

И. В. Егизаров
 Действительный член АН Арм. ССР

Критический анализ исследований Цюрихской гидролаборатории и работ Х. А. Эйнштейна, посвященных расходу влекомых потоком наносов

В работах Мейерпетера, Фавра, Мюллера и Х. Эйнштейна, проведенных за 1932—1937 г.г. в Цюрихской гидролаборатории [1—9], уравнение транспорта наносов сведено к эмпирическому выражению в размерных комплексах $\frac{q^{2/3} i}{d}$ и $\frac{g''^{2/3}}{d}$, где g'' —секундный расход влекомых наносов в весовых единицах под водой,

$$\frac{q^{2/3} i}{d} = 17 + 0,525 \frac{g''^{2/3}}{d} \quad (1)$$

Это выражение дано для обычных наносов с удельным весом $\gamma_n = 2,7$ и для потока не несущего в заметных количествах взвеси.

Для наносов любого удельного веса γ_n и для жидкости удельного веса γ Цюрихская лаборатория пришла к эмпирически полученному уравнению также в размерных комплексах:

$$\frac{q^{2/3} i}{d(\gamma_n - \gamma)^{1/3}} = 9,57 + 0,462 \frac{g''^{2/3}}{d(\gamma_n - \gamma)^{1/3}} \quad (2)$$

Как видно из фиг. 1 и 2, оба эти уравнения удовлетворяют как точкам экспериментов Цюрихской лаборатории, так и точкам других исследований (лабораторий: Гидроэлектрической, Берклейской, USWES), если фракции лежат в пределах размеров, использованных Цюрихской лабораторией, для получения приведенных выше зависимостей.

Даже в этих пределах замечается некоторая закономерная сортировка точек по фракциям.

Если на тот же график нанести точки, относящиеся к другим фракциям, что и сделано на фиг. 4 и 3, то получается огромный разброс точек и определенная, резкая, сортировка по фракциям.

Такое положение опытных точек показывает, что предложенная Цюрихской лабораторией зависимость неверно отражает явление транспорта влекомых потоком наносов, не моделирует это явление

и не должна применяться за пределами тех фракций и тех чисел Рейнольдса, при которых она получена.

Вместе с тем лаборатория претендовала на моделируемость явления, основываясь на том, что введенные в уравнение два размерных комплекса удовлетворяют критерию Фроуда.

Уравнение (2) может быть приведено к безразмерному виду:

$$\frac{q^{2/3} i}{d} \cdot \frac{\gamma^{2/3}}{g^{1/3} (\gamma_n - \gamma)^{2/3}} = 5 + 0,4 \frac{g^{2/3}}{d} \cdot \frac{1}{g^{1/3} \gamma^{2/3}}, \quad (3)$$

но Цюрихская лаборатория предпочла размерный вид ур. (2), так как опытные точки лаборатории лучше ложатся на зависимость ур. (2), чем на ур. (3)—(см. фиг. 3).

Неудовлетворительное решение задачи для широкого диапазона фракций объясняется чисто эмпирическим её решением с неправильным использованием теории подобия и сведением моделирования только к критерию Фроуда.

Как показано автором [11—13], уравнение транспорта наносов должно удовлетворять трём безразмерным критериям: критерию

транспорта $p'' = \frac{g''}{\gamma g}$; этот критерий охватывает и критерий Фроуда, который входит в состав этого более сложного критерия; критерию трения i_{mp} ; и критерию влечения $\frac{S-S_0}{S_0}$ или $\frac{S}{S_0}$, который в свою очередь представлен тремя безразмерными соотношениями:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{\gamma}{\gamma_n - \gamma} \frac{i_{mp}}{i} \frac{R}{d}$$

