

Г.И. Зорина, В.Г. Кацашвили, А.И. Ершов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОТОЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

При исследовании работы контактных устройств важно не только выяснить влияние различных гидродинамических и конструктивных факторов, но и получить расчетные зависимости, описывающие эффективность контакта. Эмпирические выражения по сути своей малополезны; требуется точное математическое описание процесса с учетом гидродинамических и массообменных закономерностей его протекания. Некоторая сложность выражений, получаемых при аналитическом решении подобных задач, в настоящее время успешно компенсируется широким распространением машинных методов расчета.

Работа массообменных аппаратов с прямоточными ступенями контакта и расчет эффективности таких ступеней описаны в ряде статей [1-5], в которых получены графические и аналитические зависимости для эффективности контакта при допущениях о полном перемешивании жидкости на всей ступени [2] или в пределах одной конструктивной секции [3,4]. Последнее, более позднее допущение соответствует равенству концентраций жидкости, поступающей в элемент и покидающей данную секцию, и правомерно только для барботажных тарелок [7], где жидкость интенсивно перемешивается потоками пара.

В настоящей работе рассматривается аналитический расчет эффективности прямоточной контактной ступени (рис. 1), без допущений о полном перемешивании жидкости на всей тарелке или в пределах одной конструктивной секции.

Приняты следующие обозначения: L и G - потоки жидкости и пара, поступающие на ступень контакта, x_0 и y_0 - их концентрации, n - число контактных элементов по ходу жидкости, φ - доля потока жидкости, попадающая после взаимодействия с паром снова в тот же контактный элемент. Для

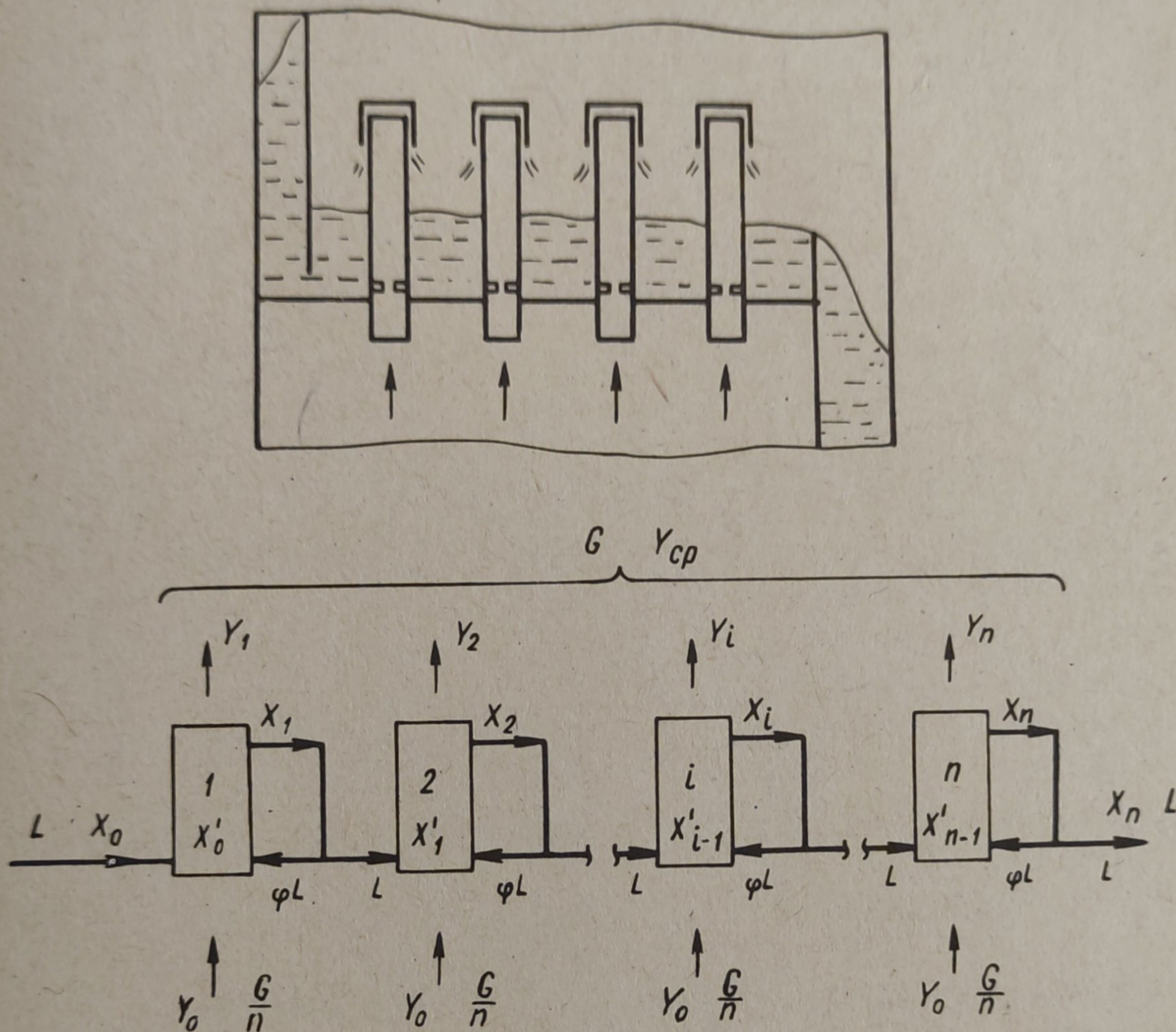


Рис. 1. Принципиальная схема тарелки и гидродинамической модели потоков.

упрощения выкладок рассматривается ступень контакта с одним рядом элементов, что никак не влияет на эффективность ступени при обычном допущении о равномерном распределении потоков пара и жидкости по элементам, так как в конечные выражения входит только соотношение этих потоков. Приняты также обычные допущения о полном перемешивании пара, поступающего на ступень контакта и линейности равновесной зависимости в пределах изменения концентраций на одной ступени, т.е. $Y_i^* = mX_i + b$. Вывод выражения для эффективности проведен по известной методике [6], в качестве параметров модели использованы n , φ и эффективность элемента по жидкой фазе E_x . Введение E_x вместо часто используемой локальной эффективности позволяет рассчитать эффективность контактной ступени с учетом любой гидродинамической модели взаимодействия фаз внутри отдельного элемента.

Эффективность ступени по Мэрфи в жидкой фазе

$$E_{mL} = \frac{x_n - x_0}{x^* - x_0}, \quad (1)$$

где

$$x^* = \frac{y_{cp} - b}{m} \quad (2)$$

и

$$y_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (3)$$

Уравнения (1-3) решаются совместно с уравнениями эффективности i -того элемента

$$E_x = \frac{x_i - x_{i-1}^1}{\frac{y_{cp} - b}{m} - x_{i-1}^1}, \quad (4)$$

материального баланса по веществу для i -того элемента

$$\frac{G}{n}(y_0 - y_i) = L(1 + \varphi)(x_i - x_{i-1}^1) \quad (5)$$

и баланса смешения на входе в i -тый элемент

$$x_i + \varphi x_{i+1} = x_i^1(1 + \varphi). \quad (6)$$

Вводя обозначения:

$$\lambda = \frac{mG}{L} \quad (7)$$

и

$$B = \frac{n(E_x(1 + \varphi) + \lambda(1 - E_x))}{nE_x(1 + \varphi) + \lambda(1 + E_x)}, \quad (8)$$

после соответствующих преобразований получим

$$E_{mL} = \frac{\lambda(1 - B^n)}{\lambda - (1 - B^n)}. \quad (9)$$

Проанализируем полученное уравнение для некоторых частных случаев. Для ступени с одиночным элементом $n = 1$ уравнение (9) приводится к виду

$$E_{mL} = \frac{(1 + \varphi) E_x}{1 + \varphi E_x} \quad (10)$$

и, если нет циркуляции, т.е. $\varphi = 0$, к очевидному равенству

$$E_{mL} = E_x. \quad (11)$$

Принимая, что в каждом элементе происходит полное перемешивание жидкости, а циркуляция отсутствует, с учетом соотношения между E_x и локальной эффективностью E_v [8]

$$E_x = \frac{E_v}{E_v + \frac{1}{\lambda}(1 - E_v)} \quad (12)$$

уравнение (9) можно свести к виду

$$E_{mL} = \frac{1 - \left(1 + \frac{E_v \lambda}{n}\right)^{-n}}{1 - \frac{1}{\lambda} \left[1 - \left(1 + \frac{E_v \lambda}{n}\right)^{-n} \right]}, \quad (13)$$

что соответствует эффективности в жидкой фазе по простой ячеечной модели [6].

Следует отметить, что выражения, полученные в работах [2, 3, 4], не приводятся к уравнениям (11 и 13) при соответствующих упрощениях. Поэтому, можно считать, что полученное в настоящей работе уравнение (9) является не только свободным от излишних допущений, но и наиболее точным из известных для рассматриваемого случая.

Анализ уравнения (9) в зависимости от изменения входящих в него параметров n , φ , λ и E_x проведен численным методом на ЭВМ "Минск - 22". Характер влияния факторов n и E_x не является проблематичным, поэтому в данной статье представлена только зависимость эффективности ступени контакта, от доли циркулирующей жидкости φ при различных значениях λ (рис. 2). Увеличение φ приво-

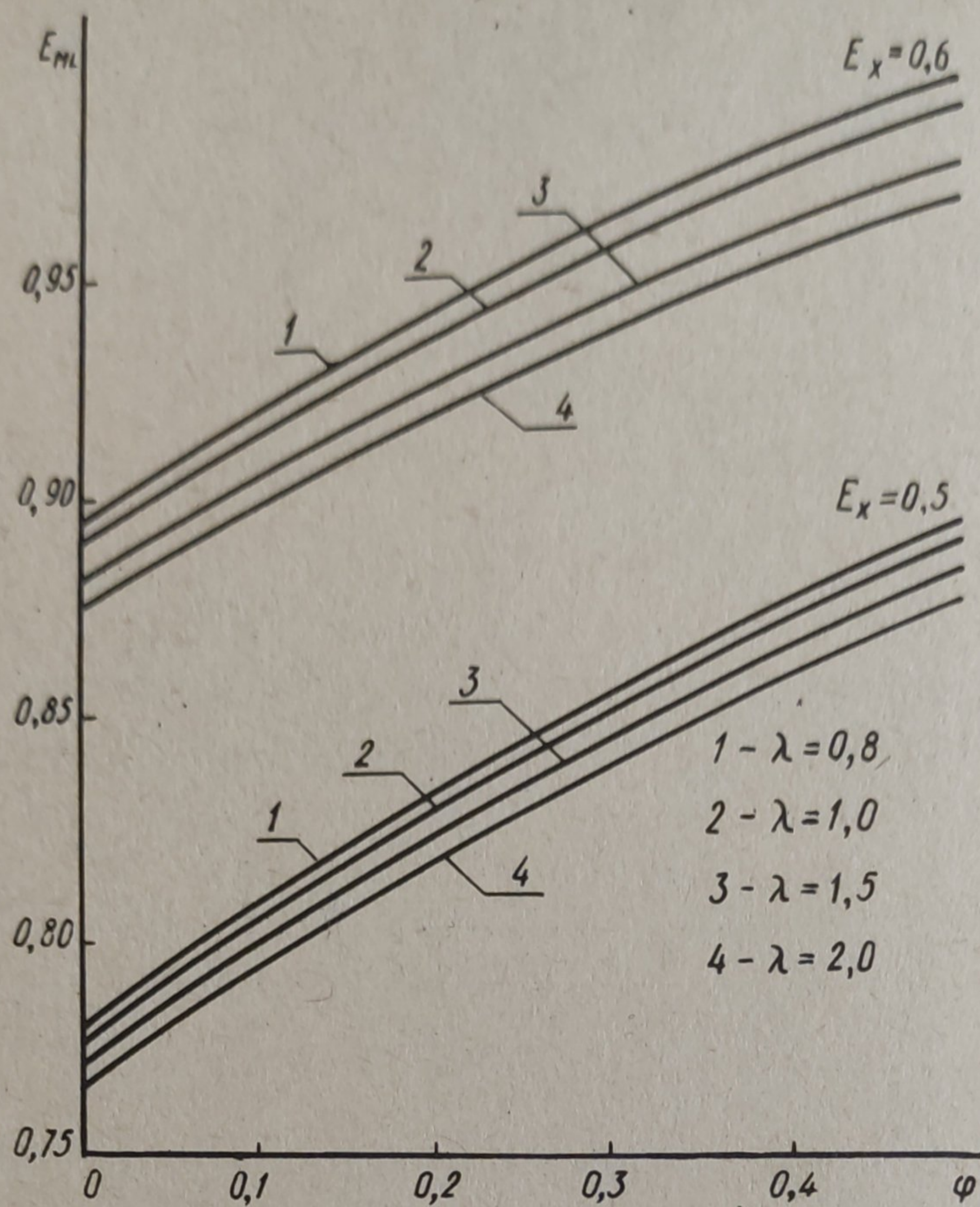


Рис. 2. Зависимость эффективности ступени E_{mL} от доли циркулирующей жидкости φ при $n = 2$ и различных значениях E_x и λ .

дит к росту эффективности ступени по жидкой фазе практически одинаково для любых значений соотношения $\frac{mG}{L}$. Характер зависимости не меняется и для других значений n (на рис. 2 представлены данные для $n = 2$).

Л и т е р а т у р а

1. Н. А. Малафеев, В. А. Малюсов. Теоретич. основы хим. технологии, 2, № 2, 192 (1968).
2. Н. А. Николаев. Химия и технол. топлив и масел, № 10, 38 (1968).
3. В. А. Булкин, Н. А. Николаев, Р. А. Валиуллин. Химия и технол. топлив и масел, № 2, 44 (1970).
4. Н. А. Николаев, В. А. Булкин. Изв. вузов СССР, Химия и химическая технология; 14, № 9, 1422 (1971).
5. Н. А. Николаев, В. А. Булкин. Химия и технол. топлив и масел, № 4, (1970) 44.
6. M. F. Gautreaux, H. E. O'Connell. Chem. Engng. Progr; № 5, 232 (1955).
7. А. А. Захарова. Канд. дис. МИХМ. М., 1965.
8. Bubbly Tray Design Manual, N- Y., 1958.