



 <https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2022-2-8>

UDC: 632.421

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ В НАПОРНЫХ И БЕЗНАПОРНЫХ СИСТЕМАХ

Арифжанов Айбек Мухамеджанович¹,

доктор технических наук, профессор,

ORCID: 0000-0003-2599-4892, e-mail: obi-life@mail.ru;

Рахимов Кудратжон Тошботиринович¹,

доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент,

e-mail: irrigator-atakulov@mail.ru;

Рахимов Абдухалил Тошботиринович²,

старший преподаватель,

ORCID: 0000-0001-7881-2576, e-mail: sarkor.93@mail.ru

Национальный исследовательский университет

"Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства" ¹

Ташкентский государственный экономический университет²

Введение

По движению жидкостей в напорных системах выполнено много работ. В исследованиях А. Арифжанова, К. Рахимова и др. [1] рассматриваются теоретические основы движения жидкости в цилиндрическом трубопроводе, обосновывается влияние уклона трубопровода на расход жидкости. В другой работе этих же авторов [2] рассматривается вопрос, связанный с определением потерь напора в трубах. При этом авторы исследуют двухфазный поток. Также изучено влияние речных наносов на определение коэффициента гидравлического трения. В гидравлических расчетах при движении неоднородных жидкостей, в составе которых имеются механические элементы, в частности речные наносы, определение коэффициентов гидравлического трения является очень трудной задачей и в большинстве случаев носит эмпирический характер.

Вопросы, посвященные слиянию и разделению потоков, исследовались во многих работах. Слияние потоков – важный элемент любой дренажной сети. В работе

Аннотация. В инженерной практике часто возникают вопросы, связанные с соединением и разделением потоков, в стыковых местах которых наблюдаются вихревые зоны. В статье рассмотрена задача исследования движения жидкости в канале с одним отводом, кроме того, изучены научные работы, посвященные соединению и разделению потоков, рассматриваются напорное и безнапорное движение жидкости в русле, влияние конструктивных элементов системы на гидравлические параметры потока. В статье построены функции с использованием формул теории струй, описывающие основные параметры канала и отвода, которые позволили определить линии границ вихревой зоны, угол сужения и отвода при равномерном разделении потока. Результаты показывают, что для равномерного разделения потока вдоль канала и по боковому отводу необходимо принять $\alpha\pi \cong 30^\circ - 50^\circ$ при $\chi\pi \cong 0^\circ - 2^\circ$, при этом линия границы вихря очень близка к дуге окружности.

Ключевые слова: канал, жидкость, отвод, точечный вихрь, распределение, угол сужения, расход, ширина, скорость.

NAPORLI VA NAPORSIZ TIZIMLARDA OQIMNING AJRALISHI

Arifjanov Aybek Muxamedjanovich¹,
texnika fanlari doktori, professor;



Rahimov Qudratjon Toshbotirovich¹,
PhD, dotsent;

Rahimov Abduxalil Toshbotirovich²,
katta o'qituvchi

"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini
mexanizatsiyalash muhandislari instituti"
Milliy tadqiqot universiteti ¹

Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti ²

Annotatsiya. Muhandislik tajribasida o'zaro tushgan joylarida vixrli sohalar kuzatilishi mumkin bo'lgan, oqimlarning qo'shilishi va ajralishi bilan bog'liq masalalar tez-tez uchrab turadi. Maqolada suyuqlik harakatining kanallarda yon tarafga ajralish masalasi ko'rib chiqilgan, shuningdek, oqimlarning qo'shilishi va ajralishiga bag'ishlangan ilmiy ishlar, suyuqlikning o'zanlardagi naporli va naporsiz harakatlari tahlil qilingan, tizim konstruktiv parametrlarining oqim gidravlik elementlariga ta'siri o'rganilgan. Oqim nazariyasi formulalaridan foydalanib, kanal va oqim ajratgichning asosiy parametrlarini izohlovchi funksiyalar ishlab chiqilgan. Bu funksiyalar yordamida vixrli soha chegarasi chiziqlari va oqim bir tekis taqsimlanishi uchun zarur bo'lgan suyuqlik ayirgichning ulanish burchaklarini aniqlash mumkin. Natijalar shuni ko'rsatdiki, oqim asosiy kanal va ayirgichda bir tekis taqsimlanishi uchun ayirgichni burchak ostida ulash kerak, shunda vixr egri chizig'i aylana yoyiga juda yaqin bo'ladi.

Kalit so'zlar: naporli va naporsiz tizimlar, yondan oqim ayirgich, vixrli soha, vixrli soha geometriyasi, sarf, tezlik.

FEATURES OF LIQUID MOVEMENT IN A CHANNEL WITH ONE OUTLET

Aifzhanov Aibek Mukhamedzhanovich¹,
Doctor of Technical Sciences, Professor;

Rakhimov Kudratjon Toshbotirovich¹,
PhD, Associate Professor

Rakhimov Abdukhaliil Toshbotirovich²,
Senior Lecturer

National Research University
"Tashkent Institute of Irrigation and
Agricultural Mechanization Engineers" ¹

Tashkent State University of Economics ²

Abstract. In the engineering practice, we often face issues related to connection and separation of threads, at the joints of which one can observe vortex zones. The article reviews the problem of

Роедса [3] указано, что когда вода проходит через дренажную сеть, она вынуждена сходиться в местах слияния. В месте слияния каналов, по представлению Беста [4], из-за увеличения расхода воды и столкновения сходящихся потоков в непосредственной близости от стыка возникает сложное и активное турбулентное движение. Поэтому в этом месте образуются глубокие промывные ямы и точечные полосы, что приводит к изменению морфологии рек.

Виракун и Тамиа [5] для моделирования структуры потока на прямоугольном и трапецеидальном канале применили модель турбулентности с двумя уравнениями и использовали параболическую обработку. В этой работе авторы [6] использовали полностью эллиптическую схему при исследовании асимметричного слияния под углом 60°. Они обнаружили, что расчетная длина зоны рециркуляции в нижнем направлении была примерно на 30% меньше. Бредброок и другие [7, 8], используя теорию турбулентности, исследовали влияние соотношения скоростей, угла слияния, уровня асимметрии слияния и степени несоответствия на величину кривизны линии тока и степень топографического воздействия. В работах [9-12] на примере реки Каскаския были исследованы зоны уменьшения давления.

Бирон и др. [13] использовали трехмерную модель для изучения процессов смешения сразу после слияния основного потока, а также ниже по течению. Моделирование представлено путем лабораторного соединения и слияния полей для условий низкого и высокого расхода.

Хуанг и др. [14] подтвердили трехмерную модель, используя экспериментальные данные о потоке на стыке под углом 90°. Гобадиан [15] провел обширные исследования промывной ямы в месте слияния реки. Все его тесты проводились на стыке острых краев. Его результаты показали, что по мере увеличения числа Фруда ниже по течению коэффициент расхода в



угле слияния рек и глубина размыва также увеличивается. Кроме того, по мере увеличения коэффициента ширины канала или увеличения размера отложений глубина размыва уменьшалась. Боргей и Сахемари [16] изучили влияние угла между двумя каналами, расходом и соотношением ширины притока к нижним ответвлениям канала на максимальную глубину размыва. В работе [17] изучали структуру потока в сильно искривленных поворотах на 90° поворотах открытого канала. Их результаты показали, что поперечный уклон водной поверхности в изгибах не был линейным. Лю и др. [18] провели экспериментальное исследование структуры потока и переноса наносов при слиянии открытого канала под углом 90° с различным соотношением расхода притока к общему потоку. В работе приводится экспериментальное исследование местного размыва на изогнутом крае стыков открытого канала. Их результаты показали, что по мере увеличения радиуса кривизны максимальный локальный размыв значительно уменьшается, а местоположение максимальной глубины размыва смещается вниз по течению и к центру основного канала.

В исследовании Расул Гобадиян Махса Басири использовалась 3D-программа для расчета местных размывов и отложений при слиянии каналов 60° .