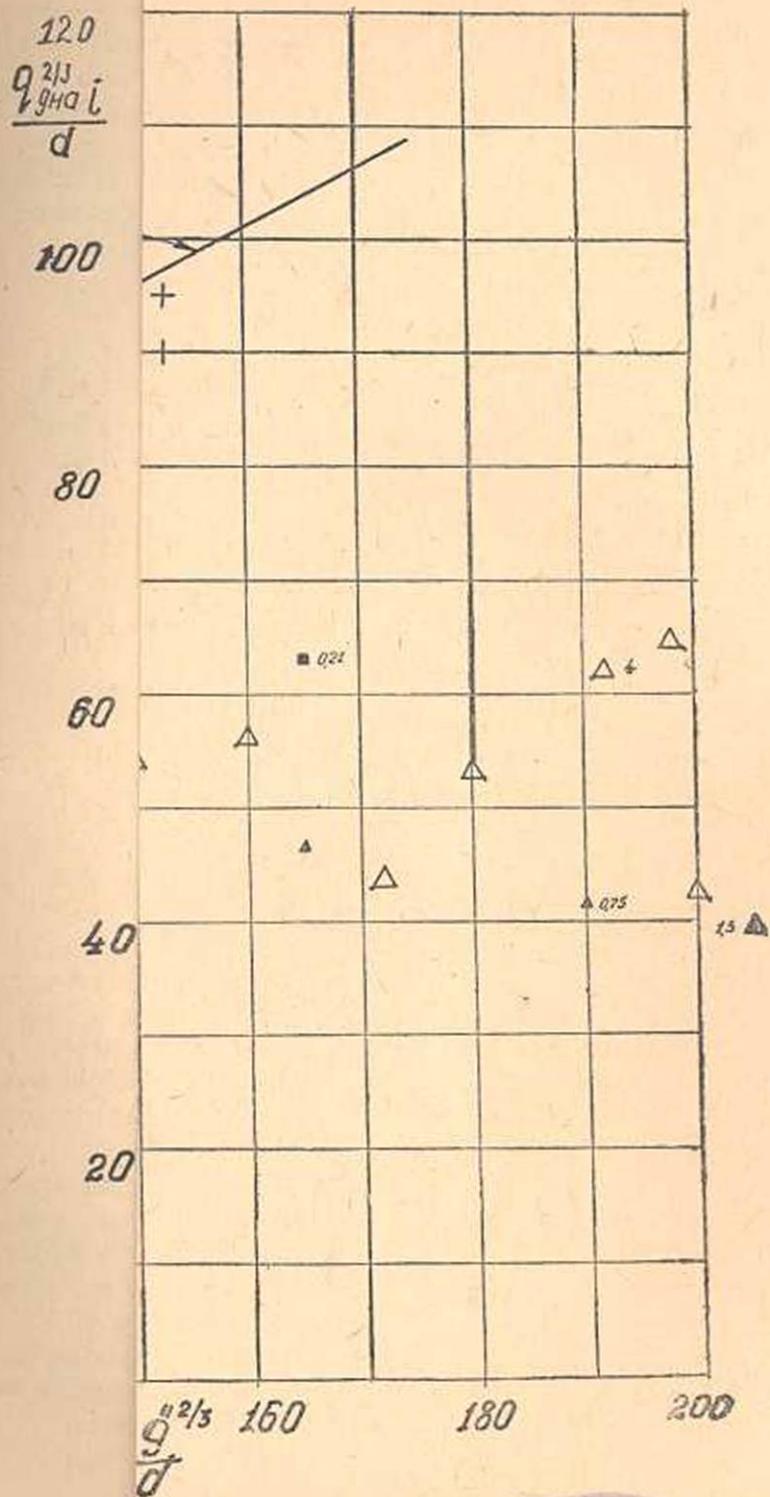
Таким образом, полученное Цюрихской лабораторией решение, удовлетворяющее только критерию Фроуда, не может сколько-нибудь правильно отражать явление.

Это обстоятельство отразилось на разбросе опытных точек и на сортировке этих точек по фракциям (фиг. 1 и 3).

