УДК: 621.22

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ РУСЛА РЕКИ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Дилшод Муродуллаевич Нодиров
Ассистент. Самаркандский Государственный Архитектурно Строительный Университет имени Мирзо Улугбек

Бахтиёр Рахматуллаевич Уралов
к.т.н доцент Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Абдиалим Боймуродович Мирзаев
к.т.н доцент Самаркандский Государственный Архитектурно Строительный Университет имени Мирзо Улугбек
d.nodirov@samdaqi.edu.uz.

АННОТАЦИЯ

В статье охарактеризована и определена для условий Амударьи адаптированные коэффициенты в формуле Бэгнольда, то есть $\boldsymbol{\alpha_w \approx 0.04}$, $\boldsymbol{\alpha_b = 0.91}$. Данная адаптация проведена для средних условий, без учета натурных наблюдений на конкретном расчетом участке.

Ключевке слова: Мезоформ, модель, макроформ, шероховатость, жидкость, коэффициент, русла, сопротивление, канал, формула.

THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE RIVERBED ON THE HYDRAULIC RESISTANCE IN THE MATHEMATICAL MODELING OF RIVERBED PROCESSES

ABSTRACT

The article characterizes and defines adapted coefficients in the Bagnold formula for the conditions of the Amu Darya, that is, $\boldsymbol{\alpha_w \approx 0.04}$, $\boldsymbol{\alpha_b = 0.91}$. This adaptation was carried out for average conditions, without taking into account field observations at a specific design site.

Keywords: Mesoform, model, macroform, roughness, fluid, coefficient, channels, resistance, channel, formula.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших вопросов в мире является оценка установления потерь напора в руслах открытых каналов ирригационного и гидороэнергетического назначения (деревационные каналы). и совершенствование методов их расчета и технологий прогнозирования деформации русел вр взаимосвязи с потерем напора и его интегральной характеристикой –гидравлическим сопротивлением русла канал,который сыграет важный роль при определении их пропускной способности. В этой связи особое значение имеют научно-исследовательские работы по оценке потери напора в русле каналов и усовершенствованию технологий предотвращения увеличения потери напора в руслах открытых машинных каналов насосных станции. В этом направлении, особое значение имеют исследования в России, Америке, Китае, Индии, Египте и других государствах по оценке потери напора в руслах машинных каналов насосных станции ,что обеспечивает их безопасной и эффективной работы.

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

При составлении математической модели необходимо учитывать основные физические закономерности формирующие движения потока в руслах машинных каналов. Особенно этот фактор резко проявляется при прогнозе русловых процессов в машинных каналов.Прежде всего, следует отметить разномасштабность русловых форм. Широко вошли в практику понятия микроформ, мезоформ и макроформ [Кондьратев и Попов]. Однако эти понятия неоднозначны и имеют различную трактовку. Например, согласно [Кондьратев и Попов], микроформы обуславливают шероховатость русла, а мезоформы и макроформы по существу образуют его главный рельеф. Это положение вызывает большие дискуссии. По мнению Н.С.Знаменской: «Причиной дискуссий была нечеткость самого положения. Н.Е.Кондратьевым противопоставляются неодинаковые условия: для микроформ речь идет о причинно-следственных связях, а для мезоформ – о сопутствующих условиях их существования. Микроформы рассматриваются на участке, лишенном мезоформ, где они играют роль шероховатости, а потому поток над ними считается равномерным. Мезоформы Кондратьев рассматривал в условиях их пассивного режима, а не активной жизни, причем на участке, занятой одной мезоформой». Можно сказать, что прав как Н.Е. Кондратьев, так и его критики. Дело в том, что понятия микроформ, мезоформ и макроформ должны рассматриваться как понятия относительные. В зависимости от масштаба осреднения, даже такие формы как побочни, плесы и перекаты, острова, которые обычно рассматриваются как мезоформы, могут рассматриваться и как микроформы. Все зависит от масштаба рассмотрения явления. Например, если масштаб много больше ширины реки, что характерно для одномерных математических моделей, то естественно, что побочни и мелкие острова, сравнимые с шириной реки, естественно рассматриваются как микроформы, которые наряду с грядами обуславливают шероховатость русла. Более того, при рассмотрении длинных рек со множеством излучин ни в лабораторной, ни в численной модели невозможно воспроизвести все детали, тогда даже такие формы как излучины, плесы и перекаты, нужно считать микроформами, которые наряду с другими микроформами обуславливают шероховатость русла.

С другой стороны, если масштаб рассмотрения меньше глубины, то рифели и гряды уже нужно рассматривать как мезоформы, а шероховатость дна обусловлена лишь песочной шероховатостью.

