакуум с косо́й стенки. Для согласованного случая, когда выполняется соотношение  $\operatorname{tg}^2 \alpha = (\gamma + 1)/(3 - \gamma)$ , здесь  $\alpha$  - угол наклона косо́й стенки,  $\gamma$  - показатель политропы газа, в пространстве физических переменных построено точное решение СУГД, совпадающее с полученным ранее [3, 4] и описывающее при  $t > 0$  двумерное истечение газа в вакуум - двойная волна Сучкова (далее ДВС). Точное решение в согласованном случае, а также его обобщение для произвольной косо́й стенки, может быть

при  $t < 0$  интерпретировано на случай сжатия призматических объемов газа [5, 6]. При этом момент времени  $t = 0$  является начальным моментом движения газа в задачах о разлете газа в вакуум. В задачах о сжатии момент  $t = 0$  является конечным моментом движения газа – моментом коллапса, когда весь газ оказывается сжатым на двумерную поверхность и его плотность обращается в бесконечность.

В работах [1, 2] было показано, что в однозначно определенном течении можно разными способами задать контактную характеристику, которая для течения может интерпретироваться, как поверхность непроницаемого поршня, сжимающего ДВС. В данной работе построен закон движения поршня в области ДВС в трех вариантах: поршень перпендикулярен косою стенке; поршень в области ДВС является аналитическим продолжением поршня, сжимающего центрированную волну (далее ЦВ); поршень в области ДВС наклонен к косою стенке под острым углом. Для рассматриваемых случаев исследованы свойства газодинамических параметров: скорости звука, компонент вектора скорости частиц газа, давления газа, в том числе вдоль поверхности поршня в области ДВС.

Исходная конфигурация объема газа в задаче о сжатии – клиновидная полость, ограниченная прямыми  $x = x_0$ ,  $x = 0$ ,  $y = y_*$  и  $y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . В начальный момент времени  $t = t_0$  стенку  $x = x_0$  начинают плавно вдвигать в газ. Образуются две области течения газа (ЦВ и ДВС) и область покоя. Вертикальная стенка  $x = x_0$  становится составным поршнем, движение каждой из частей которого описывается отдельным законом.

Движение поверхности поршня в области ЦВ описывается законом

$$x_p(t) = \left( x_0 + \frac{t_0}{\varkappa} \right) \left( \frac{t}{t_0} \right)^{\frac{1}{\varkappa+1}} - \frac{t}{\varkappa} \quad (1)$$

При этом данная поверхность является одновременно поверхностью постоянного давления и постоянной скорости частиц газа в направлении  $Ox$  в отличие от области ДВС, где указанные свойства выполняются на разных поверхностях.

Поверхность в области ДВС, перпендикулярная косою стенке, является поверхностью постоянного давления, совпадающего с давлением на поршне в области ЦВ, но не является поверхностью постоянной скорости. При смещении точек данной поверхности влево к поверхности, на которой выполняется постоянство горизонтальной компоненты скорости частиц газа в области ДВС, наблюдается увеличение давления вдоль поршня, т.е. наблюдается эффект локальной сильной кумуляции в области ДВС.

Анализ интегральных характеристик течения сжатия в ДВС во всех трех случаях показал, что наблюдается перераспределение газа как внутри области ДВС (максимум плотности достигается в основании угла между поршнем и косою стенкой), так из области ЦВ в область ДВС.

Можно построить непроницаемую поверхность поршня в области ДВС, каждая точка которого движется со скоростью частицы газа в ДВС. Координаты точек данной поверхности задаются уравнениями

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{1+\beta} \left[ \left( x_0 + \sqrt{\beta} y_0 + \frac{t_0}{\varkappa} \right) \left( \frac{t}{t_0} \right)^{\frac{1-\kappa}{1+\kappa}} - \left( 1 + \sqrt{\beta} \varkappa \left( \frac{y_0}{t_0} - \sqrt{\beta} \frac{x_0}{t_0} \right) \right) \frac{t}{\kappa} \right], \\ y(t) &= \frac{1}{1+\beta} \left[ \left( x_0 + \sqrt{\beta} y_0 + \frac{t_0}{\varkappa} \right) \sqrt{\beta} \left( \frac{t}{t_0} \right)^{\frac{1-\kappa}{1+\kappa}} + \left( \varkappa \left( \frac{y_0}{t_0} - \sqrt{\beta} \frac{x_0}{t_0} \right) - \sqrt{\beta} \right) \frac{t}{\kappa} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

На рисунке 1 приведено распределение давления газа для произвольного момента времени  $t_0 < \tilde{t} < t_*$ , сжимаемого поршнем, координаты поверхности которого в области ЦВ изменяются по закону (1), а в области ДВС по закону (2). Поверхность поршня, сжимающего газ в клиновидной полости движется со скоростью частиц газа в области ДВС.

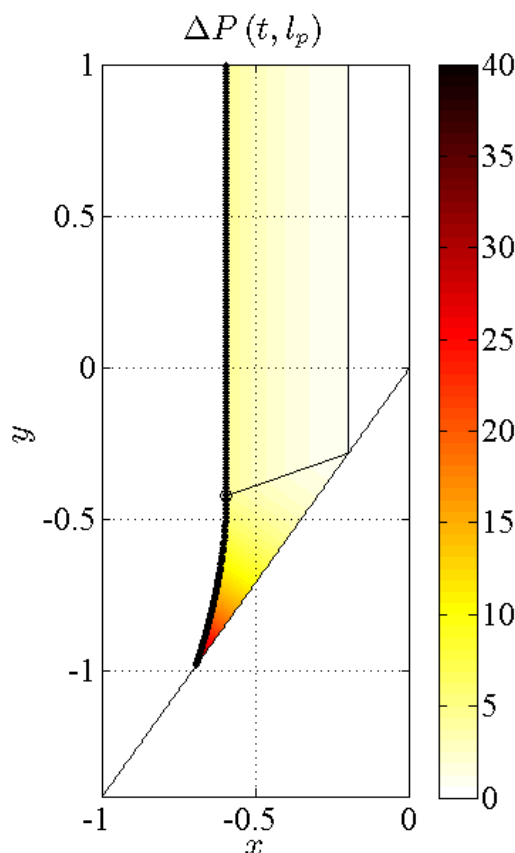


Рис. 1. Распределение давления газа для момента времени  $t_0 < \tilde{t} < t_*$

*Использованные источники:*

1. Баутин С. П., Понькин Е. И. Автомодельные решения для задачи истечения политропного газа с косої стенки в вакуум. Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2019. Сборник научных трудов всероссийской конференции. СФТИ НИЯУ МИФИ 18-20 декабря 2019.
2. Баутин С. П., Понькин Е. И. Автомодельные решения задачи об истечении политропного газа в вакуум с косої стенки. Лаврентьевские чтения по математике механике и физике. Тезисы докладов. Новосибирск, 2020.
3. Сучков В. А. Истечение газа в вакуум на косої стенке. //ПММ. 1963. Т. 27. № 4. С. 739–740.
4. Баутин С. П., Дерябин С. Л. Математическое моделирование истечения идеального газа в вакуум. Новосибирск: Наука, 2005, 390 с.
5. Сидоров А. А. Некоторые оценки степени кумуляции энергии при плоском и пространственном сжатии газа. //Докл. АН, 1991, Т. 318, № 3. С. 548–552.
6. Баутин С. П. Математическое моделирование сильного сжатия газа. Новосибирск: Наука, 2007, 312 с.