В работах Кай Бао Амгад Салама Шую Сунь численное исследование разветвления потока двухфазных несмешивающихся жидкостей в Y-образном планирующем канале проводится путем решения связанной системы Кана – Хиллиарда и Навье – Стокса методом конечных элементов. В этой системе горизонтальный канал разветвляется на две идентичные и симметричные ветви со стенками каналов, которым присвоено несколько различных значений смачиваемости.

В данной работе рассмотрена задача движения жидкости в канале с одним отводом, имеющем точечный вихрь в начале бокового канала у левой кромки.

fluid movement in a channel with one outlet, as well as it studies scientific pieces of work devoted to connection and separation of flows, the pressure and non-pressure movement of fluids in channels, the influence of structural elements of the system on the hydraulic parameters of the flow. The article presents functions formed using formulas of the theory of jets, describing the main parameters of the channel and outlet, which made it possible to determine the boundary lines of the vortex zone, the angle of constriction and outlet with a uniform flow distribution. The findings show that uniform distribution of the flow along the channel and along the side branch needs taking $\alpha\pi \cong 30^\circ - 50^\circ$ at, $\chi\pi \cong 0^\circ - 2^\circ$, in this case, the vortex boundary line is very close to the circular arc.

Keywords: channel, liquid, outlet, point vortex, distribution, constriction angle, consumption, width, speed.

Материалы и методы

В работе рассмотрено течение идеальной несжимаемой жидкости на горизонтальном канале с одним отводом, соединенным с основным трубопроводом под некоторым углом $0 < \alpha\pi \leq \frac{\pi}{2}$, при этом трубопровод со стороны верхней стенки сужается, имея определенную длину, угол сужения $0 < \chi\pi < \frac{\pi}{2}$ [20]. Поток разделяется на два рукава. Движение происходит вдоль канала и по боковому отводу при наличии точечного вихря. Вихревое движение происходит в начале бокового канала за счет левой острой кромки (рис. 1).

Наличие таких вихревых зон отрицательно влияет на пропускную способность канала. Цель исследования заключается в обеспечении равномерного распределения потока по отводу и вдоль канала.

Следовательно, необходимо [19, 20]:

- определить угол сужения основного канала и угла соединения бокового канала;

- определить геометрию зоны завихрения с последующей заменой границы их с хорошей обтекаемой твердой криволинейной стенкой выпуклой в сторону транзитной струи, тем самым в целом улучшить инженерно-технические и гидродинамические показатели в канале.





$$\int_{\gamma} \widehat{V} \cdot \frac{dw}{dt} dt = 0, \quad (11)$$

где γ – окружность малого радиуса с центром в точке $t = m = m_1 + m_2$. Интеграл вычисляется вычетом функции в точке $t = m$:

$$\text{выч}_{t \rightarrow m} f(t) = N_0 \cdot N_2 \cdot \lim_{t \rightarrow m} \frac{d}{dt} \left[(t-m)^2 \cdot \left(\frac{t-1}{t-e} \right)^{1-\alpha} \cdot \left(\frac{t+e_0}{t+f_0} \right) \cdot \frac{(t-f)^2 \cdot (t-c)^2 \cdot (t-1)}{(t-d) \cdot (t+1) \cdot (t-m)^2 \cdot (t-\bar{m})^2} \right].$$

Отсюда имеем:

$$\begin{cases} a_0(c_2a_1 - a_2b_2) - b_0(b_1c_2 - b_2c_1) = 0, \\ a_0(b_1c_2 - b_2c_1) + b_0(c_2a_1 - a_2b_2) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{или} \quad \left. \begin{aligned} a_0 &= b_0, \\ \{c_2a_1 &= a_2b_2, \\ b_1c_2 &= b_2c_1 \} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где: $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_0, c_1, c_2$ – коэффициенты, зависящие от параметров отображения.

Система уравнений имеет решение при условии:

Для построения функции, описывающей границу транзитной струи ВНС с вихревой зоной, выделим действительную и минимальную часть функции $\frac{dz}{dt}$.