В 1942 году Х. Эйнштейн, переехавший в США, опубликовал новую работу [10], которую построил несколько иначе и решение которой попытался подтвердить теми же опытами Цюрихской лаборатории (опыты были поставлены очень хорошо и против самих опытных данных нельзя возражать).

Первые исследования Эйнштейна [7] относились к статистическому анализу движения отдельных зёрен; но сложность перехода от движения отдельных частиц к их совокупности не позволила использовать старые построения Эйнштейна для получения расчетной зависимости.

В новой работе [10] Эйнштейн отождествляет вероятность от-

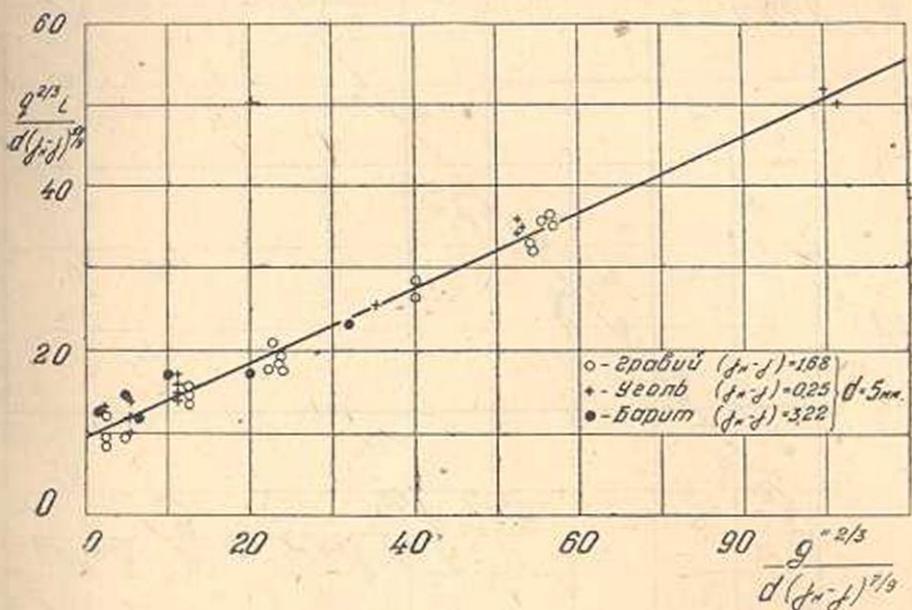


рыва частицы от дна и прохождения ею некоторого участка с вероятностью невыпадения частицы на этой длине.

Вместо вводимых чл.-корр. АН СССР М. А. Великановым двух вероятностей:

η —вероятности того, что частица в течение времени t_0 будет поднята, т. е. вероятность того, что подъемная сила в течение этого времени будет больше силы веса;

ε —вероятность того, что эта частица не спустится на дно в те-



Фиг. 2.

чение этого же времени, т. е. вероятности, что вертикальная компонента скорости потока будет больше гидравлической крупности зерна в течение этого времени.

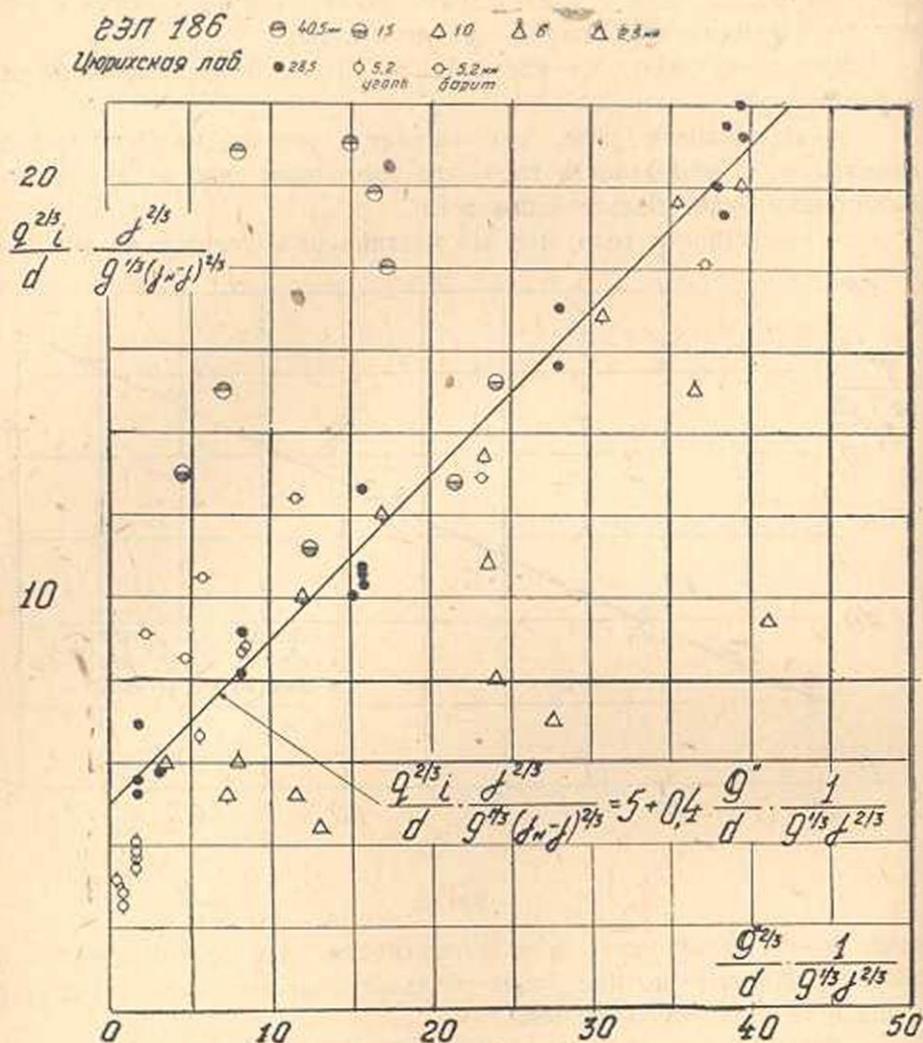
Эйнштейн вводит только одну вероятность, которую считает некоторой неизвестной функцией отношения собственного веса частицы к подъемной силе.

Длина скачка твердой частицы произвольно принимается пропорциональной среднему её диаметру и, следовательно, постоянной для данного диаметра, что не только не доказано, но не подтверждается ни наблюдениями в наших лабораториях, ни наблюдениями в лабораториях Берлинской и американской USWES.

Произвольно принимается, что время, необходимое для трогания частицы с места, пропорционально времени оседания, деленному на величину её диаметра, т. е. гидравлической крупности зерна.

Поэтому полученные Эйнштейном безразмерные комплексы:

$$\varphi = \frac{1}{F} \frac{\gamma^{1/2}}{(\gamma_n - \gamma)^{2/3} g^{2/3}} \frac{g''}{d^{2/3}} = \frac{1}{(\gamma_n - \gamma)g} \frac{g''}{d\sigma} =$$



Фиг. 3.

$$= \frac{1}{(\gamma_n - \gamma)g} \cdot \frac{g''}{d \cdot \varphi(d)}, \quad (4)$$

где g'' — расход влекомых наносов в весовых единицах под водой,
 d — средний диаметр частиц,
 σ — гидравлическая крупность = $\varphi(d)$,

$$\frac{1}{F} = g^{1/2} \left(\frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} \cdot \frac{d^{1/2}}{\sigma},$$

и
$$\psi = \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \frac{d}{Ri} \quad (5)$$

не могут правильно отобразить явление транспорта наносов, и единственное их достоинство—безразмерность.

Используя точки Цюрихской лаборатории, Эйнштейн в координатной системе, определяемой этими комплексами, получил сложную зависимость, связывающую эти комплексы:

$$0,465 \gamma = e^{-0,391 \psi} \quad (6)$$

$$\frac{0,465}{(\gamma_n - \gamma)g} \cdot \frac{g''}{d\sigma} = e^{-0,4 \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \frac{d}{Ri}}$$

Следовательно,

$$g'' = 2,15 (\gamma_n - \gamma)gd\sigma e^{-0,4 \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \frac{d}{Ri}} \quad (7)$$

Для начальных условий влечения, когда $g'' = 0$, величина

$$e^{-0,4 \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \frac{d}{R_{0i}}} = 0$$

следовательно,

$$0,4 \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \frac{d}{R_{0i}} = \sim, \quad (8)$$

что приводит к абсурду.

Объясняется это тем, что Эйнштейн совершенно не ввел начальные условия движения зёрен наноса в свои рассуждения. Даже больше, Эйнштейн категорически отрицает факт существования начальной влекущей силы. Таким образом функция ψ неправильно отражает начальные условия и следовательно является неполным критерием влечения, а функция φ не отражает не только критерия транспорта влекомых наносов p'' , но даже не отражает влияния критерия Фруда, входящего в состав более объемлющего критерия транспорта наносов [11, 12].

На фиг. 4, относящейся только к крупным фракциям, видно, что точки, по которым получена зависимость Эйнштейна (6), с некоторым разбросом ложатся на эту зависимость; мелкие фракции, т. е. фракции, обтекаемые не по квадратичному закону, резко отходят от этой зависимости (см. [14]—фиг. 21, [15]—фиг. 150 или [16]—фиг. 57), на что указывает Эйнштейн, сделавший безуспешную попытку связать это расхождение с отношением $\frac{d}{\delta}$. Но нанесение других точек (фиг. 4), обработанных автором настоящей статьи, ис-

пользованных для получения вида функции критериального уравнения расхода наносов [11—13], показало очень большой разброс и сортировку точек по фракциям.

На фиг. 4 дано изображение в полулогарифметрических координатах, а на фиг. 5 приведена та же зависимость Эйнштейна с точками Цюрихской лаборатории и тоже с нанесением точек для других фракций, больших и меньших, чем исходные, но в простой координатной системе. Отмеченный выше разброс точек и сортировка их по фракциям также ясно выражены и здесь, но выступают менее чётко, что и следовало ожидать при изменении величины φ от значений 0,0001 до значений 1,0, что приводит к очень крутой кривой гиперболического типа.

Ограничившись установлением безразмерности своих комплексов, Эйнштейн не сделал попытки оценить полученные критерии подобия и установить их физический смысл.

Таким образом, не оправдана та положительная оценка, которая дана работе Эйнштейна чл.-корр. АН СССР М. А. Великановым в его очень интересных обзорах научных работ по транспорту наносов ([14], стр. 95—99; [15], стр. 437—443; [16], стр. 290—293).

Гидроэлектрическая лаборатория
Водно-Энергетического Института
Академии Наук Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Meyer-Peter—Wasserführung, Sinkstoffführung und Schlammablagerung des alten Rheins 1932 Mitteilung N. 31 des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft.
2. H. A. Einstein—Der hydraulische oder Profilradius. Schweiz. Bauz. 1934, B. 103, Nr. 8.
3. Meyer-Peter, Favre, A. Einstein—Neuere Versuchsergebnisse über den Geschiebetrieb. Schweiz. Bauz. 1934, B. 103, Nr. 13.
4. Meyer-Peter, Favre, Müller—Beitrag zur Berechnung der Geschiebewegung. Schweiz. Bauz. 1935, B. 105 Nr. 9 u 10.
5. Meyer-Peter, Hock, Müller—Beitrag der Versuchsanstalt für Wasserbau zur Lösung des Problems der Rheinregulierung. Schweizer. Bauz. 1937, B. 109 Nr. 16—18.
6. Meyer-Peter, Favre—Der wasserbauliche Modellversuch im Dienste der Wasserkraftnutzung und der Flusskorrektur. Festschrift der Technischen Hochschule. Zürich, Ende, 1937.
7. H. A. Einstein—Der Geschiebetrieb als Wahrscheinlichkeitsproblem. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau der Techn. Hochschule in Zürich. 1937.
8. Polya—Zur Kinematik der Geschiebewegung. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau der Techn. Hochschule in Zürich. 1937.
9. Fabre—Mesure des débits solides der cours d'eau. Annales des ponts et chaussées, 1938.
10. H. A. Einstein—Formulas for the transportation of bed load. Tr. Am. S. C. E. 1942, 561—597.
11. И. В. Егиазаров—Расход влекомого потоком наносов. Изв. АН Армянской ССР физико-мат., естеств. и техн. науки, № 5, 321, 1949.
12. И. В. Егиазаров—Расход довяных наносов. ДАН Армянской ССР. Т. XI, № 4, 1950
13. И. В. Егиазаров—К определению начальной влекущей силы транспорта наносов

и уточнение уравнения расхода влекомых потоком наносов. Изв. АН Арм. ССР, (физико-мат., естество. и техн. науки) Т. III, № 1, 1950.

14. М. А. Великанов.—Движение наносов. 1948.

15. М. А. Великанов.—Гидрология суши. 1948.

16. М. А. Великанов.—Динамика русловых процессов. 1949.

Բ. Վ. Նդիագարյան

ՀՈՍԱՆՔՈՎ ՏԱՐՎՈՂ ՋՐԱԲԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ԵԼՔԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ՑՅՈՒՐԻՒԻ
ՀԻԴՐՈԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ Հ. Ա. ԷՅՆՇԵՅՆԻ
ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՔՆՆԱԴԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում ցույց է տրված, որ Ցյուրիխի լաբորատորիայի հրատարակած աշխատանքներում հոսանքով տարվող ջրաբերուկների ելքի համար կախումները վերաբերում են ջրաբերուկների միայն այն ֆրակցիաներին՝ որոնցով լաբորատորիան աշխատանք է կատարել:

Լաբորատորիայում ստացված փորձնական կետերին ավելի խոշոր և ավելի մանր ֆրակցիաների համար նոր կետերի ավելացումը բերում է կետերի մեծ ցրվածության (ֆիգ. 1 և 2) և կետերի տեսակավորման ըստ ֆրակցիաների:

Ցույց է տրված, որ (1—2) կախումները երևույթը չեն մոդելացնում, հետևաբար չեն կարող ընդհանրացվել և հանդիսանում են զուտ էմպիրիկ կախումներ:

Այնուհետև հողվածում ցույց է տրված, որ Հ. Ա. էյնշայնի նոր աշխատանքը [10] հիմնված է մի շարք կամավոր ենթադրությունների վրա և թեև կապակցված է չափում չունեցող երկու կամայինքսների հետ, չի բավարարում նմանություն հայտանիշներին՝ ջրաբերուկների տրանսպորտի հայտանիշին, շփման հայտանիշին և տարման հայտանիշին, որոնք առաջարկված են սույն հողվածի հեղինակի կողմից [11, 12, 13]:

4 և 5 ֆիգուրաների վրա ցույց է տրված կետերի մեծ ցրվածություն և ըստ ֆրակցիաների տեսակավորում այն կետերի, որոնք ստացվում են, եթե էյնշայնի գրաֆիկի վրա ներկայացվեն ավելի խոշոր և ավելի մանր ֆրակցիաների համար փորձից ստացված կետերը:

Այսպիսով, էյնշայնի աշխատանքին ՍՍՌՄ Դիտ. Ակադ. թղթակիցանդամ Մ. Ա. Վելիկանովի տված գրական գնահատականը չի արդարացվում: