

РАСЧЕТЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ СДВИГА ДОННЫХ ЧАСТИЦ В ВОДНЫХ ПОТОКАХ

Копалиани З.Д.

ФГБУ «ГГИ», Россия

Вопрос о количественной оценке начала движения несвязных частиц на дне водных потоков (предельных неразмывающих скоростей или касательных напряжений) остается одной из важнейших и наиболее остро дебатированных проблем современной теории руслового процесса, речной гидравлики и транспорта наносов в реках и земляных каналах.

Цель настоящей работы – обоснование пригодных для использования в инженерной практике методов расчета предельных неразмывающих скоростей потока или касательных напряжений в шероховатых руслах в переходной и квадратичной областях гидравлических сопротивлений на основе систематизации имеющейся обширной информации по указанной проблеме с наиболее полным привлечением для анализа результатов, полученных в разное время отечественными и зарубежными исследователями (различные подходы к этой задаче, наиболее значимые теоретические и экспериментальные исследования, неопределенности и противоречия, возникающие при разработке расчетных зависимостей). Было проанализировано 63 формулы.

Одним из основных недостатков всех существующих формул для расчёта критических условий начала движения частиц на дне водных потоков является отсутствие единой терминологии и количественных критериев для однозначного определения порогового значения скорости потока, при котором донная частица приходит в движение.

В настоящем исследовании пороговое значение критических условий сдвига донных отложений однородного или близкого к нему состава песчаного материала было установлено количественно на основе опытов Графа и Пазиса для переходного и квадратичного режимов сопротивлений и на основе исследований автора для крупных частиц в квадратичной области сопротивлений, применительно к горно-предгорным рекам.

В первом случае на кривой Шильдса в переходной области сопротивлений (в квадратичной области по Кнорозу) при значении безразмерного критерия касательного напряжения $\tau_c^* = 0.03$, вероятность движения донных частиц имеет фиксированное значение $P = 10^{-4}$, где $P = N/N_t$ - отношение числа частиц, пересекающих фиксированный створ лотка на

единице ширины в единицу времени δ_t к числу частиц N_t , лежащих на площади, размером $1 \times V \delta t$. Этим условиям по Шильдсу соответствует уравнение: $V_0 = 4.0 \sqrt{d} \lg 6 \frac{H}{d}$.

Во втором случае критические значения неразмывающей скорости для крупных частиц в диапазоне значений относительной гладкости потока $4.4 < \frac{H}{d} < 172,0$ описываются зависимостями: $V'_0 = 3.2 \sqrt{d} \left(\frac{H}{d}\right)^{0.3}$ – ГГИ-1 и $V''_0 = 3.9 \sqrt{d} \left(\frac{H}{d}\right)^{0.3}$ – ГГИ-2.

Они отвечают минимально улавливаемым измерениями интенсивности движения донных частиц на дне, когда в состоянии движения в единицу времени на площади поверхности дна шириной 1м. и длиной 0,4V м находятся частицы, занимающие 1,25% и 2,50% этой площади.

Сравнение результатов расчёта по различным формулам неразмывающей скорости потока с «эталоном» (формулой Шильдса) для песчано-гравелистых частиц ($0,1 < d < 20$ мм.) при глубине потока 1,0м. выявило наиболее близкое соответствие по формулам Шамова (Мосткова, Гришанина), Дебольского ($d = 0,1 - 1,0$ мм.), Абальянца ($d = 1,0 - 5,0$ мм), Кнороза и Мирцхулавы ($d = 1,0 - 5,0$ мм).

В области больших глубин $H=10$ м для песчано-гравелистых частиц наиболее близкие результаты к этому эталону получаются по формулам Дебольского и др. при $d = (0,1 - 1,0)$ мм; Михалева и Кнороза при $d = (0,3 - 1,0)$ мм; Шамова (Мосткова, Гришанина) и Мирцхулавы при $d = (1,0 - 10,0)$ мм; Троицкого при $d = (0,2 - 2,0)$ мм.

Сравнения формул для крупных наносов, показало, что при глубине потока $H = 1$ м, в область значений неразмывающих скоростей потока, очерченной формулами ГГИ-1 и ГГИ-2, попадают результаты расчетов по формулам Шильдса, Гончарова (1962г.), Талмазы - 1, Дебольского ($d > 0,06$ м), Шамова – (Мосткова, Гришанина) ($d > 0,06$ м) Леви – (Латышенкова) ($d = 0,02 - 0,1$ м), Кнороза ($d < 0,06$ м), Романовского ($d > 0,1$ м).

При глубине потока 3,0м лучшее соответствие «эталоноу» показали формулы Шильдса, Гончарова (1962г.), Талмазы-1, Леви (Латышенков), Кнороза ($d = 0,02 - 0,2$ м), Дебольского ($d = 0,15 - 0,30$ м) и Шамова (Мосткова, Гришанина) ($d = 0,15 - 0,30$ м).

Перечисленные формулы, с большей уверенностью, чем это делалось до сих пор, могут быть рекомендованы для практического использования в инженерной практике в области речной гидравлики, руслового процесса и гидротехники, при решении задач, требующих расчета предельных условий сдвига донных частиц на дне водных потоков.