

О СТАТЬЕ «ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РЕЧНОГО ПОТОКА»

В.М. Католиков

Государственный гидрологический институт, v.katolikov@mail.ru

Обсуждаются закономерности сопряжения гидравлических переменных состояния речного потока и полученная новая формула транспортирующей способности потока, представленные в статье М.В. Шмаковой, С.А. Кондратьева «Транспортирующая способность речного потока». Авторами вводятся новые понятия «фазовое гидравлическое пространство» и «транспортирующий потенциал потока». Однако использованная при этом авторами функция является чисто алгебраической и не соответствует объективным законам гидравлики, а использование ее в качестве гидравлического закона равномерного установившегося движения жидкости нарушает и даже отвергает элементарные гидравлические законы, приводя к парадоксальным выводам.

Ключевые слова: гидравлические характеристики потока, скорость потока, расход наносов, гидравлический режим.

ABOUT ARTICLE “TRANSPORTING CAPACITY OF THE RIVER FLOW”

V.M. Katolikov

State Hydrological Institute

The regularities of conjugation of hydraulic variables of the state of the river flow and the obtained new formula for the transporting ability of the stream are presented in the article by M.V. Shmakova, S.A. Kondratiev "The transporting ability of the river flow" The authors introduce new concepts of "phase hydraulic space" and "transporting flow potential". But the function used by the authors is purely algebraic and does not correspond to the objective laws of hydraulics, and its use as a hydraulic law of uniform steady motion of a liquid violates, even rejects elementary hydraulic laws, and leads to paradoxical conclusions.

Keywords: hydraulic flow characteristics, flow rate, sediment flow rate, hydraulic mode.

По структуре статья М.В. Шмаковой и С.А. Кондратьева содержит следующие разделы: Введение; Формулы транспортирующей способности потока; Вывод формулы транспортирующей способности потока; Объекты моделирования; Примеры фазового гидравлического пространства; Расчеты. Качественная оценка; Количественная оценка; Выводы; Список литературы. Безусловно, подобная структура научной статьи допустима, но она очень отличается от общепринятой и рекомендуемой обычно редакциями научных журналов.

Ключевой идеей статьи является понятие «транспортирующая способность потока», однако уже в приведенном авторами определении данного понятия допущена весьма существенная и принципиальная с гидравлической точки зрения ошибка. Авторами статьи дается следующее определение: «Транспортирующая способность потока — это максимальный расход наносов, который может перенести поток при фиксированном расходе воды». В то же время в Гидрологическом словаре А.И. Чеботарева [1] это определение звучит следующим образом:

«Транспортирующая способность потока — это предельный расход наносов, который способен транспортировать поток при заданных гидравлических характеристиках потока: уклоне, скорости, глубине». И К.В. Гришанин во всех своих монографиях (см., например, [2]) указывает на то, что транспортирующая способность потока — это предельный расход наносов при заданных *гидравлических характеристиках потока (скорости и глубине)*, а не при заданном *расходе воды*.

Принципиальность этой подмены заключается в том, что в последующем автор использует ее для введения еще одного ключевого понятия: «фазовое гидравлическое пространство», означающего различные сочетания скорости потока и его глубины при постоянном расходе воды и, если следовать авторской трактовке термина «транспортирующая способность», при постоянном предельном расходе наносов. Таким образом, с точки зрения авторов один и тот же предельный расход наносов возможен при различных сочетаниях глубины и скорости, в то время как классическая трактовка термина «транспортирующая способность потока» этого не допускает.

Другим ключевым и новым, вводимым авторами в данной статье, понятием является понятие «фазовое гидравлическое пространство». Используя гидротрическую формулу расчета удельного расхода воды $q = v/h$, авторы строят гиперболический график, соответствующий этой формуле при условии, что $q = \text{const}$, и в поле этого графика устанавливают границы фазового гидравлического пространства. При этом авторы принимают, что «при $G = 0$ поток будет осветленным и его скорость будет минимальной, а глубина возрастет. При $G = G_{\text{max}}$ скорость возрастет, а глубина потока уменьшится (где G — расход наносов)», что и определяет границы фазового пространства на рис. 1. Очевидно, что область осветленного потока будет характеризоваться максимальной неразрывающей скоростью, тогда как область максимальной взвесенесущей нагрузки на поток — минимальной заиляющей скоростью. При этом из рис. 1 следует парадоксальный вывод о том, что при гиперболическом *возрастании* скорости потока выше «минимальной заиляющей» начнется процесс осаждения наносов, т. е. процесс заиления русла.

Здесь же авторы вводят и новое понятие ««транспортирующий потенциал потока», который представляет собой массу твердого вещества, переносимого за единицу времени через поперечное сечение потока при постоянном расходе воды, определяющую соотношение скорости и глубины потока». Из этого определения следует второй парадоксальный вывод о том, что фактический расход наносов (его авторы зачем-то и называют новым термином «транспортирующий потенциал потока») в равномерном установившемся потоке определяет соотношение скорости и глубины потока в пределах «фазового гидравлического пространства». При этом «транспортирующий потенциал потока меньше или равен транспортирующей способности потока (при постоянном расходе воды)».

Из приведенных выше утверждений следует, что авторы относятся к графику на рис. 1 как к объективному закону соотношения скорости потока и его глубины в зависимости от расхода наносов. В этой связи необходимо сказать следующее.

Каждый автор имеет право на различные манипуляции с математическими выражениями, но только до тех пор, пока этим выражениям не начинают придавать смысл математической записи объективного закона природы, в данном случае закона равномерного установившегося движения жидкости. А авторы данной статьи именно так и поступают, поскольку с их точки зрения «фазовое гидравлическое пространство» — это пространство реальных объективных соотношений скорости потока и его глубины в зависимости от расхода наносов. Однако они при этом забывают, что классическое уравнение равномерного установившегося движения жидкости называется уравнением Шези и имеет следующий вид:

$$v = C\sqrt{hI}.$$

Если придать этому уравнению иной вид:

$$v^2 = (C^2 I)h,$$

то мы увидим, что в соответствии с законом равномерного установившегося движения жидкости соотношение между скоростью потока и глубиной является квадратичным и прямо пропорциональным и определяется не расходом наносов, а коэффициентом гидравлических сопротивлений, т. е. коэффициентом C , получившим в гидравлике название «коэффициент Шези». При этом графическим выражением этой зависимости является не гипербола, а парабола, а минимальному значению скорости совсем не обязательно соответствует максимальное значение глубины потока, а скорее, даже наоборот.

Из всего сказанного следует, что использованная авторами для введения понятия «фазовое гидравлическое пространство» функция $q = vh$ является чисто алгебраической и не соответствующей объективным законам гидравлики, а использование ее в качестве гидравлического закона, описывающего равномерное установившееся движение жидкости, нарушающее и даже отвергающее элементарные гидравлические законы, приводит к парадоксальным выводам. В этой связи понятие «фазовое гидравлическое пространство», так же как и крайние точки полученной функции, не имеет физического (гидравлического) объективного смысла.

Ознакомление с методом выведения формулы транспортирующей способности потока тоже вызывает много вопросов.

Аналитической формулой общего расхода наносов, положенной авторами в основу вывода формулы транспортирующей способности потока, является формула (4):

$$G = \frac{\rho_{\text{гп}}}{\rho_{\text{гп}} - \rho_{\text{в}}} Q \left[\frac{c}{hg} - (1-f)\rho_{\text{в}} I \right],$$

где c — сцепление частиц грунта при сдвиге (кг/(м·с²)).

Эта формула, которая, по мнению авторов, является следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества и построена на основании сил, действующих в системе водный поток — донные отложения — наносы, неоднократно критиковалась в научных дискуссиях. Однако поскольку целью данной

статьи не является обоснование правомерности предложенной формулы, то мы оставляем этот вопрос за пределами настоящего рассмотрения — каждый автор вправе использовать выведенную им и опубликованную ранее формулу.

В данной статье авторы утверждают, что «расход наносов G и глубина в формуле (4) взаимосвязаны между собой, то есть потоку при фиксированном расходе воды и уклоне соответствует именно та глубина, которая определяется текущей взвесенесущей нагрузкой потока. Таким образом, при увеличении расхода наносов скорость потока увеличится, а глубина уменьшится».

Хотелось бы обратить внимание на то, что из формулы (4) совершенно не следует сделанный авторами вывод. В формуле (4) глубина является аргументом, а не функцией, т. е. независимой от функции переменной, а расход наносов — функцией, т. е. величиной, зависящей от аргумента (глубины потока). Авторы же в своем утверждении поменяли местами аргумент и функцию и сделали ошибочный, но далеко идущий вывод.

Кроме того, следует обратить внимание авторов на то, что в формуле (4), кроме глубины, есть еще один аргумент — расход воды, который можно представить в виде $Q = bvh$. Тогда при умножении всего математического комплекса, стоящего в скобках, на произведение bvh значение глубины, стоящее в знаменателе, сократится и обратно пропорциональная зависимость G от h станет прямо пропорциональной.

При такой записи формулы (4), предложенной авторами, даже поменяв местами функцию и аргумент, нельзя сделать вывод о том, что «при увеличении расхода наносов скорость потока увеличится, а глубина уменьшится». Тем не менее авторы делают этот вывод не на основании логических заключений, проистекающих из написанной ими же самими формулы, а исходя из своих мировоззренческих убеждений, заключающихся в том, что «...наличие в потоке твердого вещества значительно уменьшает пульсации скорости, течение становится относительно упорядоченным. Тогда как при прочих равных условиях осветленный поток, располагая большой размывающей способностью русла, имеет более турбулентный режим движения».

Иными словами, по утверждению авторов, количество переносимых потоком наносов, влияя на вязкость жидкости и кинематические характеристики потока, определяет тем самым транспортирующую способность потока и соотношение скорости потока и его глубины при постоянном расходе воды.

При этом авторы, безусловно, опираются на выводы Г.И. Баренблатта, приведенные в монографии К.В. Гришанина «Динамика русловых потоков» [2]: «Как показал Г.И. Баренблатт, работа взвешивания отнимает энергию от турбулентных пульсаций, т. е. снижает интенсивность турбулентного перемешивания. Следствием этого является неравномерность распределения осредненных скоростей на вертикали. Поток как бы ламинизируется». Однако при этом авторы не принимают во внимание следующие слова того же автора: «Формула (18.30) дает количественную оценку снижения уровня турбулентности во взвесенесущем потоке. Это снижение принимает наибольшее значение при взвешивании крупных частиц, а также при больших насыщениях потоков твердой примесью (какие практически

встречаются при гидротранспорте). Для потоков, где содержание взвешенных частиц мало и частицы имеют малую крупность, а таково подавляющее большинство равнинных речных потоков, присутствие твердых частиц не влияет заметным образом на турбулентные пульсации» [1, с. 241].

Иными словами, в данной статье речь идет о явлениях, имеющих отношение к гидравлическим режимам и механизму движения наносов в водном потоке при гидротранспорте и при движении потоков с гиперконцентрациями взвешенных наносов (сели, например), но никак не к речным потокам.

Именно поэтому для своих дальнейших логических выводов авторам пришлось использовать для итоговой формулы (8) — формулы расчета транспортирующей способности потока — формулу (6) из монографии Б.Ф. Ламаева [3].

Таким образом, полученная авторами аналитическая формула транспортирующей способности потока (формула (8)), основанная «на балансе сил, действующих в системе водный поток — донные отложения — наносы, формуле сопротивления грунта сдвигу и формуле граничной скорости осаждения частиц в потоке воды [5]», не соответствует гидравлическим законам движения жидкости и объективному механизму взаимодействия потока и подвижных наносов и не относится к речным потокам. Кроме высказанных выше замечаний по поводу принципиальных положений, лежащих в основе методологии авторов, вызывает некоторое недоумение выбор авторами расчетных формул для выполнения тестовых расчетов. Использованные авторами для тестовых сравнений формулы (Е.А. Замарина, В.Н. Гончарова, Р. Бэгнольда) были получены их авторами в 60-е годы прошлого столетия. К настоящему времени в мировой науке предложено много новых формул, основанных на новых научных результатах в данной области исследования.

Кроме того, авторы статьи используют в работе расчетную формулу Бэгнольда в трактовке [4], которая отличается от оригинальной зависимости, полученной в работе [5]. Трудно судить, насколько корректными являются преобразования исходной зависимости Бэгнольда, приведенные в отчете [4]. Однако авторам статьи в данном случае следовало бы иначе именовать используемую расчетную зависимость, так как она отличается от оригинальной. Кроме того, область возможного использования авторской расчетной зависимости Бэгнольда ограничивается диапазоном песчаной фракции грунта (от 0,1 до 1,0 мм). Но авторами статьи при тестировании расчетных формул по данным для американских рек не приводятся сведения о крупности донных отложений в избранных для тестирования реках, что ставит под сомнение корректность применения всех использованных при тестировании формул.

Особый интерес вызывает использование авторами новой методики проверки достоверности расчетов по формулам, в соответствии с которой доказательством достоверности расчета служит не степень соответствия расчетных значений фактически наблюдаемым, а преобладание отклонения фактически измеренных значений расходов донных наносов в одну сторону (фактически измеренные значения расхода донных наносов должны быть преимущественно меньше расчетных). Можно, конечно же, начать длинную дискуссию с авторами по поводу этой новой методики проверки достоверности расчетных формул, поскольку у авторов она

основана на новых, ими же введенных понятиях «транспортирующая способность потока» и ««транспортирующий потенциал потока», но эта дискуссия должна быть предметом другого отзыва, и она не столь принципиальна при решении вопроса о возможности публикации данной статьи в Ученых записках РГГМУ.

В итоге с нашей точки зрения указанные выше принципиальные ошибки, выражающиеся в игнорировании гидравлических законов и приводящие к ошибочным и парадоксальным выводам, свидетельствуют о том, что опубликовать представленную авторами статью можно только в качестве объекта для научной дискуссии.

Список литературы

1. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
2. *Гришанина К.В.* Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
3. *Ламаев Б.Ф.* Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение, 1988. 256 с.
4. *Paul J. Visser.* Application of sediment transport Formulae to sand-dike breach Erosion // Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering. 1995. Report № 94-3. Faculty of Civil Engineering. Delft University of Technology.
5. *Bagnold R.A.* An Approach to the Sediment Transport Problems from General Physics // U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 422-I, 1966. P. 37.