

2. Balcerowicz-Szkutnik M., Szkutnik W. Consumption model and modern problems of globalization. Information and Innovations. 2020; 15(4): 37–42.
3. Bywalec C., Rudnicki L., Konsumpcja, PWE, Warszawa, 2002.
4. Drabik I., Tendencje zmian zachowań konsumentów na rynku globalnym, Polytechnic National University Institutional Repository, Lviv, 2011.
5. Bauman Z., Globalizacja, PIW, Warszawa, 2000.
6. Сергиевич, Т.В. Развитие электронной торговли в Республике Беларусь в условиях становления цифровой экономики / Т.В. Сергиевич // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов [Электронный ресурс] : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Научной школы в области исследования модернизации экономики, 22 ноября 2018 г. / редкол.: С.Ю. Солодовников (председатель) [и др.]. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2018.
7. Янович, П.А. Домашнее хозяйство в контексте глобализации: перспективы использования опыта Польши для Беларуси / П.А. Янович // Экономическая наука сегодня. – 2018. – № 7. – С. 43–48.

УДК [621.51+621.63+621.65](076.5)

**ФОРМУЛЫ ПОДОБИЯ В ПРАКТИКЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ  
SIMILARITY FORMULAS IN THE PRACTICE OF USING CENTRIFUGAL  
SUPERCHARGERS**

Кашей Н., магистрант

Белорусского национального технического университета, г. Минск,  
6560636@gmail.com

Kashchey Nadezhda, Master's student of the Belarusian National Technical University,  
Minsk, 6560636@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос правомочности применения формул подобия, полученных на основании теории Эйлера, при испытании, а также в практике применения центробежных (радиальных) нагнетателей. Цель исследования – на основании экспериментальных данных подтвердить или доказать неправомочность их применения. В результате будут разработаны рекомендации, определяющие возможность применения формул подобия при пересчете характеристик нагнетателей.

**Ключевые слова:** идеальная жидкость, гидродинамика, нагнетатели, центробежная сила, рабочее колесо, формулы подобия.

**Abstract.** The article deals with the question of the validity of the use of similarity formulas obtained on the basis of Euler theory, during testing, as well as in the practice of using centrifugal (radial) superchargers. The purpose of the study is to confirm or prove the illegality of their use on the basis of experimental data. As a result, recommendations will be developed that determine the possibility of using similarity formulas when recalculating the characteristics of **superchargers**.

**Key words:** ideal fluid, hydrodynamics, superchargers, centrifugal force, impeller, similarity formulas.

**Введение.** Леонард Эйлер – швейцарский, российский и немецкий ученый, внесший огромный вклад в развитие математики, физики, оптики, механики, астрономии и ряда прикладных наук.

Достижения в математике Л. Эйлера получили признание еще при жизни ученого. Он возглавлял кафедры Берлинской и Петербургской академий, Эйлер был членом Лондонского королевского общества и Парижской академии наук. Отличительной чертой ученого была его продуктивность. При жизни свет увидело множество его статей и книг. Ученый совершил много открытий в разных областях науки.

Идея создания теоретической гидродинамики, как специальной науки с широкими задачами и строгими методами их разрешения, принадлежит Российской Академии наук в лице ее двух академиков – Леонарда Эйлера и Даниила Бернулли.

**Основная часть.** Идеальная жидкость – жидкость, в которой отсутствует вязкость. В идеальной жидкости отсутствует внутреннее трение, то есть нет касательных напряжений между двумя движущимися с различающимися скоростями соседними потоками жидкости.

Идеальной жидкости, лишенной свойства вязкости, в природе не существует. Однако при обтекании некоторых тел маловязкой жидкостью (такой, как вода, воздух) торможение из-за вязкого трения охватывает лишь тонкий пристенный (пограничный) слой. За пределами этого слоя вязкость оказывает пренебрежимо малое влияние на распределение скоростей и давлений. Поэтому для изучения внешнего потока возможно использовать методы динамики идеальной жидкости, что существенно упрощает задачу по сравнению с динамикой вязкой жидкости.

В 1754 Л. Эйлером была получена зависимость для течения идеальной жидкости в колесе центробежного (радиального) нагнетателя. Искомая величина (давление, развиваемое рабочим колесом) в этом случае определяется как теоретическая [1, 2, 4, 6].