Пользуясь (5) и $t = \xi + i\eta$, $dz = dx + idy$, $dt = d\xi + id\eta$, имеем:

$$\begin{aligned} dx + idy &= N_1 \left[\frac{(\xi - e) + i\eta}{(\xi + 1) + i\eta((\xi - d) + i\eta)} \right] \cdot \left[\frac{(\xi - 1) + i\eta}{(\xi - e) + i\eta} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{(\xi + f_0) + i\eta}{(\xi + e_0) + i\eta} \right]^x \\ &\cdot (d\xi + id\eta) = N_1 \left[\frac{(\xi - e)^2 + \eta^2}{((\xi + 1)(\xi - d) - \eta^2)^2 + (2\xi + 1 - d)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot e^{i(\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot \\ &\cdot \left[\frac{(\xi - 1)^2 + \eta^2}{(\xi - e)^2 + \eta^2} \right]^{\frac{\alpha}{2}} \cdot e^{i(\varphi_3 - \varphi_4)} \cdot \left[\frac{(\xi + f_0)^2 + \eta^2}{(\xi + e_0)^2 + \eta^2} \right]^{\frac{x}{2}} \cdot e^{i(\varphi_5 - \varphi_6)} (d\xi + id\eta) \quad (14) \end{aligned}$$

Анализ результатов исследования

Проводимые теоретические исследования показывают, что для решения постав-

ленной задачи достаточно определить форму контура ВН. Поэтому путем интегрирования (14) в $1 < \xi < \eta$ получим:

$$\begin{aligned} \widehat{X}(\xi) &= \widehat{N}_1 \int_1^\xi f_0(\xi_0, \eta) [\cos(\alpha, x, \xi_0, \eta) d\xi_0 - \sin(\alpha, x, \xi_0, \eta) d\eta] \\ \widehat{Y}(\xi) &= \widehat{N}_1 \int_1^\xi f_0(\xi_0, \eta) [\cos(\alpha, x, \xi_0, \eta) d\xi_0 + \sin(\alpha, x, \xi_0, \eta) d\eta] \end{aligned} \quad (15)$$

где:

$$\begin{aligned} f_0(\xi_0, \eta) &= \left[\frac{(\xi_0 - e)^2 + \eta^2}{((\xi_0 + 1)(\xi_0 - d) - \eta^2)^2 + (2\xi_0 + 1 - d)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{(\xi_0 - 1)^2 + \eta^2}{(\xi_0 - e)^2 + \eta^2} \right]^{\frac{\alpha}{2}} \cdot \left[\frac{(\xi_0 + f_0)^2 + \eta^2}{(\xi_0 + e_0)^2 + \eta^2} \right]^{\frac{x}{2}} \\ \cos(\alpha, x, \xi, \eta) &= \cos[\alpha(\varphi_3 - \varphi_4) + x(\varphi_5 - \varphi_6) + \varphi_1 - \varphi_2] \\ \sin(\alpha, x, \xi, \eta) &= \sin[\alpha(\varphi_3 - \varphi_4) + x(\varphi_5 - \varphi_6) + \varphi_1 - \varphi_2] \\ \varphi_1 &= \arctg \frac{\eta}{\xi - e}; \end{aligned}$$



$$\varphi_2 = \arctg \frac{2\xi + 1 - d}{(\xi + 1)(\xi - d) - \eta^2};$$

$$\varphi_3 = \arctg \frac{\eta}{\xi + 1},$$

$$\varphi_4 = \arctg \frac{\eta}{\xi - e},$$

$$\varphi_5 = \arctg \frac{\eta}{\xi + e_0}.$$

На основе графика на рисунке 2 для BN имеем:

$$\eta = \frac{n_2}{n_1 - 1} \xi - \frac{n_2}{n_1 - 1}, \quad d\eta = \frac{n_2}{n_1 - 1} d\xi.$$

С учетом всех этих обозначений по формуле (16) определим форму BN границы раздела вихревой зоны с основным потоком.

