

УДК 536.7

**Разработка лабораторного программного комплекса по определению параметров истечения идеального и реального газов при дросселировании.**

**Жуков А.Д. (ИТМО), Войтенко Г.В. (ИТМО)**

**Научный руководитель - доцент, Митропов В.В. (ИТМО)**

**Введение.** Процесс дросселирования представляет собой адиабатное истечение газа через сужающее устройство, сопровождающееся преобразованием потенциальной энергии потока в кинетическую [4]. Данные процессы лежат в основе работы сопел, турбин, холодильных и криогенных установок, а также газотранспортных систем [5]. В рамках учебных дисциплин лабораторные работы по истечению газа, как правило, ограничиваются аналитическим выводом формул для идеального газа. При этом: не проводится анализ критического режима истечения, не исследуется переход через скорость звука, не рассматриваются отклонения реального газа от идеальной модели, отсутствует возможность варьирования параметров в широком диапазоне.

Физическая лабораторная установка требует специализированного оборудования и не позволяет гибко изменять параметры эксперимента [3]. Создание виртуальной лабораторной работы устраняет данные ограничения и позволяет проводить расширенный параметрический анализ.

Целью работы является разработка лабораторного программного комплекса, обеспечивающего численное моделирование процесса дросселирования идеального и реального газов с возможностью анализа критических режимов и сравнительного исследования моделей [2, 5].

**Физическая постановка задачи.** В основе программного комплекса лежит модель стационарного одномерного адиабатного течения газа через сопло. Используются:

- Уравнение сохранения массы;
- Уравнение энергии для потока;
- Уравнение состояния.

Для идеального газа применяется классическое уравнение состояния. Для реального газа реализуется модифицированное уравнение состояния, позволяющее учитывать отклонения от идеального поведения при повышенных давлениях [1, 2].

В рамках комплекса реализованы расчеты:

- Скорости истечения;
- Массового расхода;
- Критического отношения давлений;
- Анализ дозвукового, критического и сверхзвукового режимов течения.

**Программная реализация.** С точки зрения программирования система построена по модульному принципу и включает:

- Вычислительный модуль, реализующий численные алгоритмы расчета;
- Модуль выбора физической модели (идеальный/реальный газ);
- Модуль визуализации, обеспечивающий построение графиков зависимостей параметров от граничных условий;
- Пользовательский интерфейс для проведения виртуальной лабораторной работы.

Разделение вычислительной логики и интерфейсной части обеспечивает масштабируемость и возможность дальнейшего расширения программного комплекса.

**Результаты.** Разработан концепт лабораторного программного комплекса для численного моделирования процесса дросселирования идеального и реального газов. Реализована возможность сравнительного анализа параметров истечения в широком

диапазоне условий. Комплекс может использоваться в образовательных целях и при проведении предварительных теплофизических исследований.

**Список использованных источников:**

1. Sirignano W.A. Compressible Flow at High Pressure with Linear Equation of State [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1710.06018> (дата обращения: 27.02.2026)
2. Maytal B.Z. Real Gas Choked Flow Conditions at Low Reduced Pressures [Электронный ресурс]. – 2006. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011227505001104> (дата обращения: 27.02.2026)
3. Истечение реального газа из сопла [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istechenie-realnogo-gaza-iz-sopla> (дата обращения: 27.02.2026)
4. Техническая термодинамика: истечение идеального и реального газов [Электронный ресурс]. – URL: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/21310/Tekhnicheskaya\\_termodinamika.pdf](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/21310/Tekhnicheskaya_termodinamika.pdf) (дата обращения: 27.02.2026)
5. Shapiro A.H. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow [Электронный ресурс]. – URL: <https://archive.org/details/dynamicsthermody0000shap> (дата обращения: 27.02.2026)