

Расчёт водного потока распределённого по рукавам в многорукавных участках рек

А.В. Ботвинков, Н.В. Голышев

Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск

Аннотация: Рассматриваются текущие проблемы расчёта распределения расходов воды по рукавам, в многорукавных участках рек, выявляются проблемы текущих методов расчёта, предлагается новый метод расчёта, производится анализ эффективности предложенного метода, предлагается способ оптимизации моделирования расчётов, приводятся результаты

Ключевые слова: Распределение водного потока, многорукавные участки рек, расход воды, система нелинейных уравнений.

При проектировании путевых работ по обеспечению безопасных условий плавания на многорукавных участках рек, необходимо решать задачи по определению расходов воды в каждом из рукавов анализируемого участка, как в бытовом, так и в проектном состояниях [1-2].

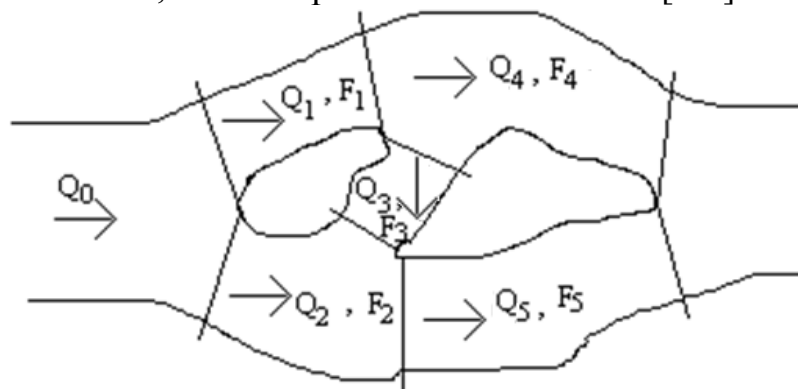


Рис. 1. - Типовой участок реки

Типовой участок реки, представленный на рис. 1, имеет одну переток (поперечный рукав, в данном случае третий участок). Известными характеристиками для расчёта участка являются общий расход воды и модули сопротивления русла на каждом из рукавов [3-4].

При решении этой задачи составляется исходная система уравнений, корректность которой зависит от истинности выбора направления:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 - Q_0 = 0 \\ Q_1^2 \cdot F_1 + Q_3^2 \cdot F_3 - Q_2^2 \cdot F_2 = 0 \\ Q_1^2 \cdot F_1 + (Q_1 - Q_3)^2 \cdot F_4 - Q_2^2 \cdot F_2 - (Q_2 + Q_3)^2 \cdot F_5 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Существующие методы, используемые при решении системы (1), пригодны для работы при известных направлениях течения, в отдельных поперечных рукавах называемых перетоками. При этом возможности моделирования для поиска оптимального решения значительно ограничены проблемами однозначного установления направления течения в перетоках [5].

Корни системы уравнений (1) должны удовлетворять следующим ограничениям: корни должны быть положительными и удовлетворять принципу неусилительности $|Q_n| \leq |Q_0|$ [6].

Таблица № 1

Решение системы уравнений в программной среде MathCad:

	Q_1	Q_2	Q_3
1	71.713	128.287	48.113
2	60.656	139.344	96.431
3	-178.148	378.148	-236.051
4	-240.321	440.321	-187.239

Все корни системы являются математически верными, два варианта из них отпадают исходя из ограничений, но два варианта корней полностью удовлетворяют им. Найденные корни не соответствуют принципу единственности решения распределения расходов воды [7].

Для анализа причин требуется проанализировать уравнения, которые стоят в основе используемого метода.

$$P = Q \cdot \Delta z = Q^3 \cdot F \quad (2)$$

Из уравнения (2) определения мощности [8] следует, что расход воды также должен быть всегда положителен, так как мощность на каждом участке реки всегда строго положительна, то есть при правильном выборе

направления течения. При изменении русловых условий направление течения в отдельных перетоках может изменяться, как следствие требуется рассчитать все возможные варианты направлений течения: решить 2^n различных систем уравнений, где n – количество переток. Такая ситуация существенно ограничивает возможности моделирования путевых работ для поиска оптимального решения.

Разрабатываемый метод основан на исправлении некорректности уравнения неравномерного движения жидкости.

Уравнение Шези неравномерного движения жидкости:

$$\Delta z = Q^2 \cdot F \quad Q = \pm \sqrt{\frac{\Delta z}{F}}$$
$$P = Q \cdot \Delta z = Q^3 \cdot F$$

Рисунок 2а

Изменённое уравнение Шези неравномерного движения жидкости:

$$\Delta z = Q \cdot |Q| \cdot F \quad Q = \frac{\Delta z}{\sqrt{|\Delta z|} \cdot F}$$
$$P = Q \cdot \Delta z = |Q^3| \cdot F$$

Рисунок 2б

На рис. 2а формулы существующего метода, на рис. 2б предлагаемые доработанные формулы.

Разница между ними продемонстрирована на рис. 3. Как видно из уравнений в независимости от выбранного направления течения реки, то есть и с положительным и с отрицательным значением расхода воды, перепад уровней Δz будет соответствовать его знаку, в то же время мощность продолжает оставаться положительной при любом значении расхода воды.

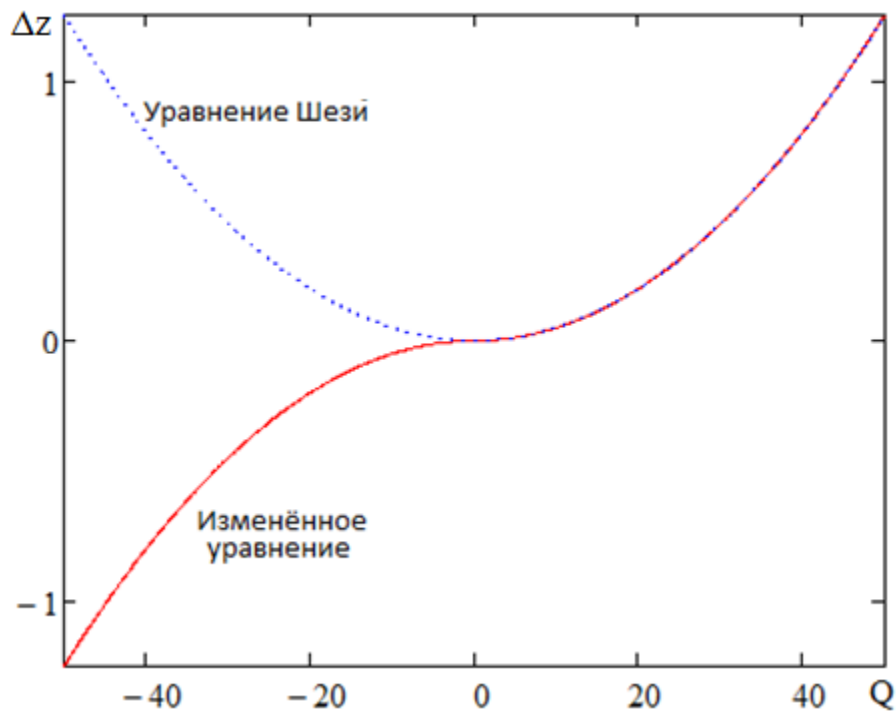


Рис. 3. - Разница между уравнениями

Для расчёта уравнений, основанных на предложенном методе с помощью компьютера проведён анализ первой и второй производной полученных формул на предмет разрыва в определённых точках. В случае разрыва математические пакеты могут остановить вычисления в связи со стремящейся к бесконечности производной и, как следствие, переполнения разрядной сетки [9].

Откорректированная система уравнений для расчёта в MathCad:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 - Q_0 = 0 \\ Q_1 \cdot |Q_1| \cdot F_1 + Q_3 \cdot |Q_3| \cdot F_3 - Q_2 \cdot |Q_2| \cdot F_2 = 0 \\ Q_1 \cdot |Q_1| \cdot F_1 + (Q_1 - Q_3) \cdot |(Q_1 - Q_3)| \cdot F_4 - Q_2 \cdot |Q_2| \cdot F_2 - (Q_2 + Q_3) \cdot |(Q_2 + Q_3)| \cdot F_5 = 0 \end{cases}$$

Таблица № 2

Результаты моделирования с помощью MathCad:

Q_0	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
200	71.713	128.287	48.114	23.599	176.401

Для моделирования в MicroCap используется метод, основанный на аналогии между уравнениями гидравлики и электротехники [10]:

Таблица № 3

Результаты моделирования с помощью MicroCap:

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
Q_0	$I(R_1)$	$I(R_2)$	$I(R_3)$	$I(R_4)$	$I(R_5)$
0	0	0	0	0	0
50	17.926	32.074	12.030	5.896	44.104
100	35.855	64.145	24.058	11.796	88.204
150	53.782	96.218	36.087	17.696	132.304
200	71.712	128.288	48.115	23.596	176.404

Таким образом, разработанный метод позволяет найти единственное и обоснованное решение, позволяет работать с произвольным количеством переток, не зависит от правильности выбора направления, погрешность вычислений не превышает допустимую величину в 5% [11].

Литература

1. Зернов С.Я. Внутренние водные пути Северо-Восточного региона: Проектирование, строительство, эксплуатация. – Новосибирск: Наука, 2003. С. 71-73.
2. Dobrovolska O. Development of procedure to control flow distribution in water supply networks in real time // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2018. С. 17-24.
3. Гришанин Н.В., Дегтерев В.В., Селезнев В.М. Водные пути: учебник для вызов. – М.:Транспорт, 1986. С. 87-90.
4. Aleshkin S.A., Kornilov M.V. Mathematical modeling of water flow distribution over the deltaic channels – 2001. – URL: researchgate.net/publication/293739847_Mathematical_modeling_of_water_flow_distribution_over_the_deltaic_channels.

5. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы учебник. –М.: МГУ, 1986. С. 162-164.

6. Гришанин Н.В., Дегтерев В.В., Селезнев В.М. Водные пути: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1986. С. 20-21.

7. Жук А.Ю. Улучшения судоходных условий на многорукавных участках рек возведением регуляционных сооружений [на примере Обь-Иртышского бассейна] Новосибирск: ин-т инженеров вод. трансп. // Тр. - 1983. - вып. 169. Путевые и изыскательские работы на реках Сибири. С. 9-17

8. Чалов Р.С. Русловедение: Теория, гидрография, практика Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М.: ЛКИ, 2008. 608 с.

9. Голышев Н.В., Лапай А.Ю., Ботвинков А.В. Методы анализа распределения потоков на сложных участках рек // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2012. № 1. С. 199-203

10. Голышев Н.В., Моторин С.В., Ботвинков А.В. Анализ диссипативных систем методом нелинейного программирования // Актуальные проблемы электронного приборостроения: АПЭП -2012: тр. XI Междунар. науч.-техн. конф. –Новосибирск, 2012. –Т.5. С. 125-128

11. Ботвинков А.В. Регулирование гидравлического решения на многорукавных участках рек. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. -2013 №1. С. 130-131.

References

1. Zernov S.Ja. Vnutrennie vodnye puti Severo-Vostochnogo regiona [Internal waterways of the northeast region]: Proektirovanie, stroitel'stvo, jekspluatacija. Novosibirsk: Nauka, 2003, pp. 71-73.

2. Dobrovolska O. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2018, pp. 17-24.

3. Grishanin N.V., Degterev V.V., Seleznev V.M., Vodnye puti: uchebnik dlja vyzov [Waterways: textbook for universities]. M.: Transport, 1986, pp. 87-90.

4. Aleshkin S.A., Kornilov M.V. Mathematical modeling of water flow distribution over the deltaic channels 2001. URL:



researchgate.net/publication/293739847_Mathematical_modeling_of_water_flow_distribution_over_the_deltaic_channels.

5. Makkaveev N.I., Chalov R.S. Ruslovyje processy uchebnik [Channel processes tutorial]. M., MGU, 1986, pp. 162-164.

6. Grishanin N.V., Degterev V.V., Seleznev V.M. Vodnye puti: uchebnik dlja vyzov. [Waterways: textbook for universities]. M.: Transport, 1986, pp. 20-21.

7. Zhuk A.Ju. Uluchshenija sudohodnyh uslovij na mnogorukavnyh uchastkah rek vozvedeniem reguljacionnyh sooruzhenij[improve the navigability on the branched sections of rivers by building regulatory facilities]. Novosibirsk: in-t inzhenerov vod. transp. Tr. 1983. vyp. 169, pp. 9-17.

8. Chalov R.S. Ruslovedenie: Teorija, gerografija, praktika T.1 [River science: Theory, Gerography, Practice T.1]. M.: LKI, 2008. 608 p.

9. Golyshev N.V., Lapaj A.Ju., Botvinkov A.V. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2012. № 1. pp. 199-203.

10. Golyshev N.V., Motorin S.V., Botvinkov, A.V. Aktual'nye problemy jelektronogo priborostroenija: APJeP 2012: tr. XI Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Novosibirsk, 2012. T.5. pp. 125-128.

11. Botvinkov A.V. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013 №1. pp. 130-131.