Пользуясь формулой (5) и вычитая значение функции $\frac{dz}{dt}$ в точке $t = d(D)$, найдем ширину бокового отвода:

$$\widehat{L}_D = f(e, d, a, \chi, e_0, f_0) \cdot e^{i\alpha\pi}.$$

Отсюда:

$$|\widehat{L}_D| = \left(\frac{e-d}{e+1} \right) \cdot \left[\frac{(d-1)(e+1)}{2(e-d)} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{(d+f_0)(e_0-1)}{(d+e_0)(f_0-1)} \right] = const. \quad (16)$$

Скорость в точке $t = \pm \infty (A_0)$ в конце канала определяется по формуле (6):

$$\widehat{V}_{A_0} = \frac{N_0}{N_1 V_0} = 1 \text{ при условии } \widehat{V}_{A_0} = 1. \quad (17)$$

Наибольшее отклонение линии раздела BNC от стенки BN от оси OX можно определить по формуле (15):

$$\widehat{X}(n_1) = \widehat{N}_1 \int_1^n f(\xi, \eta) [\cos(\alpha, x, \xi, \eta) d\xi - \sin(\alpha, x, \xi, \eta) d\eta], \quad (18)$$

при условии $\widehat{x}(1)=0$

Выводы

Численные расчеты показывают, что для равномерной раздачи потока вдоль канала и по боковому отводу необходимо принять $\alpha\pi \cong 30^\circ - 50^\circ$ при $\chi\pi \cong 0^\circ - 2^\circ$, при этом линия BN очень близка к дуге окружности. На рисунке 3 и 4 приведены графики изменения этой границы (сплошные линии) и сопоставлены с дугой окружности (пунктирные линии).

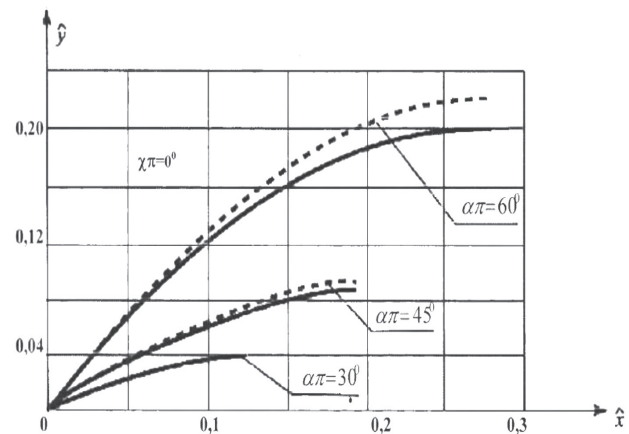


Рис. 3. График изменения линии BN от угла отвода

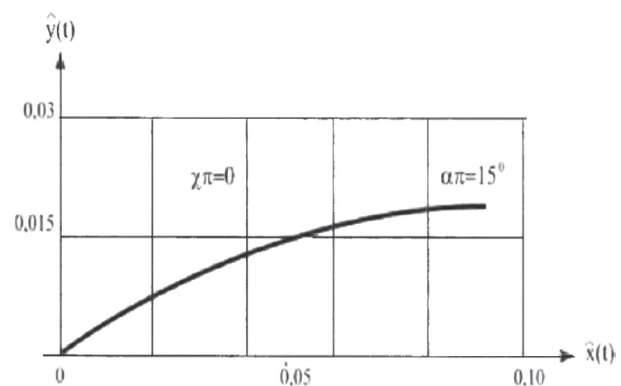


Рис. 4. График изменения линии BN от угла $\alpha\pi = 15^\circ$ и $\chi\pi = 0^\circ$

REFERENCES

1. Arifjanov A., Rakhimov K., Abduraimova D., Akmalov Sh. Transportation of river sediments in cylindrical pipeline. XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, no. 403, p. 012154. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/403/1/012154/>. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012154/.



