

Елена Грънчарова
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията
„Никола Пушкарров”, ССА
e-mail: eveha@abv.bg

**ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ И ОГРАНИЧАВАНЕ НА
ОТЛАГАНЕТО НА НАНОСИ В ОТКРИТИТЕ КАНАЛИ НА
НАПОИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ**

**PREDICTION ABILITYTIES AND LIMIT THE DEPOSITION OF
SEDIMENTS IN OPEN CHANNELS IRRIGATION SYSTEMS**

Elena Gruncharova
Institute of Soil Sciences, Agrotechnologies and Plant Protection
"N.Poushkarov"–Sofia, Bulgaria

***Summary:** Siltation of irrigation canals produces clogging of turn-outs, reduction of conveyance capacity of canals, overtopping, changes in the water distribution less reliable operation of flow control structures etc. They cause reduction in the amount of water available for the areas to be irrigated. Annually, high investments are required for rehabilitation of irrigation systems in order to keep them suitable for their purposes.*

Theories related to sediment transport are generally based on statistical correlations which invariably reflect typical characteristics of the data and the conditions of its origin. Understanding of the sediment transport phenomena is inadequate and this makes it difficult to predict.

The existing sediment transport relationships can be applied for better understanding and estimation of the processes at irrigation canals. In that way prediction of the sediment deposition in irrigation canals will be more reliable.

***Key words:** irrigation canals, sediment transport, stable non silting velocity, energy dissipation*

ВЪВЕДЕНИЕ

Постигането на устойчиво и екологосъобразно управление на водните ресурси е свързано с подобряване ефективността на управлението на напоителните системи и усъвършенстване контрола на напояването в условия на климатични промени.

Седиментните процеси имат негативно влияние върху системите за доставка, разпределение и използване на водата за напояване. Работните водни количества на напоителните канали се определят от вида и поливния режим на напояваните култури, а това определя и променливо

наносно количество по време на самия напоителен сезон. Годишното колебание на водното ниво във водоизточника също оказва влияние на наносното количество. В резултат водоразпределителните възли на напоителните системи се затлачват, което води до намаляване на пропускната способност на каналите, нарушаване на водоразпределението и намаляване на КПД на системата. По литературни данни е възможно дънните отложения да намалят използваемото водно количество с над 40 %. [11]. Ежегодно за драгирането и рехабилитацията им се отделят значителни средства.

ПОДХОДИ И МЕТОДИ ЗА ОПИСАНИЕ НА НАНОСНИТЕ ПРОЦЕСИ

Теориите за описание на седиментните процеси обикновено се основават на корелационни зависимости, които отразяват типичните характеристики на наносите и условията за възникването на процесите. В литературните източници съществуват повече от 100 формули за определяне на наносното количество [1, 4, 11]. Някои от тях са изведени на база на натурни данни, други на база на лабораторни изследвания и са свързани с много теоретични предпоставки, опростяване и презумпции. Някои автори смятат, че сложността на процеса не позволява да се намери универсална зависимост между наносното количество и един или комбинация от няколко хидравлични параметри.

Режимен метод

Режимният метод се основава на набор от емпирични зависимости, получени при наблюдения на алувиални речни системи или канали, намиращи се „в режим“. Терминът „в режим“ е приложим, когато за определен период от време (хидроложка година) геометричните и хидравличните характеристики варират около средните си стойности [9, 11]. Това е възможно при положение, че количеството входящи наноси е равно на изходящите от системата. Първите режимни зависимости са въведени от Kennedy 1885 г. и развити по-късно от Lacey (1930), който въвежда т. нар. фактор на утаяване, зависещ от диаметъра на наносните частици. [2, 8]. По-късно уравненията на Lacey са модифицирани въз основа на натурни наблюдения на алувиални канали [12, 13]. Теорията на Lacey е преформулирана [14], като са използвани закона за запазване на енергията и законите за движението на Нютон.

$$f = 50 \sqrt{d_m} \quad (1)$$

$$v_{\text{crit}} = 0.4382 \sqrt[6]{\frac{Q}{f^2}} \quad (2)$$

$$J = 0.000315 \frac{f^{5/3}}{Q^{1/6}} \quad (3)$$

$$\chi = 4.83 \sqrt{Q} \quad (4)$$

където f е фактор на утаяване, Q – водно количество, v_{crit} – критична незатлачваща скорост, J – хидравличен радиус, χ – намокрен периметър.

Метод на допустимата влачеща сила

Методът е разработен за граничното състояние на преминаване от покой в движение и се основава на баланса на силите, действащи на дънната частица. Включва метод на критичната неизравяща скорост и метод на критичното тангенциално напрежение.

Метод на критичната неизравяща скорост

В резултат на триенето на потока с ограничаващите го стени, възникват и се поддържат вихри, които предизвикват пулсации на скоростта. Напречните пулсации на скоростта са в следствие на надлъжните и също като тях имат нормално разпределение. Така потокът се разделя на зони с възходяща и низходяща скорост. В низходящата зона налягането е по-голямо от средното хидростатично, а енергията, в следствие забавяне на скоростта, се преобразува в потенциална. В зоните на подем, налягането е по-малко от средното хидростатично и този недостиг предизвиква издигане на дънните частици [1]. За начало на придвижване на дънните частици може да се дефинира както трептенето на отделни частици от дъното, така и масовото им придвижване. Средната скорост между двете състояния е критична неизравяща скорост. Формулите могат да се обобщят в два вида:

$$v = L \sqrt{gd} \sqrt[3]{\frac{h}{d}} \quad (5)$$

или

$$v = L\sqrt{gd} \ln\left(N \frac{h}{d}\right) \quad (6)$$

където L , M и N са константи и в различните формули са валидни при различни условия, h – дълбочина на течението, d – диаметър на наносните частици.

Критичната неизравняща скорост зависи от характеристиките на наносите, течението и напречното сечение. Ако средната скорост в канала е по-голяма от критичната неизравняща скорост, има отсъствие на седиментни процеси. Формулите са приложими при специфичните условия на извеждане на емпиричните зависимости и влияние върху резултатите оказват както хидравличните характеристики на течението, така и физико-механичните на наносите.

Метод на критичното тангенциално напрежение

Задвижването на наносите частици настъпва, когато тангенциалното напрежение в дъното ($\tau_0 = \eta h J$) надвиши определена критична стойност. В Табл. 1 са дадени някои стойности на τ_{crit} за различен диаметър на наносите [5].

Таблица 1. Критично тангенциално напрежение за фини несвързани седименти

d_{50} (mm)	τ_{crit} (N/m ²) при бистри води	τ_{crit} (N/m ²) при мътни води
0.1	1.20	3.60
0.2	1.25	3.75
0.5	1.44	3.98

Един от най-популярните критерии за определяне на момента на начало на придвижването е диаграмата на Shields, обединяваща тангенциалното напрежение в дъното, плътността на флуида и твърдите частици, диаметъра на частиците, кинематичния вискозитет и земното ускорение в два бездименсионални параметъра. Диаграмата на Shields е допълнена за момента на преминаване на дънните наноси в плаващи [4]. Графичната зависимост е лесно приложима и достатъчно надеждна за инженерната практика.

Рационален метод

Използват се уравненията за съпротивлението и за наносния транспорт в комбинация с различни зависимости, които изразяват равновесното състояние на системата. Ted Chi Yang дефинира величината единица мощност на течението като количеството загуби на потенциална енергия на единица тегло от водата за единица време [15]:

$$E_{dis} = \rho g v J \quad (7)$$

където E_{dis} е единица мощност на течението, ρ – плътност на водата.

Според същата теория, когато системата е в равновесие, дисипацията на енергията е минимална, т.е. величината единица мощност на течението е \min .

$$\frac{dy}{dt} = vJ = \min \quad (8)$$

Съгласно критерия на Shoemaker, за да се осигури транспортиране на наносите през системата, стойността на E_{dis} не трябва да намалява по дължината ѝ. Съгласно формулата на Vlutger [6, 10]

$$\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \omega_0 = v i_0 \quad (9)$$

където ρ_s е плътност на наносите, ω_0 – хидравлична едрина, i_0 – наклон на дъното.

От (7) и (9) следва

$$\omega_0 = \frac{E_{dis}}{0.6 \rho g} \quad (10)$$

За частици с диаметър по-малък от 0.2 mm е приложима формулата на Rubey [10]

$$\omega_0 = \frac{1}{18} g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{d_m^2}{\nu} \quad (11)$$

където d_m е среден диаметър на наносите, ν – кинематичен коефициент на вискозност.

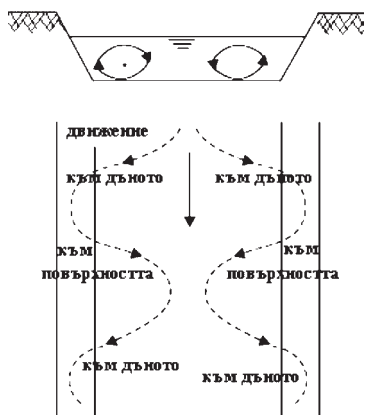
От формули (10) и (11) се извежда зависимост, която обединява диаметъра на наносите частици с единица мощност на течението, която дава възможност да се направи предварителна оценка на седиментното отложение.

ние. Тя е приложима при голямо количество на размитите наноси. Като достатъчна мярка се приема изграждането на пясъкоуловител в началото на системата, който да осигури стойност на E_{dis} във всички участъци по-голяма от минималната.

РЕЗУЛТАТИ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА НАНОСНИТЕ ПРОЦЕСИ В УСЛОВИЯТА НА ОТКРИТИТЕ КАНАЛИ НА НАПОИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ

Сравнението между различните концепции за седиментните процеси и приложението им при специфичните условия на откритите канали на напоителните системи може да подпомогне по-удачното им приложение.

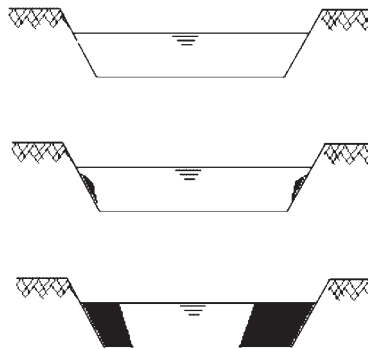
Общо за наносите в напоителните системи се счита, че между 40 % и 70 % от наносното количество се намира на дълбочина 0.6 от дълбочината на течението и траекторията на движението и скоростта им е почти същата като на водните честици (Фиг. 1). Интересен феномен е утаяването на размитите наноси не по дъното, а по откосите на канала [7], което води до увеличаване на проектния откос и намаляване на напречното сечение, респективно пропускната способност (Фиг. 2).



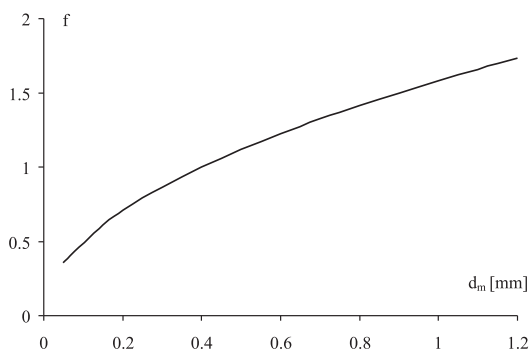
Фиг. 1. Траектории на движение на наносните частици

По формула е определен диаметърът на наносните частици в зависимост от фактора на утаяване и резултатите са показани на Фиг. 3.

За напоителен канал с трапецовидно напречно сечение с откос 2:1,



Фиг. 2. Стеснение на напречното сечение

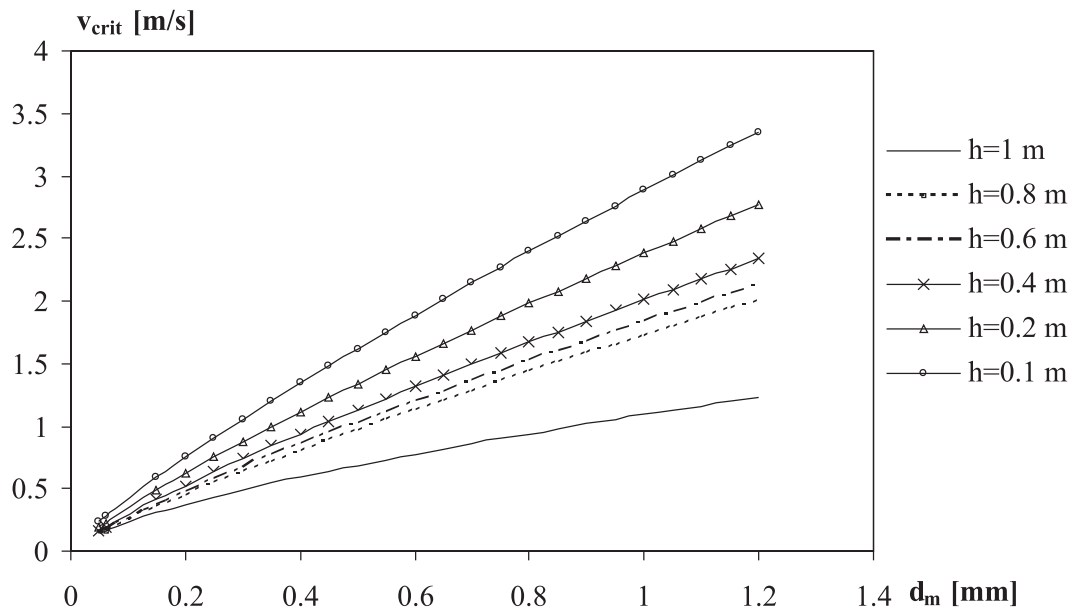


Фиг. 3. Влияние на диаметъра на наносните частици в зависимост от фактора на утаяване

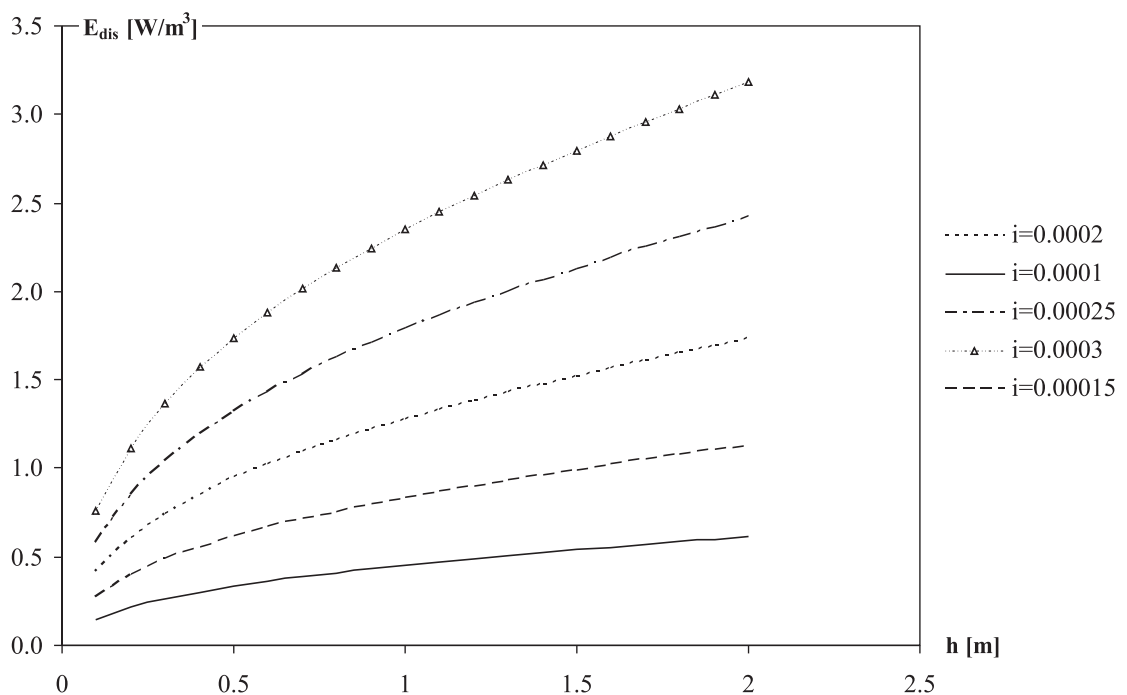
наклон на дъното 0.000233 и грапавина 0.013 е изчислена критична незагъваща скорост по формула (2) при различни дълбочини на течението в канала. Резултатите са показани на Фиг. 4.

За същия канал е изчислено и изменението на единица мощност на течението при промяна на дълбочината му по формула (7) за различни стойности на наклона на дъното (Фиг. 5).

Извършено е сравнение на методите на Lacey и Yang, като е изчислен критичния диаметър в зависимост от дълбочината на течението за напоителен канал с трапецовидно напречно сечение с откос 2:1 и грапавина 0.013 при различен наклон на дъното (Фиг. 6). Резултатите показват, че по формулата на Lacey се получават по-високи прогнозни стойности на критичния диаметър на наносите в сравнение с този, изчислен по метода на Yang при един и същ наклон и дълбочина на течението.



Фиг. 4. Изменение на критичната незатлачваща скорост в зависимост от средния диаметър на наносите и дълбочината на течението



Фиг. 5. Изменение на единица мощност на течението при различни дълбочини и наклон на дъното

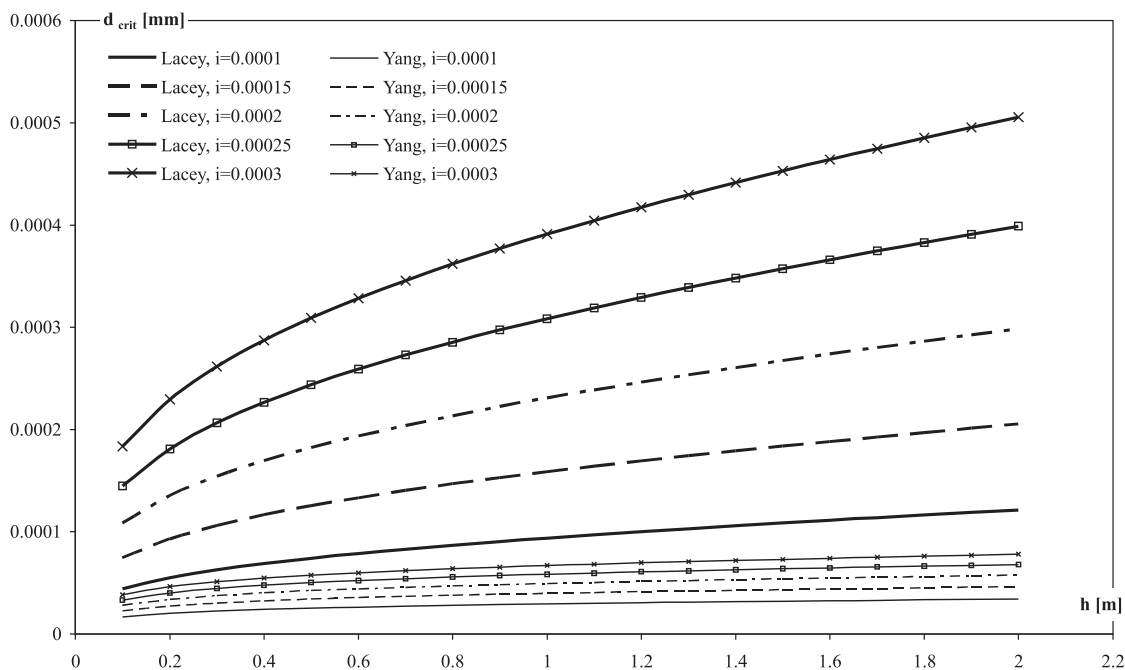
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Големите разлики между резултатите на различните автори не позволяват да се препоръча някоя от описаните зависимости като универсална.

С оглед на различията на процесите при възникването и движението на

видовете наноси би могло да се направи следното обобщение:

При опасност от затлачване с голямо количество плаващи наноси, като подходящ за прогнозиране на наносните процеси се препоръчва методът на Lacey. Като достатъчна мярка за ограничаване на вредното



Фиг. 6. Сравнение между резултатите по метода на Lacey и Yang

влиянието на наносите се приема изграждането на пясъкоуловител в началото на напоителната система, който да осигури стойност на единица мощност на течението във всички участъци по-голяма от минималната.

При опасност от заглачване с голямо количество размити наноси, като подходящ за прогнозиране на наносните процеси се препоръчва методът на Yang. С оглед на тенденцията да се заглачват първо откосите, е желателно да се вземат мерки за намаляване на грапавината им.

Резултатите задължително се верифицират с повече от един метод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абальянц, С., (1981). Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах, Ленинград, Гидрометеониздат.
2. Blench, T., (1957). Regime behaviour of canals and rivers. Butterworths Scientific Publications. London, England
3. Chang, H., (1988). Fluvial processes in river engineering. John Wiley & Sons. New York, USA
4. Cheng, Nian-Sheng (2002). Exponential Formula for Bedload Transport, Journal of Hydraulic Engineering 128 (10): 942
5. Dahmen, E. R., (1994). Lecture Notes on Canal Design. IHE, International Institute for Hydraulic, Infrastructure and Environment Engineering. Delft, the Netherlands
6. de Vries M. (1993). Use of models for river problems, UNESCO Publishing, France.
7. Garde, R.J. & K.G. Ranga Raju. (1977). Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems. Wiley Eastern Limited, New Delhi
8. HR Wallingford, (1992). DORC: user manual. HR Wallingford, Wallingford, United Kingdom
9. Raudkivi A. J., (1990). Loose Boundary Hydraulics. 3rd Edition. Pergamon Press. Great Britain.
10. Semadeni-Davies, A., (2009). Fall Velocities of Stormwater Sediment Particles. Literature Review. Prepared by IWA Ltd for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Technical Report 2009/035
11. Shen, H. W., (1976). Stochastic approaches to water resources (Vol. I and II). Colorado State university. Fort Collins, Colorado
12. Simons, D. and Senturk, F., (1992). Sediment Transport Technology, Water and Sediment Dynamics. Water Resources Publications. Colorado, USA
13. Simons, D. B. and Albertson, M. L., (1963). Uniform Water Conveyance Channels in Alluvial Material. Transactions, ASCE, 128(1): 65-167
14. Stevens, M. A. and Nordin, C. F., (1987). Critique of the Regime Theory for Alluvial Channels. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(11): 1359-1380
15. Yang, C. T. (1972). Unit stream power and sediment transport. ASCE Journal of the Hydraulics Division, V. 98(HY 10): 1805-1826