Видно, что чем меньше A_∞, тем больше время полного восстановления, однако оно стремится к конечному пределу при $n \to \infty$

$$t_\infty = (q \,/\, q_\infty - 1)\, t_1 \tag{18}$$

которая получается из (17) так же, как выше, t_1 — продолжительность первой откачки.

Автор благодарит П. Я. Полубаринову-Кочину под руководством которой написана работа.

Поступило 5 V 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. Гостехиздат, 1952.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. Изд. 4-перераб. Физматгиз, 1963.
3. Саттаров М. А. Движение грунтовых вод при наличии удаленной области питания. Изв. АН СССР, Механика жидкости и газа, № 3, 1966.

ЗАМЕЧАНИЯ О СТАТЬЯХ Г. А. ДЖИМШЕЛИ (Г. А. ДЖИМШИЛЕЙШВИЛИ) ПО ГИДРАВЛИКЕ ОТКРЫТЫХ РУСЕЛ

И. П. АНДРЕЕВА *(Москва)*

В настоящей заметке рассматриваются статьи [1–4], которые касаются интегрирования уравнения так называемого плавно изменяющегося неравномерного движения жидкости в открытых руслах (одномерное стационарное уравнение гидравлики). В [1–3] предлагаются расчетные формулы для неравномерного движения потока, а в [4] делается попытка распространения подходов, используемых в [1–3], на задачи гидравлики неустановившегося движения.

Если бы эти статьи содержали отдельные устранимые некорректности, то мимо этого можно было бы пройти. Но они создают вполне законченную ошибочную концепцию, которая не может не обратить на себя внимание, особенно при настойчивых пожеланиях автора о внедрении этих концепций в практику гидравлического и гидротехнического проектирования. Тот факт, что эта концепция получает распространение, как видно, например, из отклика [5] на одну из статей Г. А. Джимшели, в котором предлагается несколько модифицированный, но по существу тождественный с [1] подход, не может не настораживать.

Остановимся на статье [1], излагающей, судя по заглавию, итог исследований автора в области гидравлики неравномерного движения в открытых руслах.

В этой статье уравнение гидравлики неравномерного движения берется в форме

$$-\frac{dz}{ds} = \frac{dh_v}{ds} + \frac{Q^2}{K^2} \qquad \left(h_v = \frac{\alpha V^2}{2g},\ K = \omega C\sqrt{R}\right) \tag{1}$$

Здесь $dz \,/\, ds$ — уклон свободной поверхности потока, h_v — скоростной напор, Q — расход жидкости, K — модуль расхода, ω — площадь живого сечения, C — коэффициент Шези, R — гидравлический радиус.

Замечая, что «интегрирование уравнения (1) в общем виде невозможно из-за сложности функциональной зависимости между входящими в него переменными...», автор предлагает «простое и достаточно точное решение уравнения (1) для условий искусственного русла любого поперечного сечения.., применив известный способ осреднения выносимых из-под знака интеграла переменных...» (делается ссылка на работы [6,7]).

В цитированных предложениях уже кроется непонимание автором сущности интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка: уравнение (1) для наиболее важного случая призматического русла есть уравнение с разделяющимися переменными и, следовательно, оно сразу интегрируется.

Действительно, если ввести в рассмотрение уклон дна i_0 и глубину потока h, то уравнение (1) принимает общеизвестный вид, приводимый в любом курсе гидравлики

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i_0 - Q^2 \,/\, K^2}{1 - F} \tag{2}$$

Здесь правая часть зависит только от глубины h, ибо в условиях установившегося течения при $Q = \text{const}$ число Фруда F и пропускная способность русла K суть функции только h. Поэтому

$$s = \int_1^2 \frac{1 - F}{i_0 - Q^2 \,/\, K^2}\, dh \tag{3}$$

Подынтегральная функция в (3) действительно довольно сложна и интеграл не приводится к табличным. Поэтому применяются различные аппроксимации этой функции [6,7], после которых интеграл сводится к табличным интегралам. Таким образом, действительные функции $F = F(h)$ и $K = K(h)$ заменяются некоторыми аппроксимирующими функциями.

Это очевидное обстоятельство особо подчеркивается потому, что автор [1], как будет показано, рассматривает допустимость аппроксимации подынтегральной функции некоторыми более простыми функциями того же аргумента h как основание для замены действительного закона изменения модуля расхода K по продольной координате s линейным законом. Другими словами, упускается то, что именно установление связи $s = s(h)$ или $s = s(K)$ (поскольку K — монотонная функция h) и есть цель интегрирования уравнения (1).

В самом деле, вводя обозначения

$$\frac{dh_v}{d\varkappa} = m_v, \qquad \frac{dh}{d\varkappa} = m_h, \qquad \frac{ds}{d\varkappa} = m_s, \qquad \varkappa = \frac{K}{K_0} \tag{4}$$

где K_0 — модуль расхода при равномерном движении с расходом Q, автор [1] приводит уравнение (1) к виду

$$i_0 ds - i_0 m_s \varkappa^2 d\varkappa = -(m_v + m_h)\,\varkappa^2 d\varkappa \tag{5}$$

В этой записи уравнение (5) не будет уравнением с разделенными переменными, так как m_s — функция переменной.

Однако вместо того, чтобы, заменив m_s его выражением $ds\,/\,d\varkappa$, привести уравнение (5) после деления на $1 - \varkappa^2$ к квадратуре, автор «универсального способа» заменяет значения m_v, m_h и, что главное — m_s, их средними значениями. После этого, в результате интегрирования получается

$$i_0 s = -\frac{m_h{}^* + m_v{}^*}{3 + m_\varkappa{}^*}(\varkappa_2{}^3 - \varkappa_1{}^3), \qquad m_\varkappa{}^* = \frac{\varkappa_2{}^3 - \varkappa_1{}^3}{\varkappa_2 - \varkappa_1} \tag{6}$$

Нетрудно оценить, к чему приводит этот «универсальный способ» решения задачи гидравлики неравномерного движения также и в количественном отношении. Принимая (пока без оценки) допущения автора о возможности принять $m_v = \text{const}$ и $m_h = \text{const}$, но разделяя переменные в уравнение (5) и только после этого его интегрируя, получим

$$i_0 s = (m_v{}^* + m_h{}^*)\left\{\varkappa_2 - \varkappa_1 - \frac{1}{2}\ln\frac{(1+\varkappa_2)(1-\varkappa_1)}{(1+\varkappa_1)(1-\varkappa_2)}\right\} \tag{7}$$

Если уравнения (6) и (7) разделить на $m_v + m_h$, то они примут вид

$$\frac{i_0 s}{m_v + m_h} = -\frac{\varkappa_2{}^3 - \varkappa_1{}^3}{3 + (\varkappa_2{}^3 - \varkappa_1{}^3)\,/\,(\varkappa_2 - \varkappa_1)} \tag{8}$$

$$\frac{i_0 s}{m_v + m_s} = \varkappa_2 - \varkappa_1 - \frac{1}{2}\ln\frac{(1+\varkappa_2)(1-\varkappa_1)}{(1+\varkappa_1)(1-\varkappa_2)} \tag{9}$$

Приводим значения правых частей (левые части одинаковы) уравнений (8) и (9) для наиболее часто встречающегося на практике диапазона значений $\varkappa_1$ и $\varkappa_2$

$\varkappa_1 = 1.01$			$\varkappa_1 = 0.99$		
$\varkappa_2$	по (8)	по (9)	$\varkappa_2$	по (8)	по (9)
1.5	1.30	2.33	0.75	0.78	1.44
2.0	1.72	3.43	0.50	0.66	1.61

Из сопоставления этих значений вытекает, что, как в случае движения с глубинами, превышающими глубины равномерного течения ($h > h_0$, $\varkappa_1 = 1.01 > \varkappa_0 = 1$), так и в случае движения с глубинами, меньшими глубины равномерного движения ($h < h_0$, $\varkappa_1 = 0.99 < \varkappa_0 = 1$), количественное расхождение за счет отмеченной принципиальной ошибки колеблется около 100%.

Однако «универсальному способу» автора присуща не только эта ошибка.

При усреднении функций m_h и m_v автор делает ссылку на [6, 7]. Ссылка эта несостоятельна уже потому, что там усредняется вовсе не производная $m_v = dh_v\,/\,d\varkappa$, а совсем другая функция, а именно $dh_v\,/\,d\,(1\,/\,\varkappa)$.

Принятие $m_v = \text{const}$ и вынесение m_v за знак интеграла означает, что в пределах интегрирования (между глубинами h_1 и h_2) осредняется функция, изменяющаяся с глубиной h как величина

$$\frac{2\alpha Q^2}{g x K_0}\,\frac{Bh}{\omega}\,\frac{C\sqrt{R}}{\omega}\,\frac{K_0{}^2}{K^2}$$

Здесь x — гидравлический показатель русла. Отсюда видно, что допущение $m_v = \text{const}$ означает усреднение функции, которая изменяется с изменением h сильнее, чем K^2. Так как $K^2 \sim h^x$, то для трапецеидальных (и параболических) русел это допущение равносильно усреднению функции, изменяющейся пропорционально глубине потока в четвертой степени.

Ясно, что принятие $m_v = \text{const}$ дает ошибку бóльшую, чем непосредственное конечно-разностное вычисление интеграла (1).

Исходя из изложенного, ясно, что цифровые данные в [1], якобы иллюстрирующие высокую точность «универсального способа», в лучшем случае являются результатами недоразумений в численных расчетах.

Тот же «универсальный способ» в несколько измененных обозначениях опубликован в [2]. Наконец, в [3] приводятся расчетные формулы этого «метода», причем заметка [3] носит уже несколько полемический характер: в ней отстаивается приоритет «универсальности» метода автора по сравнению с заметкой [5], которая отличается от изложенного лишь тем, что в качестве независимого переменного предлагается принимать K^2 / iK_0^2 вместо K / K_0.

Можно было бы упомянуть работу [8] и ряд других публикаций автора, посвященных тому же решению уравнения плавно изменяющегося неравномерного движения потока в открытых руслах, в которых пропагандируются те же самые ошибки. Однако отмеченного выше достаточно для характеристики этого решения.

В заключение остановимся на публикации [4], относящейся уже к неустановившемуся течению потока в открытых руслах.

Не будем здесь касаться графического способа интегрирования дифференциальных уравнений напорных потоков, который является лишь видоизменением известных способов (см., например, [9]), опубликованных за рубежом в тридцатых годах и в настоящее время рассматриваемых как анахронизм. Обратимся сразу к трактовке автором частных производных и физики явления неустановившихся движений.

В динамическом уравнении Сен-Венана (3) статьи [4] автор заменяет частную производную отметки свободной поверхности по продольной координате полной производной, не считаясь с тем, что при этом искажаются основные уравнения гидродинамики, в которые гидродинамическое давление может входить лишь в виде пространственных, но не временных производных.

Уравнение же неразрывности в статье [4] имеет вид

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0}{F_n} - \frac{\omega V}{F_n} \tag{10}$$

Здесь Q_0 — расход в конце канала, ω — площадь живого сечения канала, V — скорость неустановившегося движения потока в канале. В действительности общеизвестное уравнение неразрывности пишется так:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \tag{11}$$

Автор [4] не объясняет, что представляет собой F_n. Но из формулы (14) этой статьи видно, что под F_n подразумевается площадь основания тела прерывной волны (!), ибо произведение этой площади на приращение отметки свободной поверхности есть, по автору, объем воды, накопленной между двумя створами за время Δt. Под Δt подразумевается время, необходимое для подхода волны от конца канала к рассматриваемому створу.

Таким образом, автор заменяет уравнение неразрывности при неустановившемся течении потока в открытых деривационных каналах уравнением неразрывности для колебаний уровня воды в уравнительных резервуарах!

При этом, по-видимому, автор не понимает, что замена уравнения неразрывности (11) уравнением (10) означает предположение, что неустановившееся движение потока происходит в открытом канале не в форме волн, распространяющихся вдоль канала, а в виде одновременного колебания зеркала воды по всей длине канала, наподобие колебаний зеркала в уравнительном резервуаре.

Приходится только сожалеть о публикации статей [1, 4].

Поступило 28 XI 1965

ЛИТЕРАТУРА

1. Джимшели Г. А. Универсальный способ построения кривых свободной поверхности в открытых руслах. Гидротехн. стр-во, 1962, № 12.
2. Джимшели Г. А. Отклик на заметку В. Б. Дульнева. Гидротехн. стр-во, 1964, № 3.
3. Джимшели Г. А. Универсальный метод построения свободной поверхности в водотоках. Тр. Груз. политехн. ин-та, 1962, № 2 (82).

4. Джимшелейшвили Г. А. Обобщенный графический способ расчета неустановившегося движения воды в деривационных каналах и напорных водоводах гидроэлектростанций. Изв. Всес. н-и ин-та гидротехн., 1965, т. 78.
5. Дульнев В. Б. Универсальная формула для расчетов неравномерного движения жидкости в открытых руслах. Гидротехн. стр-во, 1963, № 9.
6. Павловский Н. Н. Собр. соч., т. 1, Основы гидравлики, открытые русла и сопряжение бьефов сооружений, Изд-во АН СССР, 1956.
7. Войнич Т. Г. Об интегрировании дифференциального уравнения медленно изменяющегося движения воды в открытых водотоках. Гидротехн. стр-во, 1953, № 3.
8. Джимшели Г. А. К вопросу построения кривых подпора в естественных руслах. Тр. III Всесоюзн. гидролог. съезда, т. 5, Гидрометеоиздат, 1960.
9. Форхгеймер Ф. Гидравлика. Госэнергоиздат, 1935.

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР
СОВЕЩАНИЕ ПО АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

21—25 марта 1966 г. в Новосибирске по инициативе СО АН СССР проходило совещание по аналитическим методам газовой динамики. На совещании рассматривались различные методы получения точных решений (методы, основанные на исследовании групповых свойств и метод дифференциальных связей), а также исследование некоторых свойств этих решений.

В работе совещания приняло участие около пятидесяти человек. Были заслушаны следующие доклады.

1. **Н. Н. Кузнецов** (Москва). *О многомерной задаче распада разрыва* (конические автомодельные течения).
2. **В. А. Тупчиев** (Москва) *Задача о распаде разрыва в невыпуклом случае.*
3. **И. К. Яушев** (Новосибирск) *Распад разрыва в канале со скачком сечения.*
4. **А. Ф. Сидоров, Ермолин** (Свердловск) *Некоторые конфигурации изэнтропического распада двумерного разрыва.*
5. **Б. Г. Кузнецов** (Новосибирск) *Некоторые точные решения уравнений пограничного слоя.*
6. **В. Е. Неуважаев** (Челябинск) *Неадиабатические течения идеального газа.*
7. **Л. Н. Гутман** (Новосибирск) *Длинные волны в метеорологии.*
8. **В. П. Коробейников** (Москва) *Затухание слабых магнитогидродинамических ударных волн.*
9. **Н. Н. Яненко** (Новосибирск) *Бегущие волны систем квазилинейных уравнений с двумя независимыми переменными.*
10. **В. А. Сучков** (Челябинск) *Некоторые теоремы существования в задаче применения двойной и тройной волны.*
11. **А. Ф. Сидоров** (Свердловск) *О двумерных автомодельных течениях с переменной энтропией.*
12. **Л. В. Овсянников** (Новосибирск) *О теореме Гёртлера в теории околозвуковых течений.*
13. **С. Ф. Фалькович, И. А. Чернов, В. Б. Горский** (Саратов) *Обратная задача сопла Лаваля.*
14. **Б. Л. Рождественский** (Москва) *О свойствах решений систем квазилинейных уравнений.*
15. **С. В. Фалькович, И. А. Чернов** (Саратов). *Алгебраические автомодельные решения околозвукового течения газа.*
16. **П. А. Кухарчик** (Польша). *Расщепление решений систем уравнений (в частности уравнений коротких волн) по Вессио.*
17. **М. Л. Бурнат** (Польша). *Метод характеристик для многомерных гиперболических систем.*
18. **В. П. Коробейников** (Москва). *Некоторые инвариантные решения уравнений магнитной гидродинамики.*
19. **Н. Х. Ибрагимов** (Новосибирск) *Групповая классификация инвариантных решений двумерной газодинамики.*
20. **В. Л. Катков** (Новосибирск) *Групповая классификация уравнения Хопфа.*
21. **Б. И. Заславский** (Новосибирск) *Об одном классе околозвуковых решений.*

Принято решение о проведении очередного совещания по аналитическим методам газовой динамики в 1968 году.

Н. Н.