

А. А. Боровик, доцент; С. К. Протасов, доцент;
Д. И. Мисюля, студент

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИТЧАТОЙ ТАРЕЛКИ С КОНИЧЕСКИМ ПЛАСТИНЧАТЫМ ОТБОЙНИКОМ

In the article the results of experimental researches of hydraulic resistance cone plate separator are submitted. Carry-over of liquid in the effluent gas stream between two plates is studied. The influence of regime and geometrical parameters on losses of pressure is shown. Calculation dependences of carry-over of liquid in the effluent gas stream and hydraulic resistance are received. Diapasons of stable work are determined. The results of experimental researches showed that the cone plate separator can consider as a additional local stage contact of phases. Using the cone plate separator increase output two times the average allowable speed of a gaseous phase and increase a productivity of a mass-interchange column apparatuses. The cone plate separator can use as a separator of phases not only over of bubble plates but and in the vertical evaporate apparatuses.

Введение. Как известно, унос капель жидкости газовым (паровым) потоком с контактных тарелок массообменных аппаратов приводит к существенному снижению движущей силы процессов переноса. Поэтому межтарельчатый унос является одним из основных факторов, ограничивающих повышение скорости газа (пара) в массообменных аппаратах. Для уменьшения брызгоуноса при повышенных газовых нагрузках необходимо увеличивать либо диаметр колонны, либо межтарельчатое расстояние, а значит, и габаритные размеры аппарата, что приводит к очевидному росту капитальных и энергетических затрат. С целью снижения уноса капель без существенного увеличения межтарельчатого расстояния над массообменной тарелкой устанавливаются каплеотбойники различных конструкций.

Второй важной характеристикой работы контактной массообменной тарелки является ее гидравлическое сопротивление, от величины которого зависят не только энергетические затраты на транспортировку газа (пара) через аппарат, но и изменение условий проведения процесса массопереноса по высоте колонного массообменного аппарата.

Основная часть. На кафедре процессов и аппаратов химических производств БГТУ разработана и исследована новая конструкция конического пластинчатого отбойника с невысоким гидравлическим сопротивлением, который выполнен в виде усеченного конуса.

Исследование гидродинамических параметров ситчатой тарелки с коническим пластинчатым отбойником проводилось на системе воздух – вода в колонне диаметром 240 мм. Рабочее сечение тарелки составляло $0,0452 \text{ м}^2$, периметр перелива – 0,168 м, а доля свободного сечения тарелки – 7%. Отбойник был выполнен из колец шириной 0,02 м, которые были установлены друг над другом на расстоянии 0,01 м. Угол конусности составлял 45° . Ско-

рость газа по сечению колонны изменялась в пределах от 0,6 до 3,2 м/с, а нагрузка по жидкой фазе – в пределах изменения линейной плотности орошения от 1 до $9 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Схема установки для исследования гидродинамических параметров представлена на рис. 1.

Установка работает следующим образом.

Жидкость подается в аппарат из емкости 8 с помощью насоса 13. Регулирование расхода жидкости осуществляется краном 6, а определение расхода – с помощью ротаметра 4 и соответствующего тарифовочного графика. Газ (воздух) в колонну подается с помощью газодувки 5. Расход газовой фазы определяется с помощью тарифовочного графика по показаниям дифференциального манометра 7, который сопряжен с измерительной диафрагмой 11. Гидравлическое сопротивление конического пластинчатого отбойника определяется при помощи дифференциального манометра 10.

Объектом исследований являлся конический пластинчатый отбойник, схема которого представлена на рис. 2. Отбойник состоит из ряда параллельных соосно расположенных плоских тонких колец 1, установленных друг над другом и образующих усеченный конус. Кольца жестко прикреплены к двум взаимно перпендикулярным опорным пластинам 2. Пластины 2 расположены над ситчатой тарелкой на высоте 50 мм (позиция 3 на рис. 1) и крепятся к стойкам 3 при помощи болтов 4. Между кольцами 1 образован ряд параллельных зазоров для прохода газовой фазы вместе с унесенной жидкостью.

Достоинством данной конструкции конического пластинчатого отбойника является осесимметричное расположение колец 1, что обеспечивает равномерность движения газожидкостного потока по сечению колонны и предотвращает локальный проскок газа с жидкостью.

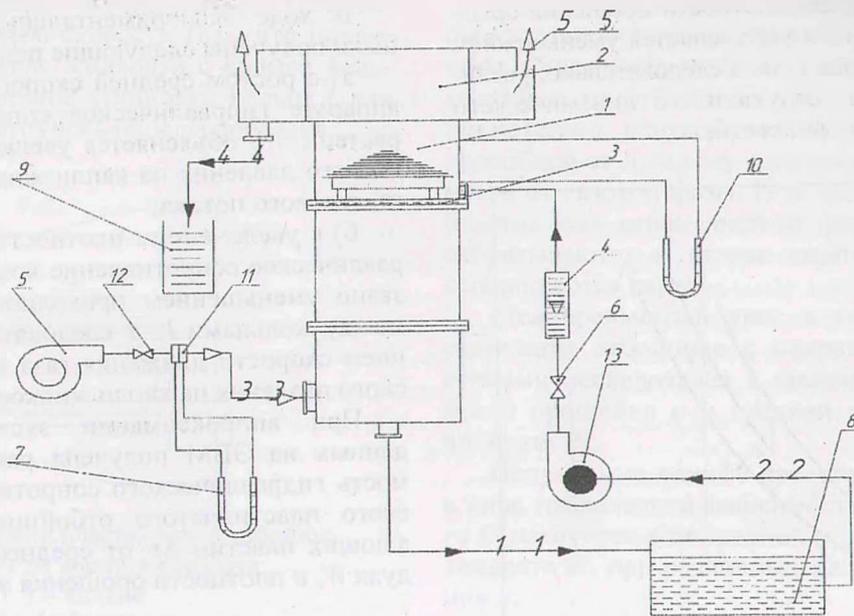


Рис. 1. Схема установки:

1 – цилиндрический корпус; 2 – объемный сепаратор; 3 – ситчатая тарелка; 4 – ротаметр; 5 – газодувка; 6 – кран; 7, 10 – дифференциальные манометры; 8 – емкость с исходной жидкостью; 9 – емкость с унесенной жидкостью; 11 – диафрагма; 12 – задвижка; 13 – насос

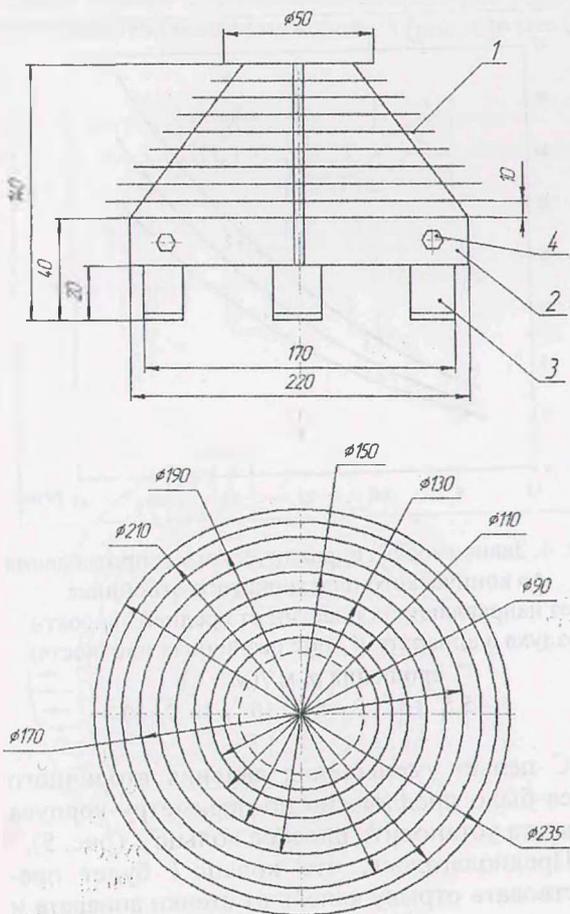


Рис. 2. Конический пластинчатый отбойник без направляющих пластин: 1 – кольцо; 2 – опорные пластины; 3 – стойка; 4 – болт

Газовая фаза движется по колонне снизу вверх и барботирует через слой жидкости, подаваемой на ситчатую тарелку. На тарелке образуется слой пены и протекает массообменный процесс. При этом часть жидкости уносится вверх газовым потоком в виде капель и брызг. Попадая в зазоры между кольцами 1, поток дважды меняет направление своего движения на 90° . Благодаря большей инерционности капли жидкой фазы не успевают изменить направление движения на выходе из зазоров между кольцами 1 и отбрасываются к поверхности корпуса аппарата, образуя стекающую вниз пленку. Отсепарированный от капель газ уходит в объемный сепаратор (позиция 2 на рис. 1), где от него отделяются мелкие капли жидкости, не уловленные в коническом пластинчатом отбойнике.

Межтарельчатый унос. Экспериментально исследовалось влияние плотности орошения q и средней скорости газа W_r в колонне на величину межтарельчатого уноса.

Полученные данные представлены на рис. 3 в виде графической зависимости относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха в аппарате W_r при различных плотностях орошения q .

В ходе экспериментальных исследований были получены следующие результаты:

а) с ростом средней скорости воздуха W_r в аппарате брызгоунос возрастает, что вызвано увеличением динамического давления на капли жидкости со стороны газового потока;

б) с увеличением плотности орошения брызгоунос возрастает, что объясняется уменьшением проходного сечения газа, а следовательно, увеличением скорости воздуха и его динамического давления на капли жидкости.

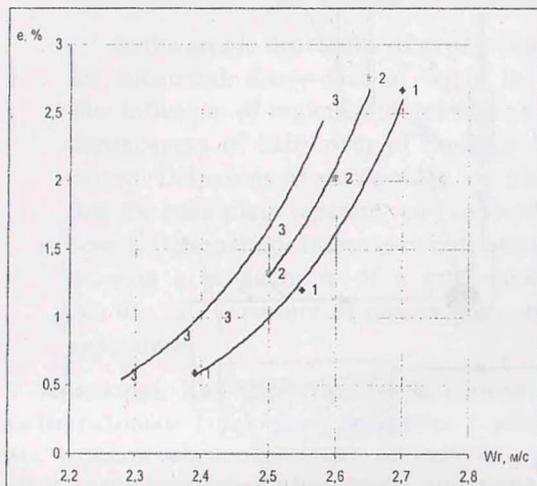


Рис. 3. Зависимость относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха W_r в аппарате с коническим пластинчатым отбойником без направляющих пластин при различных плотностях орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:
1 – $5,5 \cdot 10^{-3}$; 2 – $6,3 \cdot 10^{-3}$; 3 – $7 \cdot 10^{-3}$

Полученные результаты были аппроксимированы на ЭВМ и получена расчетная зависимость относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха W_r и плотности орошения q

$$e = 0,575 W_r^{12,27} q^{2,053}$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных данных составляет 6,2 %, а максимальное отклонение не превышает 10,2.

При проведении исследований визуально было установлено возникновение так называемого вторичного уноса. Отсепарированная жидкость отбрасывалась к корпусу аппарата, ударялась об него, образовывались «вторичные» капли, часть из которых подхватывалась восходящим газовым потоком и уносилась вверх. Все это привело к ухудшению разделительной способности отбойника.

Гидравлическое сопротивление. Гидравлическое сопротивление конического пластинчатого отбойника исследовалось при различных плотностях орошения q и скоростях газа W_r на сечение аппарата.

Полученные данные представлены в виде графической зависимости гидравлического сопротивления отбойника Δp от средней скорости воздуха в аппарате при различных плотностях орошения на рис. 4.

В ходе экспериментальных исследований были получены следующие результаты:

а) с ростом средней скорости воздуха W_r в аппарате гидравлическое сопротивление возрастает, это объясняется увеличением динамического давления на капли жидкости со стороны газового потока;

б) с увеличением плотности орошения гидравлическое сопротивление возрастает, это вызвано уменьшением проходного сечения газа между кольцами 1, а следовательно, увеличением скорости движения газа и его динамического давления на капли жидкости.

При аппроксимации экспериментальных данных на ЭВМ получена расчетная зависимость гидравлического сопротивления конического пластинчатого отбойника без направляющих пластин Δp от средней скорости воздуха W_r и плотности орошения q

$$\Delta p = 99,58 W_r^{7,662} q^{1,575}$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных данных составляет 5,9 %, а максимальное отклонение не превышает 11,5.

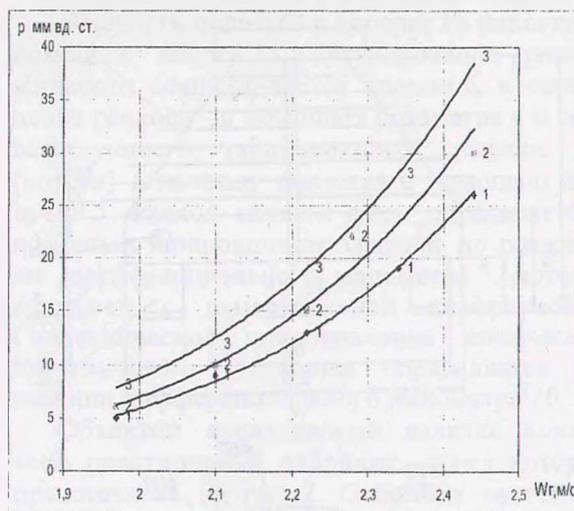


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления Δp конического пластинчатого отбойника без направляющих пластин от средней скорости воздуха в аппарате W_r при различных плотностях орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:
1 – $5,5 \cdot 10^{-3}$; 2 – $6,3 \cdot 10^{-3}$; 3 – $7 \cdot 10^{-3}$

С целью уменьшения явления вторичного уноса было предложено по периметру корпуса аппарата установить плоское кольцо 1 (рис. 5).

Предполагалось, что кольцо 1 будет препятствовать отрыву капель от стенки аппарата и уносу их газовым потоком. Однако проведенные исследования показали, что независимо от места расположения кольца 1 по высоте контактной ступени, брызгоунос не уменьшается, а увеличивается. Это можно объяснить уменьшением

сечения для прохода газовой фазы, а следовательно, увеличением скорости газа, что приводило к срыву капель жидкости с кромок кольца 1. По этой причине установка кольца 1 для уменьшения брызгоуноса нецелесообразна.

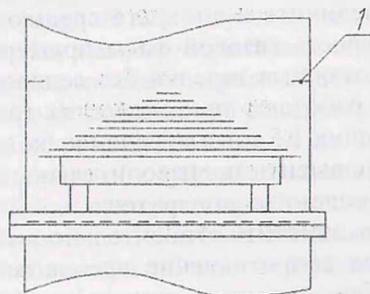


Рис. 5. Конический пластинчатый отбойник с кольцом на корпусе аппарата:
1 – кольцо

С целью повышения эффективности работы отбойника предложена его усовершенствованная конструкция, схема которой представлена на рис. 2. При этом в образованные ряды параллельных зазоров между кольцами 1 для прохода газовой фазы вместе с унесенной жидкостью установлены направляющие пластины 5 (рис. 6).

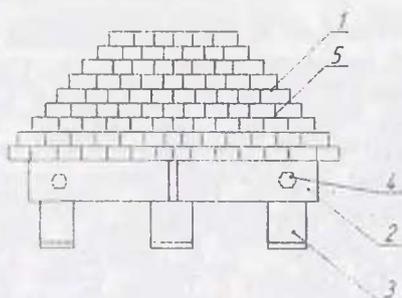
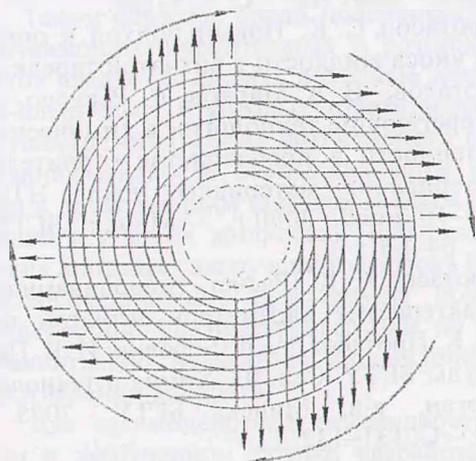


Рис. 6. Конический пластинчатый отбойник с направляющими пластинами:
1 – кольцо; 2 – опорные пластины; 3 – стойка;
4 – болт, 5 – направляющие пластины



Направляющие пластины 5, установленные параллельно опорным пластинам 2, обеспечивают общее закручивание газового потока, выходящего из отбойника, что приводит к возникновению центробежной силы инерции и способствует лучшему отделению капель жидкости от газовой фазы. Под действием центробежных сил капли жидкой фазы интенсивнее отбрасываются к стенке корпуса аппарата и сепарируются газом.

Межтарельчатый унос в коническом пластинчатом отбойнике с направляющими пластинами исследовался в зависимости от плотности орошения q и средней скорости газа в аппарате W_r .

Полученные данные представлены на рис. 7 в виде графической зависимости относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха в аппарате W_r при различных плотностях орошения q .

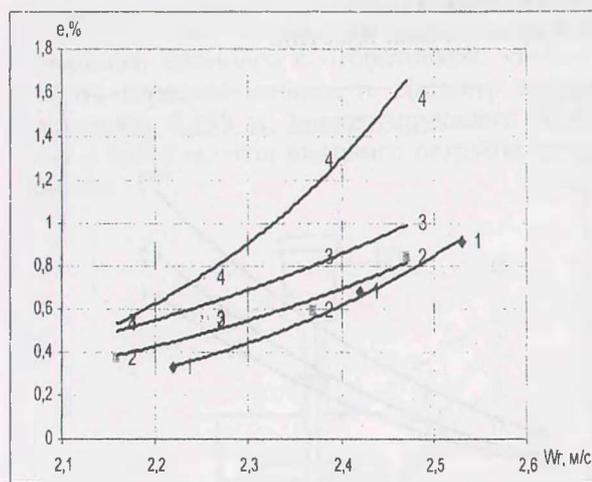


Рис. 7. Зависимость относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха W_r в аппарате с коническим пластинчатым отбойником с направляющими пластинами при различных плотностях орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:
1 – $4,8 \cdot 10^{-3}$; 2 – $5,5 \cdot 10^{-3}$; 3 – $6,3 \cdot 10^{-3}$; 4 – $7 \cdot 10^{-3}$

При обработке экспериментальных данных на ЭВМ получена расчетная зависимость относительного брызгоуноса e от средней скорости воздуха W_r и плотности орошения q :

$$e = 5,436 - 9,194W_r + 1380q + 2,321W_r^2 - 1,151 \cdot 10^5 q^2$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных данных составляет 7,5 %, а максимальное отклонение не превышает 11,9.

Гидравлическое сопротивление конического пластинчатого отбойника с направляющими пластинами исследовалось при различных

плотностях орошения q и средних скоростях газа W_r в аппарате.

Полученные данные представлены на рис. 8 в виде графической зависимости гидравлического сопротивления отбойника Δp от средней скорости воздуха в аппарате при различных плотностях орошения.

Результаты были аппроксимированы на ЭВМ, и получена расчетная зависимость гидравлического сопротивления конического пластинчатого отбойника с направляющими пластинами Δp от средней скорости воздуха W_r и плотности орошения q :

$$\Delta p = 269,61 W_r^{6,779} q^{1,562}.$$

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных и расчетных данных составляет 5,6%, а максимальное отклонение не превышает 8,8.

При сопоставлении полученных данных (рис. 4 и 8) можно отметить, что общие закономерности сохраняются как для отбойника с направляющими пластинами, так и для отбойника без направляющих пластин.

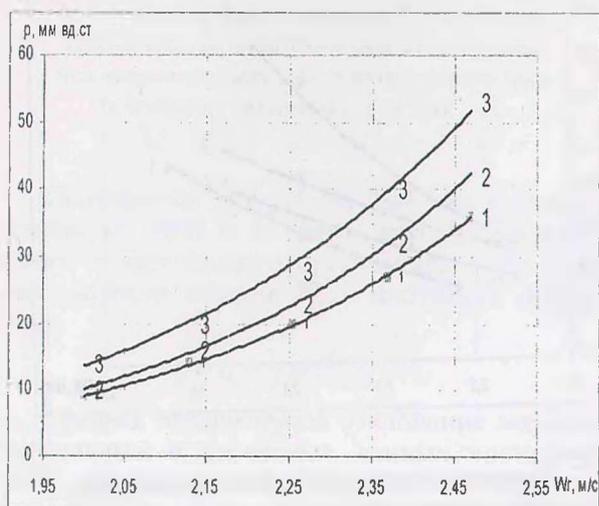


Рис. 8. Зависимость гидравлического сопротивления Δp конического пластинчатого отбойника с направляющими пластинами от средней скорости воздуха в аппарате W_r при различных плотностях орошения q , м³/(м²·с):
1 — $5,5 \cdot 10^{-3}$; 2 — $6,3 \cdot 10^{-3}$; 3 — $7 \cdot 10^{-3}$

Закключение. Конический пластинчатый отбойник можно использовать как сепаратор фаз не только над тарелками барботажного типа, но и в вертикальных выпарных аппаратах, в которых наблюдается существенный капельный унос выпариваемого раствора движущимся вверх с большой скоростью вторичным паром.

Кроме всего изложенного, можно отметить следующее. При ударе уносимых газовым потоком капель жидкости о кольца l (рис. 2, б) отбойника происходит обновление поверхности контакта фаз, что, как известно, существенно увеличивает движущую силу массопереноса,

турбулизирует жидкую фазу и интенсифицирует массообменный процесс. Следовательно, конический пластинчатый отбойник можно рассматривать как дополнительную локальную ступень контакта фаз.

Таким образом, применение отбойника позволяет увеличить в аппарате среднюю допустимую скорость газовой фазы примерно в два раза (барботажные тарелки без сепарационных устройств работают при скоростях газа, редко превышающих 1,5 м/с на сечение колонны), а значит, и повысить производительность массообменных колонных аппаратов.

Следует отметить относительно низкое гидравлическое сопротивление предлагаемого отбойника. Так, например, при средней на сечение аппарата скорости газа 2,5 м/с гидравлическое сопротивление конического пластинчатого отбойника не превосходит 400 Па, в то время как потери давления на ситчатой тарелке достигают 1300 Па, что имеет существенное значение с точки зрения экономии энергетических затрат.

В дальнейшем предполагается продолжить исследования гидродинамики конического пластинчатого отбойника, а также изучить его массообменные характеристики.

Литература

1. Протасов, С. К. Перепад давления на неорошаемой ситчатой тарелке / С. К. Протасов, В. А. Марков // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. — Минск: БГТУ, 2002. — Вып. X. — С. 207–210.
2. Протасов, С. К. Расчет гидравлического сопротивления ситчатой тарелки с учетом режимов ее работы / С. К. Протасов, А. А. Боровик, Е. Ю. Карабач // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. — Минск: БГТУ, 2004. — Вып. XII. — С. 175–179.
3. Протасов, С. К. Новый подход к определению уноса жидкости с ситчатой тарелки / С. К. Протасов, В. А. Марков // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности в производстве строительных материалов: материалы докл. НТК, Минск, 8–10 нояб. 2000 г. — Минск: БГТУ, 2000. — С. 64–66.
4. Протасов, С. К. Расчет гидродинамических характеристик параметров ситчатой тарелки / С. К. Протасов, А. А. Боровик, И. В. Пелюх // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. — Минск: БГТУ, 2005. — Вып. XIII. — С. 131–132.
5. Протасов, С. К. Исследование гидродинамических параметров ситчатой тарелки с пластинчатым отбойником / С. К. Протасов, А. А. Боровик, М. Г. Скотников // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. — Минск: БГТУ, 2006. — Вып. XIV. — С. 109–111.