

SIMULATION OF COMPRESSIBLE
AND INCOMPRESSIBLE FLOWS
BY MESHLESS METHODS
OF SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS

**S. M. Frolov¹, V. S. Ivanov¹, Vas. S. Ivanov¹,
R. R. Tukhvatullina¹, and B. Basara²**

¹N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics
of the Russian Academy of Sciences
4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russia
e-mail: smfrol@chph.ras.ru

²AVL LIST GmbH, Graz, Austria

At present, when solving problems of hydrodynamics of viscous incompressible and compressible flows in conditions of complex geometry with moving elements, preference is often given to meshless numerical algorithms based on the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) [1]. We have developed our own parallel SPH algorithm that uses graphic processors to solve various problems with very narrow slits, rotating and contacting disks, free surfaces, etc., which are difficult to attack by conventional mesh-based (e. g., finite volume (FV)) methods. To check the algorithm, we solved the problems: (*i*) on the steady-state temperature distribution inside the cylinder head of a piston engine; (*ii*) on the torque of a gear box with rotating gearwheels partially immersed in engine oil; and (*iii*) on the steady-state gas velocity field during purging of the piston engine cylinder with air.

In the first example, we considered a three-dimensional (3D) model of a cylinder head with a cooling jacket (Fig. 1). One of the walls was maintained at a temperature of 393 K and the other at a temperature of 313 K. The results of calculations agree well with the FV simulations by the AVL FIRE code. In the second exam-

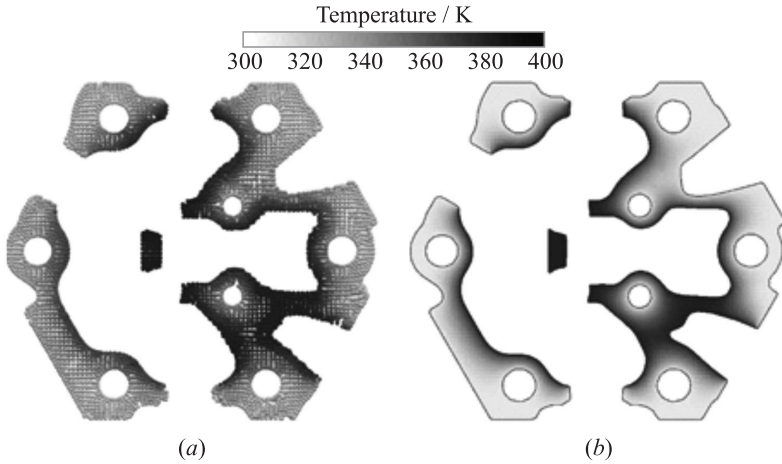


Figure 1 Comparison of the steady-state temperature fields inside the cylinder head of a piston engine predicted by the SPH (a) and FV (b) methods

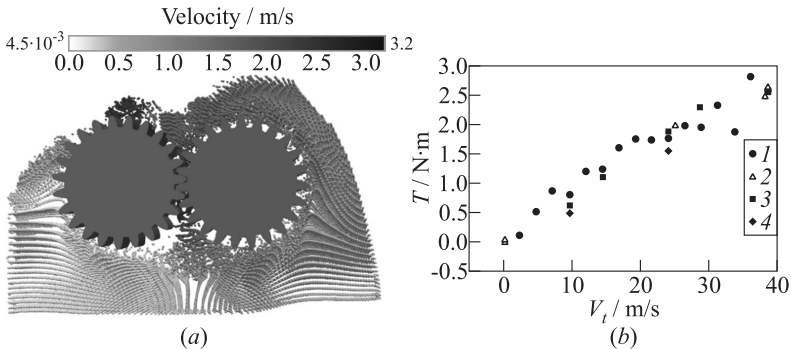


Figure 2 The oil velocity field in a gear box predicted by the SPH method (a) and comparison of the measured torque with the predictions provided by the SPH and FV method (b): 1 — experiment; 2 — SPH; 3 — SPH (other authors); and 4 — FV

ple, we considered a 3D gear box with two coupled counterrotating gearwheels partially immersed in incompressible engine oil (Fig. 2). The calculations were performed for various operation modes of the gear transmission with the linear rotation speed attaining 38 m/s. The results of calculations for the gear torque agree well with the available experiments as well as FV and SPH calculations of other authors [2]. In the third example, we considered a 3D engine cylinder purged with air through the very narrow gaps produced by two intake valves (Fig. 3). The inlet boundary conditions were set at the inlets of each of two intake pipes in the form of a constant gas flow rate (0.07 kg/s). At the cylinder outlet (cylinder bottom), the constant pressure (1 atm) condition was set. The results of calculations agree well with the FV simulations by the AVL FIRE code.

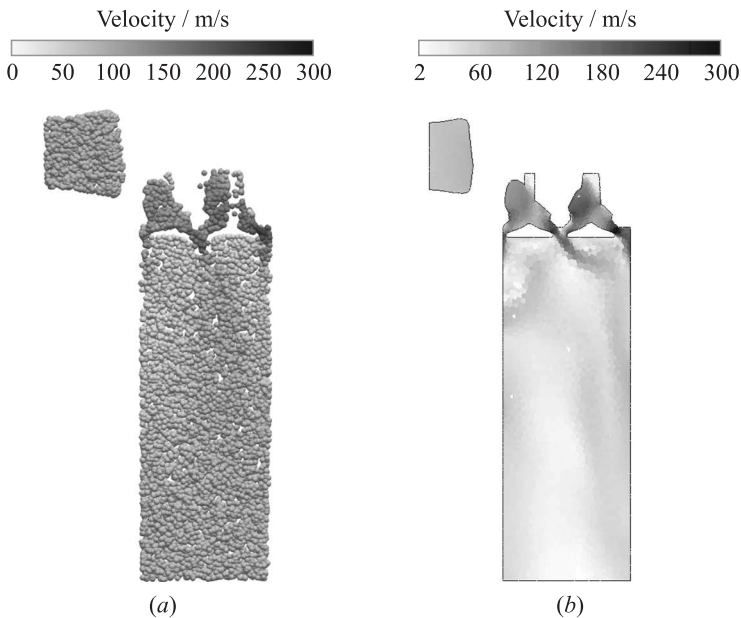


Figure 3 Comparison of the steady-state velocity fields in the piston engine cylinder during purging with air predicted by SPH (a) and FV (b) methods

Acknowledgments

This work was supported by the subsidy given to the N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences to implement the state assignment on the topic No. 0082-2016-0011 (Registration No. AAAA-A17-117040610346-5) and to the Scientific Research Institute for System Analysis to implement the state assignment on the topic No. 0065-2019-0005 (Registration No. AAAA-A19-119011590092-6).

References

1. Gingold, R. A., and J. J. Monaghan. 1977. Smoothed particle hydrodynamics: Theory and application to nonspherical stars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 181:375.
2. Concli, F., and C. Gorla. 2016. Numerical modeling of the power losses in geared transmissions: Windage, churning and cavitation simulations with a new integrated approach that drastically reduces the computational effort. *Tribol. Int.* 103:58–68.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСЖИМАЕМЫХ И СЖИМАЕМЫХ ТЕЧЕНИЙ БЕССЕТОЧНЫМ МЕТОДОМ ГИДРОДИНАМИКИ СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

С. М. Фролов¹, В. С. Иванов¹, Вас. С. Иванов¹,
Р. Р. Тухватуллина¹, Б. Басара²

¹Федеральный исследовательский центр химической физики
им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук
Россия, Москва 119991, ул. Косыгина, д. 4
e-mail: smfrol@chph.ras.ru

²АВЛ Лист ГмбХ
Грац, Австрия

В настоящее время при решении задач гидродинамики вязких несжимаемых и сжимаемых течений в условиях сложной гео-

метрии с подвижными элементами предпочтение часто отдают бессеточным численным алгоритмам, основанным на методе сглаженных частиц (МСЧ) [1]. Нами разработан собственный параллельный алгоритм МСЧ, использующий графические процессоры для решения задач гидро- и газодинамики с элементами, затрудняющими применение обычных сеточных методов типа метода контрольных объемов (КО): с очень узкими щелями, вращающимися и контактирующими дисками, свободными поверхностями и т. д. Для проверки численного алгоритма нами решены задачи: (1) об установившемся распределении температуры в головке цилиндра поршневого двигателя; (2) о крутящем моменте коробки передач с шестернями, частично погруженными в моторное масло; (3) об установившемся поле скорости газа при продувке цилиндра двигателя воздухом.

В первом примере рассмотрена трехмерная модель головки цилиндра с охлаждающей рубашкой. Одна из стенок поддерживалась при температуре 393 К, а другая — при температуре 313 К. Результаты расчета хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью программы AVL FIRE, использующей метод КО. Во втором примере рассмотрена трехмерная модель коробки передач с двумя сцепленными шестернями, вращающимися в противоположных направлениях, частично погруженными в моторное масло. Расчеты проведены для различных режимов работы коробки передач с линейной скоростью вращения до 38 м/с. Полученные расчетные значения крутящего момента хорошо согласуются с известными экспериментальными данными и расчетами на основе метода МСЧ и КО [2]. В третьем примере рассмотрена трехмерная модель цилиндра поршневого двигателя, продуваемого воздухом через очень узкие зазоры приоткрытых впускных клапанов. Входные граничные условия задавались на входе в каждый патрубок в виде постоянного расхода газа (0,07 кг/с). На дне цилиндра устанавливалось выходное граничное условие постоянного давления (1 атм). Результаты расчета хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью программы AVL FIRE.

Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 0082-2016-

0011 (номер государственной регистрации АААА-17-117040610346-5), и субсидии, выделенной ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме 0065-2019-0005 (номер государственной регистрации АААА-А19-119011590092-6).

Литература

1. *Gingold R. A., Monaghan J. J.* Smoothed particle hydrodynamics: Theory and application to nonspherical stars // *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 1977. No. 181. P. 375
2. *Concli F., Gorla C.* Numerical modeling of the power losses in geared transmissions: Windage, churning and cavitation simulations with a new integrated approach that drastically reduces the computational effort // *Tribol. Int.*, 2016. Vol. 103. P. 58–68.