



УДК 66.048.3.069.83

ПРИБЛИЖЕННЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРОЖИДКОСТНЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНЫХ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ВНУТРЕННИХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

APPROXIMATE HYDRAULIC CALCULATION OF LIMIT VAPOR-LIQUID LOADS OF CROSS-FLOW DISC INTERNAL CONTACT DEVICES

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
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрена работа перекрестноточной тарелки как система смеситель-сепаратор, предложена формула приблизительной оценки предельных нагрузок.

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
chskugntu@rambler.ru

Annotation. The operation of the cross-flow tray as a mixer-separator system is excluded, and a formula for an approximate estimate of the limiting values is proposed.

Keywords: calculation procedure, hydraulic resistance, hydrodynamics, valve trays, rectification.

Перекрестноточные тарельчатые внутренние контактные устройства состоят из рабочей зоны барботаж и переливных устройств. Рабочая зона барботажа служит для приведения в контакт пара и жидкости, в то время как переливные устройства необходимы для обеспечения сепарации пара от жидкости и перелива жидкости на нижележащую тарелку [1].

Таким образом, тарелку, снабженную переливным устройством можно представить в виде системы смеситель-сепаратор, изображенной на рисунке 1.

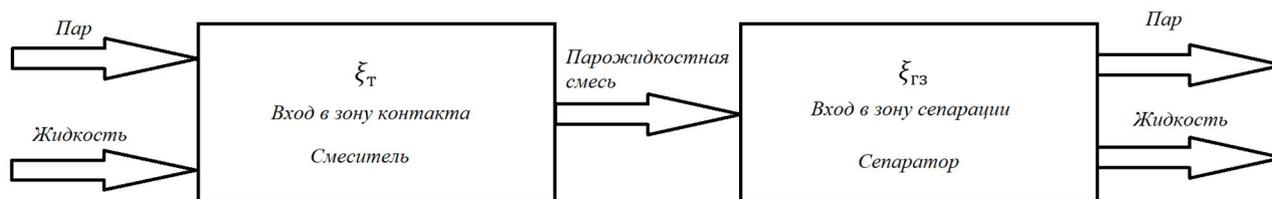


Рисунок 1 – схема перекрестноточной тарелки

Верхний предел парожидкостных нагрузок определяется захлёбыванием одного из двух этих элементов – смесителя или сепаратора [2]. Рассмотрим вариант с захлёбыванием сепаратора (переливного устройства). В этом случае уровень жидкости в нем сравнивается с суммарной высотой между тарелками и высотой переливной планки. Это означает, что перепад давления между тарелками становится достаточно велик, чтобы удержать такой столб жидкости в кармане. Обозначим ξ_T как коэффициент гидравлического сопротивления полотна тарелки и $\xi_{ГЗ}$ как коэффициент гидравлического сопротивления гидрозазора переливного устройства. ξ_T зависит от физико-химических свойств поступающей на тарелку жидкости и конструктивных особенностей тарелки – её типа, высоты сливной планки, наличия затворной планки и др. $\xi_{ГЗ}$ зависит от конструктивных особенностей переливного устройства – наличия заглублённого кармана, высоты клиренса, наличия затворной планки, сечения прохода жидкости на тарелку.

Считая, что гидравлическое сопротивление тарелки складывается из сухого сопротивления и сопротивления слоя пены на тарелке, гидравлическое сопротивление для упрощения выразим в виде уравнения Вейсбаха [3].

$$\Delta P_T = \xi_T \cdot \frac{\omega_T^2}{2} \cdot \rho_T.$$



Скорость газа принимаем как скорость в свободном сечении тарелки (сито, клапаны, колпачки).

Данное упрощение является грубым, так как сопротивление слоя пены на тарелке зависит от свойств среды, парожидкостных нагрузок, конструкции тарелки.

Гидравлическое сопротивление гидрозатвора также выразим аналогичным образом, скорость жидкости в сечении гидрозатвора определяется его геометрией – высотой клиренса тарелки и длиной стенки переливного кармана, которая в общем случае совпадает с прямой сливной планкой. В данном случае будем считать, что наибольшую скорость жидкости имеет в сечении клиренса.

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{\omega_{ж}^2}{2} \cdot \rho_{ж},$$

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot b^2} \cdot \rho_{ж},$$

где $h_{клир}$ – высота клиренса сливного кармана; L – объемный расход жидкости; b – длина стенки сливного кармана.

Так как длина стенки сливного кармана в общем случае совпадает с периметром слива, возможно выполнить следующее преобразование:

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2} \cdot \rho_{ж},$$

где L_v – напряженность слива, выраженная в м³/м·с.

Также произведем преобразование уравнения расчета перепада давления на тарелке через удельную паровую нагрузку – F-фактор:

$$\Delta P_{Т} = \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2}$$

Таким образом, складывая эти перепады, и выражая его через геометрический напор светлой жидкости в переливном кармане, получаем выражение для вычисления максимальных парожидкостных нагрузок:

$$H = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot g} + \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2 \cdot \rho_{ж} \cdot g}.$$

Выражаем предельную высоту столба жидкости в кармане как сумму расстояния между полотнами и высотой сливной планки [4, 5], получаем выражение для вычисления приблизительных максимальных парожидкостных нагрузок:

$$H_{м} + h_{слив} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot g} + \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2 \cdot \rho_{ж} \cdot g},$$

где $H_{м}$ – межтарельчатое расстояние; $h_{слив}$ – высота сливной планки.

Так как данное выражение носит грубый характер, высота подпора жидкости над тарелкой не учитывается, также не учитывается вспененное состояние жидкости в кармане.

Результатов стендовых испытаний показали, что при скорости жидкости на входе в тарелку от 0,5 м/с и выше $\xi_{ГЗ}$ практически не изменяет своего значения.

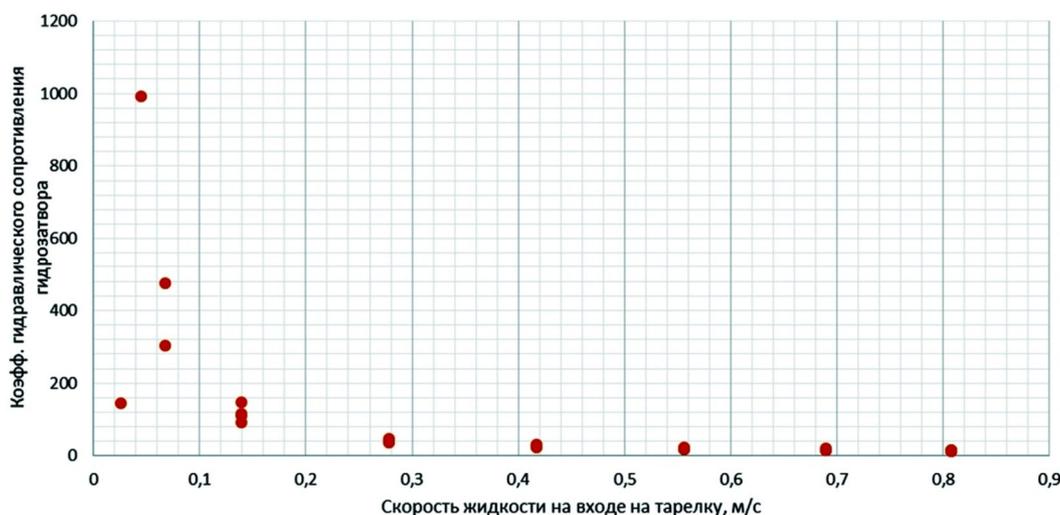


Рисунок 3 – Значения коэффициента гидравлического сопротивления гидрозатвора в зависимости от скорости жидкости в нем



Это даёт основание для вывода, что в этой области полученное выражение справедливо. Резкое изменение коэффициента гидравлического сопротивления гидрозатвора в области низких жидкостных нагрузок связано с неучтёнными параметрами и требует дополнительного исследования.

Таким образом, для конкретной пары пар/жидкость и конкретной конструкции тарелки возможно получить вполне определённые предельные удельные парожидкостные нагрузки в виде функции:

$$\Phi(L_v, F) = 0.$$

Список литературы:

1. Kister H.Z. Distillation design» McGraw-Hill. – New York, USA, 1992. – 710 p.
2. 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.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии – 13-е изд. – М. : Альянс, 2006. – С. 752–784.
4. Отраслевой стандарт ОСТ 26-01-1488-83 «Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета».
5. Альбом типовых конструкций ATK-26-02-1-89 «Тарелки клапанные прямоточные для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры».

List of references:

1. Kister H.Z. Distillation design" McGraw-Hill. – New York, USA, 1992. – 710 p.
2. Research bench to determine the areas of stable operation of contact devices of fractionation equipment / S.K. Churakova [et al.] // in the collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference «New directions of oil and gas, innovative technologies of their field development, prospects for unconventional hydrocarbon raw materials». – Orenburg, 2019. – P. 172–175.
3. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology – 13th ed. – M. : AIYans, 2006. – P. 752–784.
4. Industry standard OST 26-01-1488-83 «Apparatuses of column discs. Technological and hydrodynamic design method».
5. Standard Construction Album ATK-26-02-1-89 «Straight-line valve trays for column-type apparatuses. Parameters, design and main dimensions».