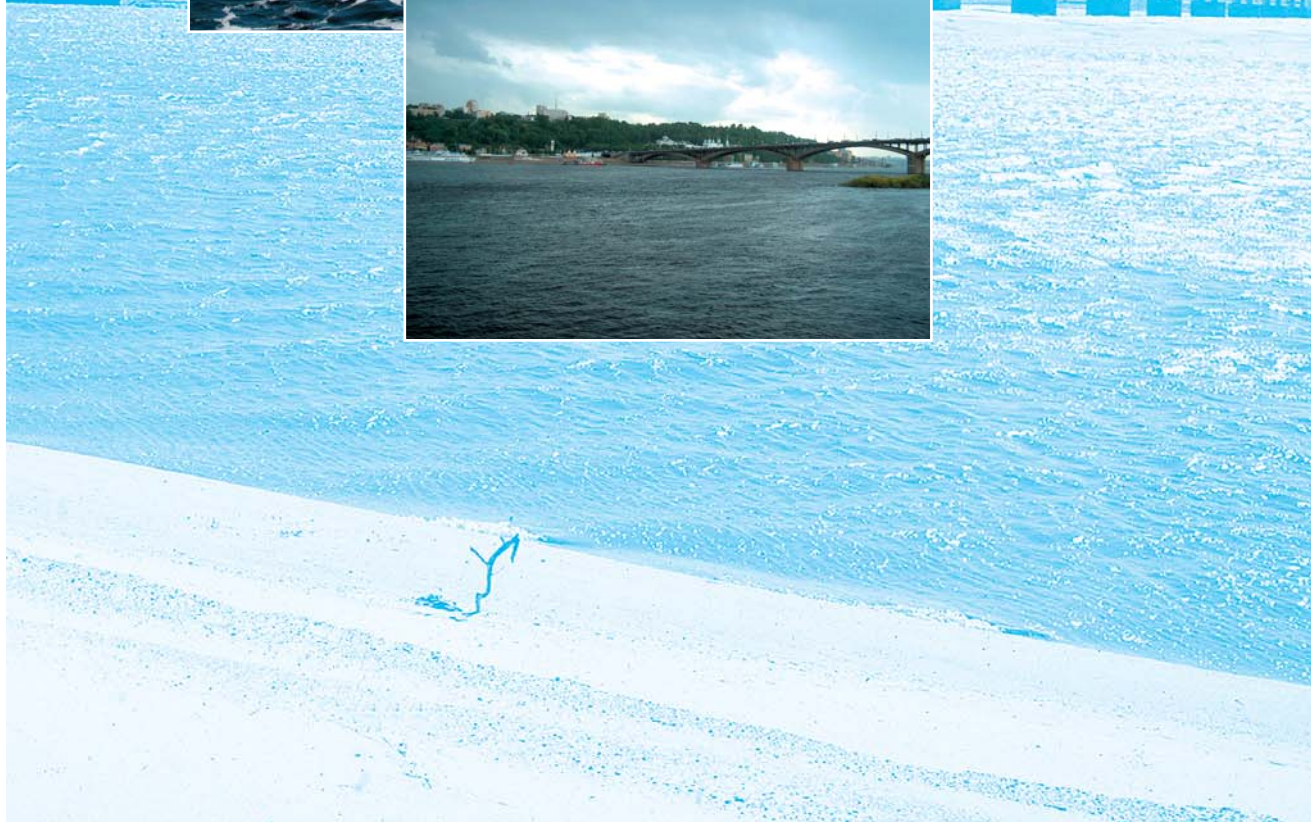
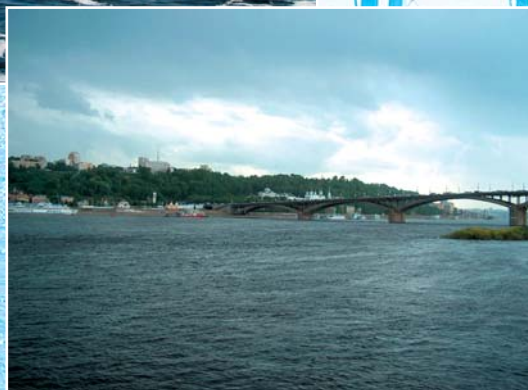
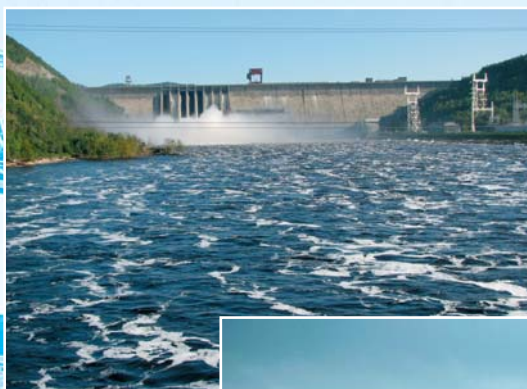


**БЕЗОПАСНОСТЬ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ,
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ**



УДК 532.51

К РАСЧЕТУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА СТРУИ ЖИДКОСТИ

© 2010 г. К.С. Султан

Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, Казахстан, г. Алматы

Ключевые слова: растекание, распределение расхода, кольцевая струя, плоская поверхность, коэффициент коррекции расхода, угол падения струи.



Рассмотрено растекание кольцевой струи жидкости по твердой плоской поверхности, получены уравнения для расчета коэффициента коррекции расхода и приведены результаты расчета коэффициента коррекции расхода при различных значениях угла падения струи и угла наклона поверхности.

При решении многих практических задач, например, для расчета параметров струйного насоса, жидкостных воздухоочистительных аппаратов, камер гашения энергии водного потока в гидротехнических сооружениях, а также при решении других задач, возникающих при конструировании отдельных элементов гидроэнергетических машин, возникает необходимость в расчете распределения расхода кольцевой струи жидкости по поверхности различной конфигурации. Поскольку, зная расход жидкости в выбранной точке, можно определить и другие гидродинамические параметры струи такие, как толщина слоя жидкости, осредненная скорость и т. д.

Анализ результатов работ [1—4] и других, посвященных исследованию растекающейся струи жидкости, показывает, что еще не разработаны методика и формулы для расчета распределения расхода и других параметров растекающейся по наклонной поверхности жидкости, в том числе кольцевой струи. Отсутствие методики решения таких задач значительно затрудняет процесс предварительной оценки и моделирования гидродинамических процессов при создании машин и механизмов, а также при проектировании гидротехнических сооружений.

Водное хозяйство России № 1, 2010

Водное хозяйство России

В этой связи, для разработки методики решения задач, связанных с распределением расхода растекающейся струи, рассмотрим растекание кольцевой струи жидкости по наклонной поверхности, имеющей в центральной части отверстие для отвода части жидкости, при этом струя отклонена от вертикали на некоторый угол (рис. 1).

В данном случае, как видно из рисунка, будут иметь место сразу два режима растекания: режим «источник» — часть кольцевой струи, направленная в наружу, и режим «сток» — часть кольцевой струи, направленная внутрь и сливаемая через отверстие. Таким образом, в данном случае общий расход струи разделяется на две части

$$Q_0 = Q^e + Q^s, \quad (1)$$

где Q_0 — общий расход струи;

Q^e — расход части струи, направленной в наружу;

Q^s — расход части струи, направленной к центру.

Для описания закономерности распределения расхода можем использовать подходы, описанные в [4], которые предназначены для расчета расхода растекающейся сплошной струи. Будем считать, что влияние отверстия на распределения расхода при истечении через него незначительным, других факторов, значительно влияющих на закономерности распределения расхода, не замечено.

Сначала рассмотрим простой случай, когда вертикальная ($\alpha = 0$) кольцевая струя соударяется с плоской наклонной поверхностью, угол наклона которой составляет β .

Учитывая, что в каждом единичном секторе кольцевая струя разделяется на две части, которые направляются в противоположные стороны, т. е. угол между направлениями частей единичной струи составляет π (180°), можем написать:

$$q_i^e = \frac{Q_0}{2\pi r} \cdot (1 + \sin \beta \cdot \cos \theta_i), \quad (2)$$

$$q_i^s = \frac{Q_0}{2\pi r} \cdot (1 + \sin \beta \cdot \cos (\theta_i + \pi)), \quad (3)$$

где q_i^e и q_i^s — удельные объемные расходы частей струи жидкости, соответственно, в режимах растекания «источник» и «сток»;

β — угол наклона поверхности;

θ — угол между осью X (данная ось проводится по линии на поверхности, где величина угла наклона поверхности имеет максимальное значение) и рассматриваемым направлением на поверхности, измерение угла производится против хода часовой стрелки.

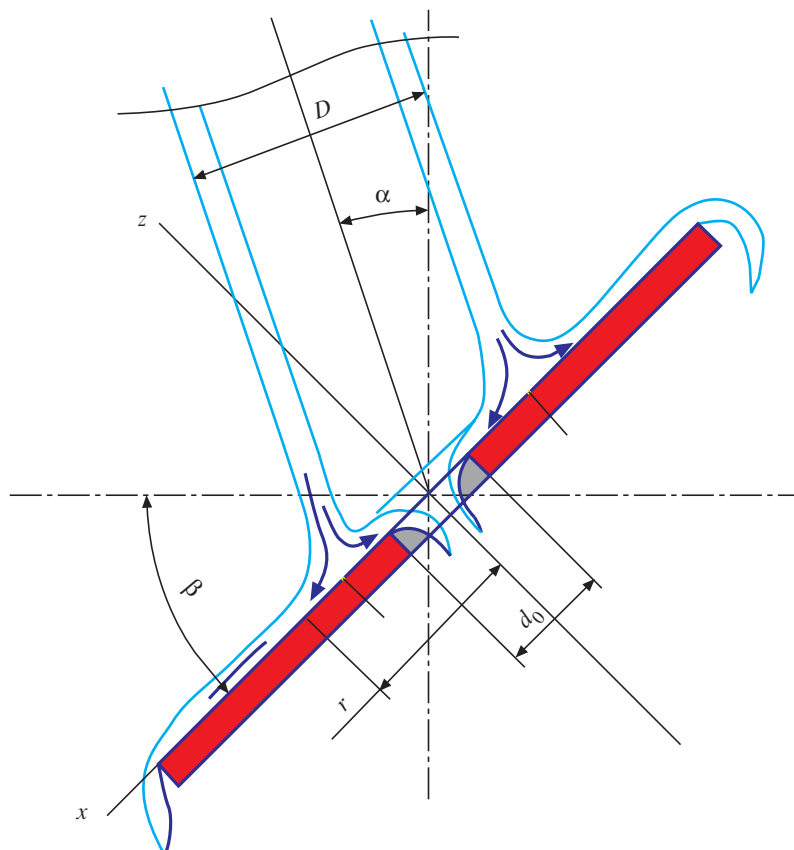


Рис. 1. Схема для расчета распределения расхода при растекании кольцевой струи жидкости.

Если есть необходимость в определении объемного расхода конкретного сектора на поверхности, то величина удельного расхода, соответствующая центральной линии данного сектора, умножается на длину дуги сектора:

$$Q_i = q_i 2\pi r \left(\frac{\tau}{\pi} \right) = q_i 2r\tau, \quad (4)$$

где τ — центральный угол дуги рассматриваемого сектора.

При этом понятно, что

$$Q_0 = \sum_{i=1}^N Q_i^e + \sum_{i=1}^N Q_i^s = Q^e + Q^s, \quad (5)$$

где N — количество секторов на поверхности.

Мы рассмотрели модель растекания наклонной струи по наклонной поверхности, когда направление соударения струи совпадает с линией максимального наклона поверхности. Для случая, когда кольцевая струя, угол отклонения от вертикали которой составляет α , соударяется с плоской поверхностью, наклоненной на угол β , причем угол между направлением соударения струи и линией максимального наклона поверхности составляет φ , используя зависимости, полученные в [4] для растекания наклонной сплошной струи по наклонной поверхности (рис. 2), запишем:

$$q_i^e = \frac{Q_0}{2\pi r} \cdot K_i^e, \quad (6)$$

$$q_i^s = \frac{Q_0}{2\pi r} \cdot K_i^s, \quad (7)$$

$$K_i^e = 1 + \left(\sin \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \cos \theta_i, \quad (8)$$

$$K_i^s = 1 + \left(\sin \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \cos (\theta_i + \pi), \quad (9)$$

где K_i^e и K_i^s — коэффициенты корректировки расхода частей единичной струи жидкости в видах растекания «источник» и «сток», соответственно.