Очевидно, что во всех этих случаях нужно принимать разный коэффициент шероховатости. Поэтому, прежде всего, нужно решить вопрос, в каком масштабе мы рассматриваем эту задачу. Очевидно, что если её рассматривать в масштабе меньшей глубины, т.е. рассматривать полную трехмерную математическую модель, то процесс будет описан наиболее полно, однако при этом, как при численном, так и при физическом моделировании возникают такие технические сложности, из-за которых невозможно практическое решение задач для достаточно протяженных русел. Поэтому для практических задач необходим более грубый масштаб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При составлении математических моделей часто одним из главных вопросов является вопрос о выборе формулы для определения транспортирующей способности потока. Существует большое количество формул для определения транспортирующей способности потока. Здесь мы не будем делать их подробный обзор, так как достаточно полно это сделано в работе [1]. Остановимся только на двух формулах, которые используются в данной работе.

Первая - формула Бэгнольда:

$$\boldsymbol{S = 0,4\,\frac{U^2\lambda}{gh}\left(\alpha_B + \alpha_w\frac{U}{w}\right)}, \qquad (1.1)$$

где $\boldsymbol{w}$ - гидравлическая крупность частиц грунта, $\boldsymbol{U}$ - средняя, по поперечному сечению скорость потока, $\boldsymbol{h}$ - средняя глубина, $\boldsymbol{\lambda}$ - коэффициент гидравлического трения, $\boldsymbol{\alpha_B}$ и $\boldsymbol{\alpha_w}$ - коэффициенты, которые, вообще говоря, требуют адаптации.

Обычно коэффициент гидравлического трения принимается по Маннингу:

$$\boldsymbol{\lambda = g\, n^2\, R^{-1/3}} \text{, где} \qquad (1.2)$$

$\boldsymbol{n} = \boldsymbol{n}$ (χ)- коэффициент шероховатости русла; $\boldsymbol{\chi}$ - смоченный периметр.

Вопросы определения значения гидравлического трения в руслах рек и каналов являются самой сложной задачей речной гидравлики. Особенно, данная задача представляется более сложной в реках, в руслах которых построены гидротехнические сооружения, сильно влияющие на динамику водного потока [2]. В научной работе В.М. Лятхера и С.Я. Школьникова, обсужден вопрос о виде коэффициента гидравлического трения в двухмерных (плановых) уравнениях Сен-Венана при анизотропном дне.

Система дифференциальных уравнений Сен-Венана состоит из:

***** скалярного уравнения, выражающего закон сохранения массы потока в открытом водоеме:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_i}{\partial x_i} = 0, \qquad (1);$$

***** векторного уравнения, выражающего сохранение импульса в потоке:

$$\frac{\partial q_j}{\partial t} + \frac{\partial q_i q_j / h}{\partial x_i} + \frac{\partial g h^2 / 2}{\partial x_j} - \tau_j = 0, \qquad (2);$$

где: t – время; x_i – пространственная координата; i, j – немые индексы, принимающие значения 1 или 2; h – глубина воды; $\vec{q} = (q_1, q_2)$ – удельный (погонный, отнесенный к единице длины) расход воды; $\vec{\tau}\rho = (\tau_1\rho, \tau_2\rho)$ – вектор напряжения гидравлического трения на дне потока. Здесь, вода считается несжимаемой жидкостью с постоянной плотностью, поэтому в обоих уравнениях плотность ρ была сокращена. В уравнении (2) принята тензорная символика Эйнштейна, при которой в выражениях числителя и знаменателя использованы одинаковые немые индексы, и данная символика является не одним слагаемым, а суммой слагаемых, и немые индексы пробегают все свои значения [3].

Часто, в практике вычислительной гидравлики для задания вектора гидравлического трения в двумерных (плановых) уравнениях принимается гипотеза о том, что этот вектор коллинеарен вектору осредненной по глубине скорости течения $\vec{v} = (v_1, v_2) = \vec{q} / h$ и направлен в противоположную вектору скорости сторону [4], а для задания конкретного закона трения используются стандартные формулы, применяемые для широких прямоугольных русел:

$$\vec{\tau} = -\lambda \frac{\vec{v}|\vec{v}|}{2g} \quad (3);$$

где: λ – коэффициент гидравлического трения Дарси, определяемый эмпирическими формулами.

При анизотропном дне русла, например, в каналах с искусственной шероховатостью в виде длинных выступов, направленных под углом к потоку, векторы скорости и напряжения трения на дне потока не будут коллинеарны друг другу. Для такой ситуации рекомендовалась формула:

$$\vec{\tau} = -\frac{\lambda_n}{2}\vec{n}(\vec{v};\vec{n})|\vec{v}| - \frac{\lambda_t}{2}\vec{t}(\vec{v};\vec{t})|\vec{v}| \quad (4);$$

где: $\vec{t}$, $\vec{n}$ – единичные векторы, направленные вдоль и поперек выступов искусственной шероховатости; λ_n, λ_t – коэффициенты гидравлического трения при течении потока поперек и вдоль полос искусственной шероховатости соответственно. В такой ситуации можно рассматривать обобщенный коэффициент гидравлического трения λ, являющийся тензором второго ранга с матрицей:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_n n_1^2 + \lambda_t n_1^2 & n_1 n_2(\lambda_n - \lambda_t) \\ n_1 n_2(\lambda_n - \lambda_t) & \lambda_n n_2^2 + \lambda_t n_2^2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Известно, что при линейной связи между двумя векторами в общем случае роль обобщенного коэффициента является тензором.

Уравнения Сен-Венана с анизотропией дна использовались в численных гидравлических экспериментах при исследованиях реальных объектов, а также для подбора элементов искусственной шероховатости, обеспечивающих удовлетворительное растекание потока в нижнем бьефе.

Отметим, что возможен и другой тип анизотропии, при котором вектор силы гидравлического трения коллинеарен вектору скорости течения, но имеется анизотропия, связанная с направлением течения. Представим себе течение водного потока в области нижнего бьефа гидротехнического сооружения, где для гашения избыточной энергии потока устраивается искусственная шероховатость, представленная круглыми элементами, расположенными в шашечном порядке, то есть, с различным шагом по координатам x_1 и x_2 [4]. При различном направлении вектора скорости, усилие трения в такой области будет различным, но всегда будет направленным против вектора скорости течения.

При таком виде анизотропии коэффициент шероховатости λ будет являться функцией угла направления водного потока. Представляется, что такой тип анизотропии гидравлического сопротивления характерен для течений потока во время прохождения высоких паводков, когда в зону затопления попадают участки пойм с расположенными на них водозащитными лесополосами.

В общем случае, возможна ситуация, когда дно обладает обоими типами анизотропии, и коэффициенты гидравлического трения λ_t и λ_n в направлении протяженных борозд, создающих повышенную шероховатость, не только не тождественны между собой, но и зависят от направления течения.

Разумеется, такая анизотропия подстилающей поверхности может встречаться и в других задачах гидравлики. Таким образом, можно предположить, что в случае, когда выступы шероховатости асимметричны, и эта асимметрия однонаправленная, коэффициент гидравлического трения в трубах может оказаться различным при различном направлении течения жидкости.

Аналогичные виды анизотропии известны в теории фильтрации [5], где возможны ситуации с тензорным коэффициентом фильтрации, при котором направления силы $\vec{F}$, действующей между потоком и грунтом, неколлинеарны между собой и коэффициентом фильтрации, меняющимся в зависимости от направления потока при том, что направление потока и силы $\vec{F}$ строго коллинеарны.

В заключение, следует отметить, что авторам настоящей работы не известны примеры описания возможности возникновения второго вида анизотропии для гидродинамических уравнений Сен-Венана, и вышеизложенную трактовку можно считать первым изложением данного вопроса в практике вычислительной гидравлики.

Использование формулы Бэгнольда для определения транспортирующей способности потока оправдано тем, что, в отличие от других формул, в ней отдельные слагаемые обусловлены донными и взвешенными руслоформирующими наносами, именно, первое слагаемое обусловлено донными, а второе взвешенными. Причем эта формула имеет достаточно строгое теоретическое обоснование.

Доказано, что концентрация донных наносов может зависеть от скорости только во второй степени, а взвешенных выше третей. Поэтому, имея натурный материал по расходу и фракционному составу донных и взвешенных наносов, она легче адаптируется.

Для лабораторных условий и ленточногрядового, побочневого, а также ограниченного меандрирования, согласно [1], $\boldsymbol{\alpha_B} = 0.24$, и $\boldsymbol{\alpha_w}$=0.01. Для других условий значение этих коэффициентов может быть другим. Например, для условий Амударьи широко распространена формула, разработанная в НПО САНИИРИ:

$$\boldsymbol{\rho_H} = \mathbf{A}\, \frac{\boldsymbol{U^3}}{\boldsymbol{hw}}\text{, где} \qquad (1.3)$$

$\boldsymbol{\rho_H}$ - транспортирующая способность потока , А =0.018 – без учета донных наносов, А =0.024 – с учетом донных наносов.

Формула Бэгнольда с учетом донных наносов примет вид:

$$\boldsymbol{S = 0,4\, \frac{U^2\lambda}{gh}\alpha_w \frac{U}{w}} \qquad (1.4)$$

С учетом того, что $\boldsymbol{\rho_H} = \boldsymbol{\rho_m S}$, где $\boldsymbol{\rho_m}$ - плотность частиц грунта, и из формулы (1.3) для идентификации формулы Бэгнольда к условиям Амударьи имеем соотношение:

$$\boldsymbol{\alpha_w = \frac{Ah^{0,333}}{0.4\, n^2\, \rho_m}} \qquad (1.5)$$

Для реки Амударья характерно: коэффициент шероховатости $\boldsymbol{n} \approx 0.025$, средняя глубина во время руслоформирующих паводков около 3 м. Для песков $\boldsymbol{\rho_m} \approx 2600\, \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$. Таким образом, получаем, что:

$$\boldsymbol{\alpha_w} \approx 0.04 \qquad (1.6)$$

Далее, из (1.1) следует, что отношение концентрации донных наносов к взвешенным будет: $K = \frac{\boldsymbol{S_b}}{\boldsymbol{S_s}} = \frac{\boldsymbol{\alpha_b w}}{\boldsymbol{\alpha_w U}}$ (1.7)

а из (1.2) получим, что

$$K = 0.33 \qquad (1.8)$$

Сопоставляя (1.7) и (1.8) с учетом (1.6) получим формулу для идентификации $\boldsymbol{\alpha_b}$:

$$\boldsymbol{\alpha_b} = 0{,}0132\, \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{w}} \qquad (1.9)$$

Учтем, что средняя скорость, как было указано выше, меняется от 0.3 до 2.5 м/с., что в среднем составит 1.4 м/с. Средняя гидравлическая крупность руслоформирующей фракции согласно около 0.02 м/с. Тогда из (1.9) получим, что $\boldsymbol{\alpha_b = 0.91}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для условий Амударьи адаптированные коэффициенты в формуле Бэгнольда будут: $\boldsymbol{\alpha_w \approx 0.04}$, $\boldsymbol{\alpha_b = 0.91}$.

Данная адаптация проведена для средних условий, без учета натурных наблюдений на конкретном расчетном участке. Отметим, что потоки в естественных руслах обладают следующим свойством. Глубина потока много меньше его характерного горизонтального размера. поэтому очень часто целью многих исследований является разработка методов численного и физического моделирования деформаций дна потока в масштабе много большем глубины.

При этом основной упор делается на разработку и практическое применение численных моделей создать новые или усовершенствовать существующие численные модели для разных масштабов рассматриваемого явления. Это:

- одномерные модели, которые пригодны для описания деформаций дна в масштабе много большем характерных размеров мезоформ или макроформ;
- двухмерные модели, которые можно использовать в масштабе много большем глубины, но меньшем размеров мезоформ; при этом радиус кривизны русла должен быть много больше (~ d. 10 ….. 20 раз) глубины;
- пространственные модели, которые не накладывали бы ограничения на радиус кривизны русла.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров И.И., Соколов А.С., Шульман С.Г. Моделирование гидротермических процессов водохранилищ-охладителей ТЭС и АЭС. Энергоатомиздат. М., 1986.
2. Базаров Д.Р., диссертационная работа «Научное обоснование новых численных методов расчета деформации русел рек, сложенных легкоразмываемыми грунтами». М. 2000.
3. Лятхер В.М., Милитеев А.Н. Гидравлические исследования численными методами. Водные ресурсы, 1981, №.4
4. Mirzaev A. B., Nodirov D. ON THE DEPENDENCE OF HYDRAULIC RESISTANCES OF MACHINE AND DERIVATION CHANNELS OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS ON PRESSURE LOSSES OF HYDROPOWER FACILITIES //Journal of Advanced Scientific Research (ISSN: 0976-9595). – 2021. – Т. 1. – №. 1
https: // doi.org/ 10.5281/zenodo.5770606
https://sciencesage.info/index.php/jasr/article/view/2
5. Мирзаев, А. Б., Якубов, К. А., Нодиров, Д. М., & Исломкулова, А. РОЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПРОЦЕССАХ СМЕШЕНИЯ РЕАГЕНТОВ. *ББК 31.15 я431+ 38я431+ 65.441 я431 Э653*, 217.
https://vgasu.ru/upload/files/science/conf/10-2018.pdf#page=217