

05.23.16 ГЕОЛОГИЯ, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Сопряжение двух равномерных потоков

УДК 532.5 : 004.942

Коханенко В.Н.

Д-р техн. наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: victorkohanenko@yandex.ru

Александрова М.С.

Аспирант кафедры «Общинженерные дисциплины», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: e_masha@mail.ru

Статья получена: 01.11.2020. Рассмотрена: 04.11.2020. Одобрена: 26.11.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

Аннотация. Авторами рассмотрена задача сопряжения двух двухмерных в плане бурных потенциальных равномерных потоков. Движение потока рассматривается в гладком горизонтально русле со сравнительно короткими по длине водотоками, когда силами сопротивления потоку можно пренебречь. Главным в задаче является определить наиболее рациональную форму боковых стенок сопряжения потоков.

Радиальное растекание бурного потока может быть одним из основных видов течений общего вида для сопряжения различных форм течения потока. Вначале поток переводится через простую волну расширения в радиальный, далее через простую волну сжатия он переводится в равномерный поток. Решение задачи при такой постановке позволило улучшить и обновить решение задач по сопряжению потоков.

Ключевые слова: сопряжения потоков, бурный двухмерный поток, гидродинамический напор, радиальный поток, равномерный поток, параметры потока.

Актуальность работы

В гидротехнической практике часто приходится встречаться с сопряжениями различных потоков [1; 2]. Одним из видов таких сопряжений является сопряжение двух равномерных потоков. В настоящей работе рассматривается в наиболее общем и модернизированном виде вариант сопряжения двухмерных в плане бурных потенциальных потоков и продолжают ранее проведенные исследования [3–9].

Целью работы является разработка принципиальной схемы расчѣта такого расширения

COUPLING OF TWO UNIFORM FLOWS

Kokhanenko V.N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of General Engineering Disciplines, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk;
e-mail: victorkohanenko@yandex.ru

Aleksandrova M.S.

Postgraduate Student, Department of General Engineering Disciplines, Platov South-Russian State Polytechnic University, Novochoerkassk; e-mail: e_masha@mail.ru

Manuscript received: 01.11.2020. **Revised:** 04.11.2020. **Accepted:** 26.11.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©RIOR

Abstract. The authors consider the problem of coupling two two-dimensional in terms of turbulent potential uniform flows.

The flow movement is considered in a smooth horizontal channel with relatively short length of watercourses, when the flow resistance forces can be ignored. The main task is to determine the most rational form of the side walls of the flow interface.

Radial spreading of a turbulent flow can be one of the main types of General flows for coupling various forms of flow. First, the flow is transferred through a simple expansion wave to a radial one, then through a simple compression wave it is transferred to a uniform flow. The solution of the problem with this formulation allowed us to improve and update the solution of problems on the coupling of flows.

Keywords: flow interfaces, turbulent two-dimensional flow, hydrodynamic head, radial flow, uniform flow, flow parameters.

потока и описание построений перевода одного потока в другой.

Формулировка задачи

Необходимо равномерный поток 1 с параметрами h_1, u_1, b_1 сопрячь с потоком 2 с параметрами h_2, u_2, b_2 . Дно русла полагаем горизонтальным и считаем, что

$$F_2 = \frac{u_2^2}{gh_2} > F_1 = \frac{u_1^2}{gh_1}, \quad (1)$$

т.е. кинетичность потока возрастает.

Считаем потоки двухмерными в плане, потенциальными. Это возможно при течении потоков в гладких руслах в сравнительно коротких по длине водотоках, когда силами сопротивления потоку можно пренебречь.

Необходимо определить наиболее рациональную форму боковых стенок сопряжения потоков.

Исходные зависимости для расчёта

Выражение для расхода равномерного потока имеет вид (канал прямоугольной формы):

$$Q = b \cdot h \cdot V. \quad (2)$$

Гидродинамический напор для двухмерных в плане потоков определяется по формуле [1; 2; 10; 11]:

$$H = \frac{u^2}{2g} + h. \quad (3)$$

Соответственно, переходя к параметру $\tau = \frac{u^2}{2gH}$,

получим зависимость: для первого потока — индекс 1; для второго — 2:

$$\begin{cases} Q_1 = b_1 H (1 - \tau_1) \cdot \sqrt{2gH} \cdot \tau_1^{1/2}; \\ Q_2 = b_2 H (1 - \tau_2) \cdot \sqrt{2gH} \cdot \tau_2^{1/2}; \\ h_1 = H (1 - \tau_1); u_1 = \sqrt{\tau_1} \cdot \sqrt{2gH}; \\ h_2 = H (1 - \tau_2); u_2 = \sqrt{\tau_2} \cdot \sqrt{2gH}, \end{cases} \quad (4)$$

при этом

$$\tau = \frac{F}{F+2}; F = \frac{2\tau}{1-\tau}.$$

Так как гидродинамический напор H не изменяется, то из (4) следует зависимость между потоками 1, 2:

$$b_1 \sqrt{\tau_1} \cdot (1 - \tau_1) = b_2 \sqrt{\tau_2} \cdot (1 - \tau_2). \quad (5)$$

Следовательно, задавшись параметром τ_2 , ширина второго потока b_2 фиксируется однозначно.

Можно задать глубину h_2 или скорость u_2 . Если задаём глубину h_2 , то из (4) определяется параметр τ_2 и далее u_2 и ширина b_2 . Если задать скорость потока u_2 , то определяем из (4) τ_2 и далее h_2 и b_2 из (5).

Так как радиальный поток (рис. 1) ускоряется, то его скорости возрастают $u = \tau^{1/2} \sqrt{2gH}$, приближаясь к

$$u_m = \sqrt{2gH}, \quad (6)$$

глубины уменьшаются

$$h = H(1 - \tau) \quad (7)$$

при увеличении τ .

Следовательно, в некоторой точке S_0 на оси симметрии потоков обязательно будет достигнут параметр τ_2 :

$$\tau_2 > \tau_1. \quad (8)$$

На рис. 1 пусть вначале осуществлен перевод равномерного потока в радиальный согласно модифицированному методу, описанному в работе [3], и далее осуществлен перевод радиального II в равномерный V.

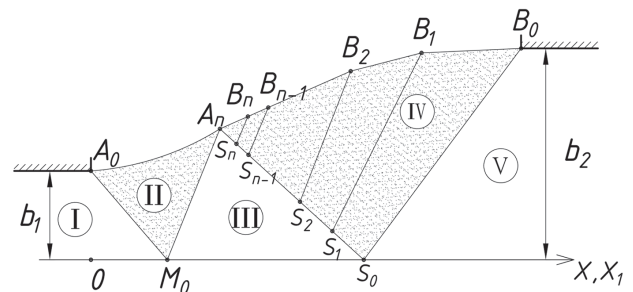


Рис. 1. Схема сопряжения двух равномерных потоков

I — равномерный поток с параметрами u_1 , h_1 , H , Q , b_1 ;

II — течение простая волна расширения;

III — радиальное растекание потока.

IV — течение простая волна сжатия;

V — равномерный поток с параметрами u_2 , h_2 , H , Q , b_2 .

Радиальное растекание бурного потока может быть одним из основных видов течений общего вида для сопряжения различных форм течения потока. Вначале поток I переводится через простую волну расширения в радиальный, далее через простую волну сжатия может быть переведен в равномерный поток V.

Это можно сделать в силу теоретического обоснования в [1].

Простые волны служат переходной формой от равномерного потока к неравномерному течению общего вида [1].

Радиальное растекание потока является одной из удобных форм течения общего вида, так как при удалении от центра источника растекания параметры h , u выравниваются по дугам одинакового радиуса (по эквипотенциалам) [3, 4].

Радиус r_{S_0} определяем из уравнения [4, 5]:

$$r_{S_0} = \frac{r_0 \tau_0^{1/2} (1 - \tau_0)}{\tau_2^{1/2} (1 - \tau_2)}. \quad (9)$$

Далее из точки S_0 проводим прямолинейную характеристику первого семейства $S_0 B_0$, которая отделяет равномерный поток V от неравномерного (простой волны сжатия IV, см. рис. 1) под углом

$$\alpha_{S_0} = \sin \frac{1}{\sqrt{F_2}} = \sin \sqrt{\frac{1 - \tau_2}{2\tau_2}}. \quad (10)$$

Из этой же точки S_0 проводим характеристику второго семейства до пересечения с лучами радиального расширения потока [4; 5] (на схеме не показаны «условно», чтобы не загромождать эту схему). В результате получим характеристику $S_0 S_n$ и в точках ее пересечения с лучами радиального течения потока определим параметр τ_{S_n} и угол

$$\alpha_{S_n} = \arcsin \sqrt{\frac{1 - \tau_{S_n}}{2\tau_{S_n}}}. \quad (11)$$

Из точек S_n проводим прямолинейные характеристики $S_n B_n$.

Направление стенок $B_n - B_{n-1}$ и т.д. определяют направлением лучей OS_n , OS_{n-1} и т.д.

Выводы

1. Предложенная теоретически модель сопряжения двух равномерных бурных потенциальных потоков является однозначным предписанием для выбора боковых сопрягающих стенок.
2. Детальные алгоритмы и рабочие программы будут приведены далее в последующих изданиях.
3. В связи с развитием вычислительной техники, пакетов прикладных программ и развитием общей теории течения двумерных в плане потенциальных потоков [3–5; 11] появилась возможность вновь пересмотреть наработки в [1; 2; 10], улучшить и обновить решение задач по сопряжению потоков.

Литература

1. Емцев Б.Т. Двухмерные бурные потоки [Текст] / Б.Т. Емцев. — М.: Энергоиздат, 1967. — 212 с.
2. Справочник по гидравлике [Текст] / под ред. В.А. Большакова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Выща школа, 1984. — 343 с.
3. Коханенко В.Н. Моделирование бурных двумерных в плане водных потоков [Текст]: монография / В.Н. Коханенко, Я.В. Волосухин, М.А. Лемешко, Н.Г. Папченко; под общей ред. В.Н. Коханенко. — Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. — 180 с.
4. Александрова М.С. Метод аналогий между гидравликой двумерных в плане водных потоков и газовой динамикой [Текст] / М.С. Александрова // Строительство и архитектура. — 2020. — Т. 8. — Вып. 2. — С. 49–52. — DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-2-49-52.
5. Коханенко В.Н. Двухмерный в плане вихреисточник [Текст] / В.Н. Коханенко, О.А. Бурцева, М.С. Александрова // Строительство и архитектура. — 2020. — Т. 8. — Вып. 2. — С. 44–48. — DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-2-44-48.
6. Коханенко В.Н. Алгоритм сопряжения двумерных в плане равномерного и радиального потоков [Текст] / В.Н. Коханенко, М.С. Александрова // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2020. — № 3. — С. 18–21. — DOI 10.17213/1560-3644-2020-3-18-21.
7. Александрова М.С. Схема использования простых волн при свободном растекании потока [Текст] / М.С. Александрова // Студенческая научная весна — 2020: матер. региональной науч.-техн. конф. студ., аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области, г. Новочеркасск,

- 13–14 мая 2020 г., Юж.-Росс. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ (НПИ), 2020. — С. 7.
8. *Александрова М.С.* Простые волны в теории двумерных в плане водных потоков и схема их использования для свободного растекания потока [Текст] / М.С. Александрова // *Строительство и архитектура*. — 2020. — Т. 8. — Вып. 3. — С. 49–52. — DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-3-49-52.
 9. *Коханенко В.Н.* Метод решения задачи свободного растекания бурного потенциального потока за безнапорной трубой [Текст] / В.Н. Коханенко, М.С. Александрова // *Строительство и архитектура*. — 2020. — Т. 8. — Вып. 3. — С. 44–48. — DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-3-44-48.
 10. *Высоцкий Л.И.* Гидравлический расчет рассеивающих трамплинов методом продольных аппроксимаций [Текст] / Л.И. Высоцкий. — МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1960.
 11. *Коханенко В.Н.* Моделирование одномерных и двумерных открытых водных потоков [Текст]: монография / В.Н. Коханенко, Я.В. Волосухин, В.В. Ширяев, Н.В. Коханенко; под общ. ред. В.Н. Коханенко. — Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2007. — 168 с

References

1. Emcev V.T. *Dvuhmernye burnye potoki* [Two-dimensional stormy streams]. Moscow: Jenergoizdat Publ., 1967. 212 p.
2. *Spravochnik po gidravlike* [Handbook on hydraulics]. Kiev: Vyshha shkola Publ., 1984. 343 p.
3. Kohanenko V.N. *Modelirovanie burnyh dvuhmernih v plane vodnyh potokov* [Modeling of turbulent two-dimensional in terms of water flows]. Rostov on Don: JuFU Publ., 2013. 180 p.
4. Aleksandrova M.S. Metod analogij mezhdru gidravlikoj dvuhmernih v plane vodnyh potokov i gazovoj dinamikoj [Method of analogies between hydraulics of two-dimensional in terms of water flows and gas dynamics]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Building and architecture]. 2020, V. 8, I. 2, pp. 49–52. DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-2-49-52.
5. Kohanenko V.N., Burceva O.A., Aleksandrova M.S. Dvuhmernyj v plane vihreistochnik [Two-dimensional vortex source in plan]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Building and architecture]. 2020, V. 8, I. 2, pp. 44–48. DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-2-44-48.
6. Kohanenko V.N., Aleksandrova M.S. Algoritm sopryazhenija dvuhmernih v plane ravnomernogo i radial'nogo potokov [Algorithm for conjugation of two-dimensional in terms of uniform and radial flows]. *Izvestija VUZov Severo-Kavkazskij region. Tehniceskie nauki* [Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Technical sciences]. 2020, I. 3, pp. 18–21. DOI 10.17213/1560-3644-2020-3-18-21.
7. Aleksandrova M.S. Shema ispol'zovanija prostyh voln pri svobodnom rastekanii potoka [Scheme of using simple waves with free flowing flow]. *Studencheskaja nauchnaja vesna — 2020: mater. Regional'noj nauch.-tehn. konf. stud., aspirantov i molodyh uchenyh vuzov Rostovskoj oblasti, g. Novochemkassk, 13–14 maja 2020 g., Juzh.-Ross. gos. politehn. un-t (NPI) imeni M.I. Platova* [Student scientific spring — 2020: mater. Regional scientific and technical conf. students, graduate students and young scientists of universities of the Rostov region, Novochemkassk, May 13–14, 2020, Yuzh.-Ross. state polytechnic un-t (NPI) named after M.I. Platova]. Novochemkassk: JuRGPU (NPI) Publ., 2020, p. 7.
8. Aleksandrova M.S. Prostyje volny v teorii dvuhmernih v plane vodnyh potokov i shema ih ispol'zovanija dlja svobodnogo rastekaniya potoka [Simple waves in the theory of two-dimensional in terms of water flows and the scheme of their use for free spreading of the flow]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Building and architecture]. 2020, V. 8, I. 3, pp. 49–52. DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-3-49-52.
9. Kohanenko V.N., Aleksandrova M.S. Metod reshenija zadachi svobodnogo rastekaniya burnogo potencial'nogo potoka za beznapornoj truboj [A method for solving the problem of free spreading of a violent potential flow behind a free-flow pipe]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Building and architecture]. 2020, V. 8, I. 3, pp. 44–48. DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-3-44-48.
10. Vysockij L.I. *Gidravlicheskij raschet rasseivajushhih tramplinov metodom prodol'nyh approksimacij* [Hydraulic calculation of scattering trampolines by the method of longitudinal approximations]. MISI im. V.V. Kujbysheva Publ., 1960.
11. Kohanenko V.N. *Modelirovanie odnomernih i dvuhmernih otkrytyh vodnyh potokov* [Modeling of one-dimensional and two-dimensional open water flows]. Rostov on Don: JuFU Publ., 2007. 168 p.