В вышеупомянутой работе приводятся результаты экспериментальных исследований распределения расхода при растекании струи по наклонной поверхности и сделан вывод о том, что величина фактического коэффициента коррекции расхода при растекании струи жидкости по плоской поверхности отличается от теоретического значения на определенную величину, которая зависит от углов падения струи и наклона поверхности. Там же в результате обработки экспериментальных данных для определения фактического коэффициента коррекции расхода при растекании наклонной струи по наклонной поверхности предлагается следующая зависимость

$$K^f = 1 + \sin^m(\alpha + \beta) \cdot \cos \theta, \quad (10)$$

где $m = 0,6$ — постоянная, полученная путем обработки экспериментальных данных.

Тогда, на основе аналогии, для определения фактических коэффициентов коррекции расхода при растекании наклонной кольцевой струи по наклонной поверхности, можем написать:

$$K_i^{f-e} = 1 + \left(\sin^m \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \cos \theta_i, \quad (11)$$

$$K_i^{f-s} = 1 + \left(\sin^m \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \cos (\theta_i + \pi). \quad (12)$$

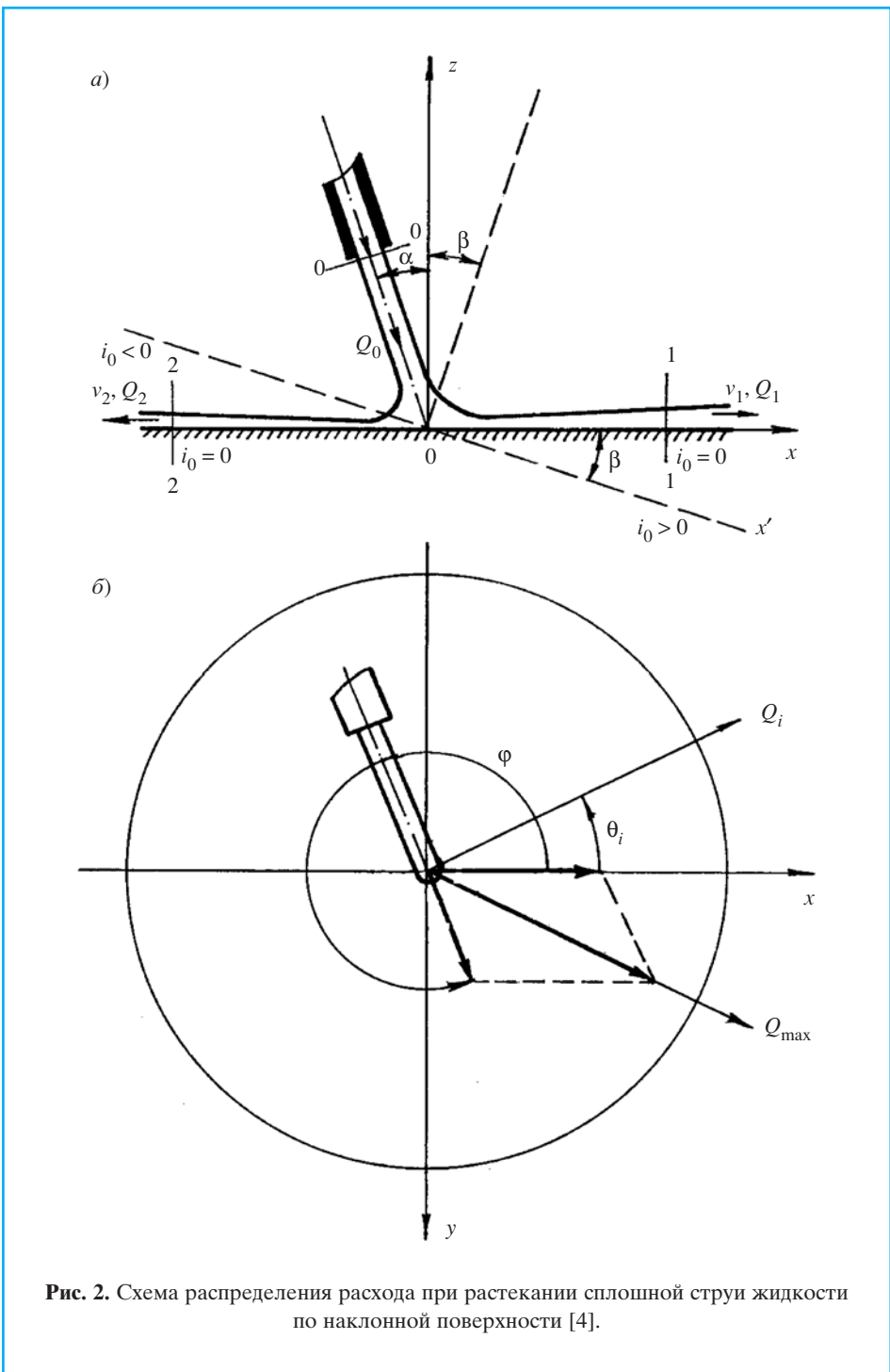


Рис. 2. Схема распределения расхода при растекании сплошной струи жидкости по наклонной поверхности [4].

Таблица 1. Влияние углов на величину коэффициента коррекции расхода

| α | | β | | φ | | Коэффициент коррекции |
|----------|----------|---------|----------|-----------|----------|-----------------------|
| Градус | Радииан | Градус | Радииан | Градус | Радииан | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 0,174533 | 15 | 0,261799 | 0 | 0 | 1,596443013 |
| 20 | 0,349066 | 30 | 0,523599 | 30 | 0,523599 | 1,839714385 |
| -10 | -0,17453 | 45 | 0,785398 | 60 | 1,047198 | 1,775857744 |
| -20 | -0,34907 | 60 | 1,047198 | 180 | 3,141593 | 1,990856757 |
| 0 | 0 | 90 | 1,570796 | 270 | 4,712389 | 2 |

Таблица 2. Изменение коэффициента коррекции расхода по направлениям (секторам)

| θ | | $\theta+\pi$ | | $\cos\theta$ | $\cos(\theta+\pi)$ | K^{f-s} | K^{f-e} |
|----------|----------|--------------|----------|--------------|--------------------|-------------|-------------|
| Градус | Радииан | Градус | Радииан | | | | |
| 0 | 0 | 180 | 3,141593 | 1 | -1 | 1,596443013 | 0,403556987 |
| 45 | 0,785398 | 225 | 3,926991 | 0,707107 | -0,70711 | 1,421748899 | 0,578251101 |
| 90 | 1,570796 | 270 | 4,712389 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 135 | 2,356194 | 315 | 5,497787 | -0,70711 | 0,707107 | 0,578251101 | 1,421748899 |
| 180 | 3,141593 | 360 | 6,283185 | -1 | 1 | 0,403556987 | 1,596443013 |
| 225 | 3,926991 | 45 | 0,785398 | -0,70711 | 0,707107 | 0,578251101 | 1,421748899 |
| 270 | 4,712389 | 90 | 1,570796 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 315 | 5,497787 | 135 | 2,356194 | 0,707107 | -0,70711 | 1,421748899 | 0,578251101 |
| 360 | 6,283185 | 180 | 3,141593 | 1 | -1 | 1,596443013 | 0,403556987 |

Результаты численных расчетов влияния углов падения струи α , наклона поверхности β и отклонения соударения струи от направления наклона поверхности φ , а также изменения коэффициента коррекции расхода по направлениям растекания кольцевой струи на поверхности приводятся в табл. 1 и 2.

На рис. 3 показаны графики (a — K^{f-s} , b — K^{f-e}) изменения коэффициентов коррекции расхода по секторам в видах течения, соответственно, «сток» и «источник», при $\alpha = -10^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $\varphi = 60^\circ$.

Нетрудно заметить довольно интересное явление — для рассмотренной схемы растекания при принятых допущениях расходы частей жидкости, истекающих как через края диска, так и внутреннее отверстие, будут равными, независимо от углов наклона поверхности и струи.

Таким образом, на основе вышеприведенных зависимостей можно легко рассчитать распределение расхода кольцевой струи по плоской поверхности.

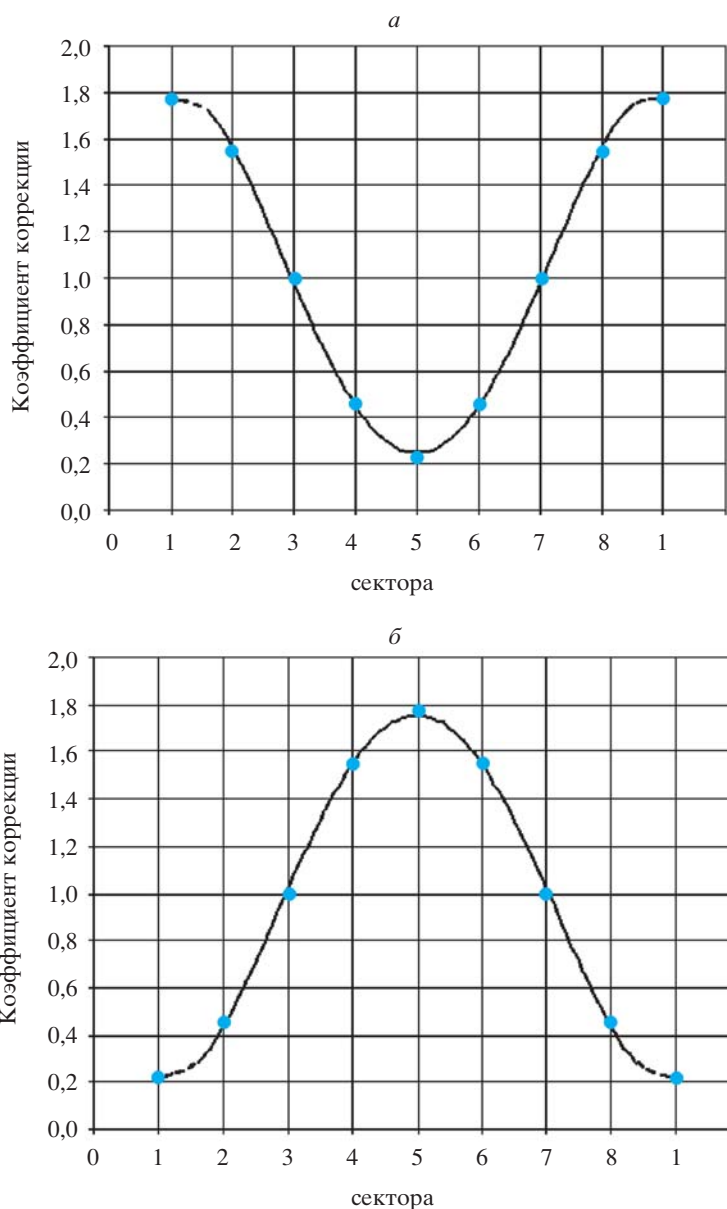


Рис. 3. Изменения коэффициента коррекции расхода (*a* — K^{f-s} , *б* — K^{f-e}) по секторам: $\alpha = -10^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $\varphi = 60^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shach W.* Umlenkung eines kreisförmigen Flüssigkeitsstrahles an einer ebenen Platte senkrecht zur Strömungsrichtung // *Ind. Arch.* 1935. № 1. P. 51—59.
2. *Watson E.J.* The radial spread of a liquid jet over a horizontal plane // *J. Fluid Mech.* 1964. V. 20. P. 481—499.
3. *Алексеев С.В., Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г.* Волновое течение пленки жидкости. Новосибирск: ВО «Наука», 1992. 256 с.
4. *Айгаскаев К.С.* Гидравлический расчет растекания струи жидкости // Совершенствование оросительных систем и методов мелиорации земель в Казахстане: сб. науч. трудов КазНИИВХ. Алматы: изд-во КАСХН, 1994.

Сведения об авторе:

Султан Курмет Султанович, к. т. н., докторант Института механики и машиностроения им. У.А. Джолдасбекова, Республика Казахстан, г. Алматы, kurmet_sultan@mail.ru.