2. Arifjanov A., Rakhimov Q., Samiev L., Abduraimova D., Apakhodjaeva T. Hydraulic friction coefficient at hydraulic mixing movement in pressure pipelines. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 2020, vol. 12, Special Issue, no. 7, pp. 1332-1336. Available at: https://www.researchgate.net/publication/343365900_Hydraulic_Friction_Coefficient_at_Hydraulic_Mixing_Movement_in_Pressure_Pipelines/. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, 07-Special Issue, 2020. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP7/20202233/.
3. Rhoads B.L. Scaling of confluences dynamics in river systems: some general considerations. *River Costal Estuarine Morphodyn*, 2005, pp. 379-387.
4. Best J.L. Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. *Recent Dev Fluvial Sedimentol*, 1987, no. 39, pp. 27-35.
5. Weerakoon S., Tamia N. Three – dimensional calculation of flow in river confluence using boundary fitted coordinates. *Hydrosci Hydraul Eng*, 1989, no. 7, pp. 51-62.
6. Weerakoon S.B., Kawahara Y., Tamia N. Three dimensional flow structure in channel confluences of rectangular section. *24th Int Assoc Hydro-Environ Eng Res*, 1991, pp. 373-380.
7. Bradbrook K.F., Biron P.M., Lane S.N., Richards K.S., Roy A.G. Investigation of controls on secondary circulation in a simple confluence geometry using a three-dimensional numerical model. *Hydrol. Process.*, 2000, no. 12 (8), pp. 1371-1396.
8. Bradbrook K.F., Lane S.N., Richards K.S., Biron P.M., Roy A.G. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2001, no. 127 (5), pp. 351-368.
9. Lane S.N., Bradbrook K.F., Richards K.S., Biron P.M., Roy A.G. Secondary circulation cells in river channel confluences: measurement artefacts or coherent flow structures. *Hydrol. Process.*, 2000, no. 14 (11-12), pp. 2047-2071.
10. Bradbrook K.F., Lane S.N., Richards K.S. Numerical simulation of three-dimensional, time-averaged flow structure at river channel confluences. *Water Resour. Res.*, 2000, no. 36 (9), pp. 2731-2746.
11. Rhoads B.L., Kenworthy S.T. Flow structure at an asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, 1995, no. 11 (4), pp. 273-293.
12. Rhoads B.L., Kenworthy S.T. Time-averaged flow structure in the central region of a stream confluence. *Earth Surf. Proc. Land.*, 1998, no. 23 (2), pp. 171-191.
13. Biron P.M., Ramamurthy A.S., Han S. Three-dimensional numerical modeling of mixing at river confluences. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, no. 130 (3), pp. 243-253.
14. Huang J., Weber L.J., Lai Y.G. Three-dimensional numerical study of flows in open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2002, no. 128 (3), pp. 268-280.
15. Ghobadian R. Investigation of flow, scouring and sedimentation at river-channel confluences. PhD thesis. Shahidchamran University Iran, 2007.
16. Borghei S.M., Sahebari A.J. Local scour at open-channel junctions. *Hydraul. Res.*, 2010, no. 48 (4), pp. 538-542.
17. Bahrami J.E., MandAkhtari A. Experimental study on flow structure in strongly curved open channel 90-degree bends. International symposium on water management and hydraulic engineering, 2009.
18. Liu T-h., Chen L., Fan B.I. Experimental study on flow pattern and sediment transportation at a 90 open-channel confluence. *Sedim Res*, 2012, no. 27 (2), pp. 178-187.
19. Arifjanov A., Samiev L., Ahmedkhodzhaeva I., Rakhimov Q., Sobirov S. Calculation of filtration process in channels E3S Web of Conferences, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202126302026/.
20. Arifjanov A., Rakhimov K., Abduraimova D., Babaev A., Melikuziev S. Hydrotransport of river sediments in hydroelevator. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering, 2020, p. 869. DOI: 10.1088/1757-899X/869/7/072003/.

Рецензент:

Хамдамов М.М., PhD., старший научный сотрудник лаборатории механики жидкости, газа и гидравлических систем, Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз.