



УДК 66.048.3.069.835

## МЕТОД РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ



## METHOD FOR CALCULATING HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF VALVE PLATES WITH A FULL VALVE VALVE

**Константинов Егор Константинович**

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
george.coin2@gmail.com

**Чуракова Светлана Константиновна**

доктор технических наук, профессор,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
churakovack@rambler.ru

**Лесной Денис Вячеславович**

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
denislesnoy1992@gmail.com

**Муллабаев Камиль Азаматович**

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
kamil200995@gmail.com

**Маннанов Тимур Ильнурович**

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
t.i.mannanov@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены основные параметры работы клапанной тарелки с точки зрения формирования ее сухого гидравлического сопротивления. Предложен метод расчета перепада давления сложных гидродинамических систем на примере клапанной тарелки.

**Ключевые слова:** гидравлическое сопротивление, гидродинамика, клапанные тарелки, методика расчета, ректификация.

**Konstantinov Egor Konstantinovich**

Post-graduate of Department of  
Petrochemistry and Chemical Technology,  
Ufa State Petroleum Technological University  
george.coin2@gmail.com

**Churakova Svetlana Konstantinovna**

Doctor of technical Sciences, Professor,  
Ufa State Petroleum Technological University  
churakovack@rambler.ru

**Lesnoy Denis Vyacheslavovich**

Post-graduate of Department of  
Petrochemistry and Chemical Technology,  
Ufa State Petroleum Technological University  
denislesnoy1992@gmail.com

**Mullabaev Kamil Azamatovich**

Post-graduate of Department of  
Petrochemistry and Chemical Technology,  
Ufa State Petroleum Technological University  
kamil200995@gmail.com

**Mannanov Timur Ilnurovich**

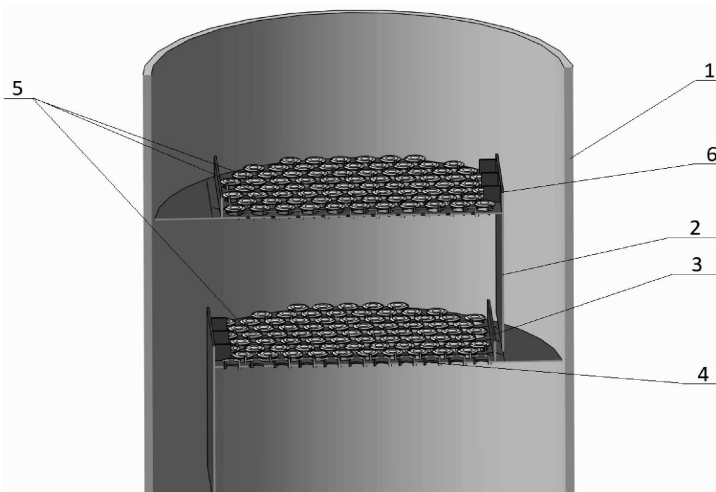
Post-graduate of Department of  
Petrochemistry and Chemical Technology,  
Ufa State Petroleum Technological University  
t.i.mannanov@yandex.ru

**Annotation.** The main parameters of the valve plate from the point of view of the formation of its dry hydraulic resistance are considered. A method for calculating the pressure drop of complex hydrodynamic systems using the example of a valve disc is developed.

**Keywords:** calculation procedure, hydraulic resistance, hydrodynamics, valve plates, rectification.

Гидравлическое сопротивление тарелок является одним из ключевых показателей работы не только каждой отдельной тарелки, но и всего аппарата в целом. Перепад давления по колонне, помимо непосредственного влияния на тепломассообмен в колонне, определяет нагрузку на перекачивающее оборудование, на теплообменное оборудование, на корпус колонны, предохранительные клапаны, факельные системы и прочее, особенно проблема перепада давления становится актуальной для колонн, работающих под вакуумом [1]. Поэтому при подборе внутренних контактных устройств крайне актуален расчет их гидравлического сопротивления.

Клапанные тарелки на сегодняшний день занимают значительную долю внутренних контактных устройств фракционирующего колонного оборудования. Они обладают широким диапазоном устойчивой работы [2], что позволяет получать стабильную высокую эффективность работы при различной загрузке колонны.



**Рисунок 1** – Общий вид клапанной тарелки: 1 – корпус колонны; 2 – клапана; 3 – сливная планка; 4 – корпус переливного кармана; 5 – переливная планка

Принцип работы клапанной тарелки заключается в том, что жидкость истекает из переливного кармана, ограниченного корпусом колонны 1 и корпусом переливного кармана 2, переливается через переливную планку 3 и поступает на полотно клапанной тарелки 4. Жидкость,двигающаяся по полотну тарелки, вступает в контакт с паром или газом, который поступает на тарелку через клапаны 5, установленные в полотне тарелки, после чего сливается с тарелки через сливную планку 6 в переливной карман, после чего цикл повторяется на каждой следующей тарелке. Широкий диапазон устойчивой работы тарелки достигается за счет того, что при снижении паровой нагрузки тарелки часть клапанов закрывается, препятствуя провалу жидкости на нижележащую тарелку, при этом, за счет регулирования свободного сечения клапанов, сохраняется минимально допустимая скорость пара в свободном сечении клапанов.

Движение жидкости, пара или газа через тарелки определяется законами гидродинамики, движущей силой является разность давлений. Поступление жидкости на полотно тарелки определяется перепадом жидкости на тарелке и гидравлическим сопротивлением гидрозатвора, образованного переливной планкой и корпусом переливного кармана. Поступление газа на полотно тарелки определяется сопротивлением клапанов тарелки и сопротивлением пены на полотне тарелки. Сопротивление клапанов тарелки в свою очередь складывается из сопротивления открытых клапанов и технологических зазоров закрытых клапанов [3]. Расчет гидравлического сопротивления сухой тарелки, как и любого объекта, обладающим гидравлическим сопротивлением в турбулентном потоке жидкости, рассчитывается по формуле Вейсбаха [4].

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho, \tag{1}$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $\omega$  – скорость газа/жидкости, м/с;  
 $\rho$  – плотность газа/жидкости, кг/м<sup>3</sup>

Скорость газа определяется геометрией контактного устройства и расходом газа, коэффициент гидравлического сопротивления определяется конструктивными особенностями клапанов. Таким образом, исследуя зависимость перепада давления от расхода газа через неё, возможно получить коэффициент гидравлического сопротивления для конкретной конструкции клапанной тарелки.

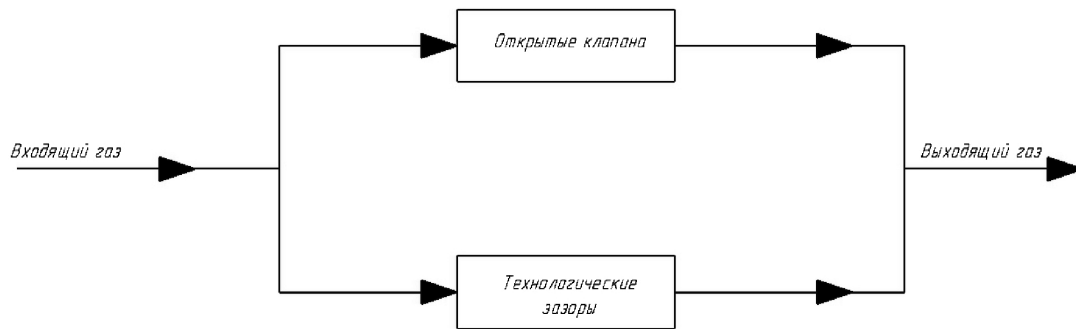
Суть методики расчета перепада давления гидравлической системы, состоящей из нескольких элементов, обладающих различными гидравлическими сопротивлениями, заключается в формировании схемы движения гидравлической жидкости, по аналогии с электротехническими схемами постоянного тока. В роли электрического тока выступает течение гидравлической жидкости, в роли резисторов выступают местные гидравлические сопротивления.

Для сухой клапанной тарелки справедливо параллельное соединение гидравлических сопротивлений открытых клапанов и технологических зазоров закрытых клапанов.

На рисунке 2 представлена схема прохождения пара через сухую клапанную тарелку.

Входящий газ проходит открытые клапана и технологические зазоры. Так как пути прохождения являются параллельными, то перепад давления на обоих участках одинаковый и равняется общему перепаду давления на тарелке. Для тарелки с номером N и N-1, при счете тарелок снизу-вверх будет справедливо следующее выражение:

$$\Delta P = P_N - P_{N-1} = \Delta P_{\text{отк}} = \Delta P_{\text{заз}}. \tag{2}$$



**Рисунок 2** – Схема прохождения пара через клапанную тарелку

Перепад давления на участке открытых клапанов составит:

$$\Delta P_{\text{отк}} = \xi_{\text{к}} \cdot \frac{\rho \omega_{\text{отк}}^2}{2}, \tag{3}$$

где  $\xi_{\text{к}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления открытых клапанов;  $\omega_{\text{отк}}$  – скорость газа в открытых клапанах, м/с;  $\rho$  – плотность газа кг/м<sup>3</sup>.

Аналогично падение давления на участке технологических зазоров составит:

$$\Delta P_{\text{заз}} = \xi_{\text{ш}} \cdot \frac{\rho \omega_{\text{заз}}^2}{2}, \tag{4}$$

где  $\xi_{\text{ш}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления технологических зазоров;  $\omega_{\text{заз}}$  – скорость газа в технологических зазорах, м/с.

Следовательно, приравнивая эти перепады получаем выражение соотношения скоростей газа в открытых клапанах и технологических зазорах:

$$\omega_{\text{заз}} = \omega_{\text{отк}} \cdot \sqrt{\frac{\xi_{\text{к}}}{\xi_{\text{ш}}}}, \tag{5}$$

Для определения коэффициентов гидравлического сопротивления клапанной тарелки была проведена серия экспериментов на испытательном стенде [5] для исследования «сухого» перепада давления гидрозатворы тарелок были предварительно заглушены. Методика эксперимента заключалась в пропуске воздуха через стенд, на котором укреплены клапанные тарелки и измерении перепада давления на тарелках при помощи дифференциальных манометров.

Определение коэффициентов гидравлического сопротивления экспериментальным путем для исследуемой тарелки позволяет рассчитать коэффициент открытия клапанов, показывающий какая часть клапанов открыта при заданных паровых нагрузках на тарелку.

В общем виде коэффициент открытия клапанов запишется как:

$$K_{\text{откр}} = \frac{A}{\sqrt{\frac{2q}{\omega^2 \cdot \rho} + B}}, \tag{6}$$

где  $q$  – удельная весовая нагрузка клапана, Па;  $A$  и  $B$  – эмпирические коэффициенты [3].

Предложенный нами метод расчета позволяет рассчитать скорость газа как в открытых клапанах, так и в технологических зазорах клапанов, что позволяет рассчитать сухой перепад давления на клапанной тарелке с высокой точностью.

**Литература:**

1. Коган В.Б., Харисов М.А. Оборудование для разделения смесей под вакуумом. – Л. : Машиностроение, 1976. – 376 с.
2. Сравнение областей устойчивой работы ситчатой тарелки и клапанной тарелки РЕТОН с подвижным круглым клапаном / С.К. Чуракова [и др.] // в сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья. – Оренбург, 2019. – С. 175–178.



3. Отраслевой стандарт ОСТ 26-01-1488-83 «Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета».

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 13-е изд. – М. : Альянс, 2006. – С. 752–784, 830.

5. Исследовательский стенд для определения областей устойчивой работы контактных устройств фракционирующего оборудования / С.К. Чуракова [и др.] // в сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья». – Оренбург, 2019. – С. 172–175.

6. Альбом типовых конструкций АТК-26-02-1-89 «Тарелки клапанные прямоточные для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры».

#### References:

1. Kogan V.B., Kharisov M.A. Equipment for separation of mixtures under vacuum. – L. : Mashinostroenie, 1976. – 376 с.

2. Comparison of the areas of stable operation of a screen plate and a PETON valve plate with a movable round valve / S.K. Churakova [et al.] // in the collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference «New directions of work on oil and gas, innovative technologies of development of their fields, prospects of production of unconventional hydrocarbon raw materials. – Orenburg, 2019. – P. 175–178.

3. Industry Standard OST 26-01-1488-83 «Column Plate Apparatuses. Method of technological and hydrodynamic calculation».

4. Kasatkin A.G. Main processes and devices of chemical technology. – 13th ed. – M. : Alliance, 2006. – P. 752–784, 830.

5. Research stand for determination of the areas of stable operation of the contact devices of the fractionation equipment / S.K. Churakova [et al.] // in the collection of materials of All-Russian scientific-practical conference «New directions of work on oil and gas, innovative technologies of their fields development, prospects of non-conventional hydrocarbon raw materials production». – Orenburg, 2019. – P. 172–175.

6. Album of typical constructions АТК-26-02-1-89 «Straight-flow valve plates for column type devices. Parameters, design and main dimensions».