Полное теоретическое давление формируется за счет приращения статического и динамического давлений,  $P_T = P_{ст} + P_d$ , а каждое слагаемое в этой зависимости, в свою очередь, определяется изменением плана скоростей частиц перемещаемой жидкости на участке от входа до выхода из рабочего колеса.  $P_{ст} = P_{ст,u} + P_{ст,w}$   $P_d = P_{d,u} + P_{d,\omega}$ . Здесь  $c$ ,  $u$ ,  $w$  – соответственно абсолютная, переносная и относительная скорости из плана скоростей в колесе центробежного нагнетателя.

$$P_T = \rho(u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}). \quad (1)$$

Данное выражение в теории центробежных нагнетателей называется уравнением Эйлера. Условие  $u_1 c_{1u} = 0$  соответствует безударному входу жидкости в проточные части рабочего колеса. В этом случае уравнение (1) принимает вид  $P_T = \rho(u_2 c_{2u})$ . На основании этой зависимости и получены формулы подобия, численно определяющие изменение развиваемого теоретического давления (напора) и производительности нагнетателя при изменении числа оборотов или диаметра рабочего колеса. Отмечаю, что формулы получены для идеализированных условий.

При выводе данного уравнения были использованы следующие допущения: 1) поток состоит из множества элементарных струй, повторяющих геометрическую форму лопаток рабочего колеса; 2) имеет место осевая симметрия потока, т. е. все струи, составляющие поток, одинаковы геометрически и кинематически; 3) поток является плоским, т. е. градиент скорости вдоль оси, параллельной геометрической оси нагнетателя отсутствует.

Первые два предположения можно полагать осуществимыми только при бесконечно большом количестве рабочих лопаток при условии, что лопасти не имеют толщины и, следовательно, не уменьшают проходное сечение межлопаточных каналов. Т. е. формула справедлива при бесконечном количестве тонких лопаток для идеальной жидкости.

Уравнение (1) показывает, что полное теоретическое давление, развиваемое рабочим колесом радиального нагнетателя, линейно зависит от плотности  $\rho$  перемещаемой среды, угловой скорости ( $\omega$ ) вращения рабочего колеса, величины и соотношения

радиусов всасывающего  $R_1$  ( $u_1 = \omega R_1$ ) и нагнетающего  $R_2$  отверстий межлопаточного канала, а также от его профиля. Чем больше соотношение  $R_2 / R_1$ , тем больше развиваемое давление.

Согласно уравнению Эйлера на  $P_T$  оказывает влияние производительность рабочего колеса и форма лопатки на входе в канал и на выходе из него.

Действительное давление, развиваемое колесом, меньше теоретического вследствие потерь энергии на гидравлическое сопротивление в проточной части нагнетателя и несоблюдения в реальных машинах, принятых при выводе формулы Эйлера допущений.

В итоге уравнение Эйлера не отображает реальную картину движения жидкости в рабочем колесе, но в то же время оно удобно для анализа влияния факторов на развиваемое давление.

Формулы подобия широко используются при пересчете характеристик нагнетателей, особенно на стадии их экспериментального исследования [3, 5, 7, 8]. Отмечаю, что применительно к насосам установленные на основании формул подобия параметры «обточки» рабочего колеса корректируются на основании результатов экспериментальных исследований [4]. Нам неизвестны результаты исследования правомочности применения формул подобия в практике применения вентиляторов.

**Заключение.** Автором статьи поставлена задача экспериментально проверить правомочность применения формул подобия в практике применения и испытания вентиляторов. Особенно на режимах, отличающихся от режима безударного входа. Для этого изготавливается экспериментальная установка, которая позволит получить опытные данные и провести соответствующие оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дячек, П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры / П.И. Дячек. – М.: АСВ, 2013.
2. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1990.
3. Центробежные вентиляторы / под. ред. Т.С. Соломаховой. – М.: машиностроение, 1975.
4. Карасев, Б.В. Насосы и насосные станции / Б.В. Карасев. – Минск : Вышэйшая школа, 1979.
5. Соломахова, Т.С. Центробежные вентиляторы. Справочник / Т.С. Соломахова, К.В. Чебышева. – М.: Машиностроение, 1980.
6. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергия, 1984.
7. Насосы динамические. Методы испытаний: ГОСТ 6134.
8. Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний: ГОСТ 10921.