

УДК 656.6: 519.863

Верещака М. А.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ОБСЯГУ ТА ТРИВАЛОСТІ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ**

Внутрішні водні шляхи відіграють важливу роль у забезпеченні перевезень річковим транспортом. Для підтримання їх у належному стані необхідне періодичне проведення днопоглиблювальних робіт, оскільки в силу природних процесів глибини поступово зменшуються, що унеможливорює судноплавство.

Загальній проблематиці експлуатації водних шляхів присвячена монографія [1]. Питання проведення днопоглиблювальних робіт висвітлюються у [2], зокрема, на внутрішніх водних шляхах у [3, 4]. Слід відзначити й відповідні нормативні видання [5, 6]. Вплив зменшення обсягів днопоглиблювальних робіт на скорочення судноплавних глибин на річках досліджений у [7]. Теоретичні засади розрахункового обґрунтування днопоглиблення на судноплавних річках з'ясовані у [8], проте акцент там зроблено на гідрологічних аспектах. Особливості проведення днопоглиблювальних робіт технічним флотом України розглянуті у [9, 10].

У той же час, значно менша увага у літературі приділяється дослідженню не технологічних питань проведення днопоглиблювальних робіт, а обґрунтуванню їх параметрів з точки зору економічної доцільності та ефективності. Можна відзначити хіба що роботу [11], де з'ясовується економічна ефективність розширення габаритів водного шляху в залежності від стійкості русла. З нашої ж точки зору, необхідно визначати оптимальні обсяги та тривалості проведення днопоглиблювальних робіт, виходячи з максимізації прибутку як різниці між доходами від подальшого використання внутрішніх водних шляхів та витрат на днопоглиблення, що є можливим лише у рамках відповідних математичних моделей.

Метою статті є побудова та аналіз математичних моделей оптимізації обсягу та тривалості днопоглиблювальних робіт на внутрішніх водних шляхах.

Величина днопоглиблення за даних зовнішніх умов залежить від витрат фінансів (до яких у кінцевому підсумку зводяться усі технічні та трудові ресурси) та часу. Зрозуміло, що із збільшенням фінансових та часових ресурсів величина днопоглиблення зростатиме, проте поступово все повільніше, оскільки із зростанням глибин проводити днопоглиблювальні роботи стає дедалі складніше. Принциповий вигляд таких зростаючих та опуклих догори залежностей величини днопоглиблення від кожного з цих факторів за різних значень іншого показано на рис. 1 та рис. 2.

Для адекватного урахування впливу витрат та часу днопоглиблювальних робіт на величину днопоглиблення приймемо цю залежність мультиплікативною (аналогічною функції Кобба-Дугласа [12]), що акцентує важливість обох факторів:

$$l = az^b t^c, \quad (1)$$

де  $l$  – величина днопоглиблення;

$z$  – витрати на проведення днопоглиблювальних робіт;

$t$  – час проведення днопоглиблювальних робіт;

$a, b, c > 0$  – параметри мультиплікативної залежності величини днопоглиблення від витрат та часу проведення днопоглиблювальних робіт, причому  $b + c < 1$ , що відображає ускладнення проведення днопоглиблювальних робіт із зростанням глибини.

З іншого боку, чистий дохід від експлуатації внутрішніх водних шляхів зростатиме за величиною днопоглиблення, оскільки тоді зможуть проходити судна більшого розміру, але поступово все повільніше, позаяк із зростанням розмірів суден кількість їх суднозаходів спадатиме через усе меншу кількість самих таких суден та потреб у відповідних перевезеннях.

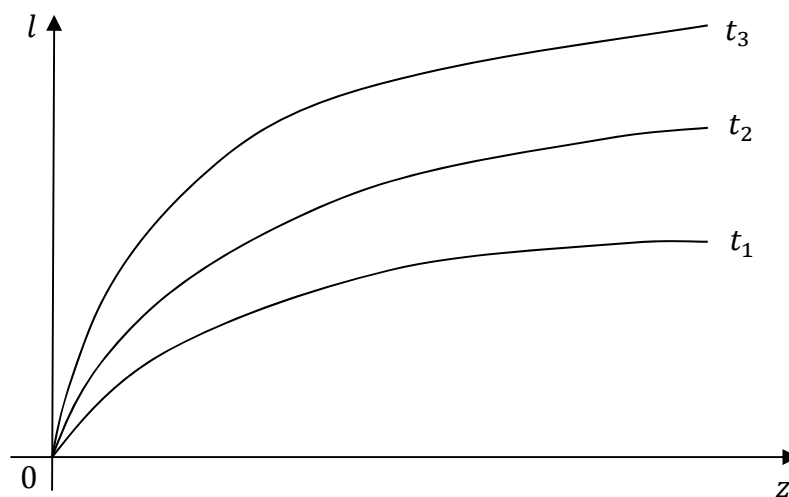


Рис. 1. Залежності величини днопоглиблення  $l$  від витрат на проведення днопоглиблювальних робіт  $z$  за різного часу їх проведення  $t_1 < t_2 < t_3$

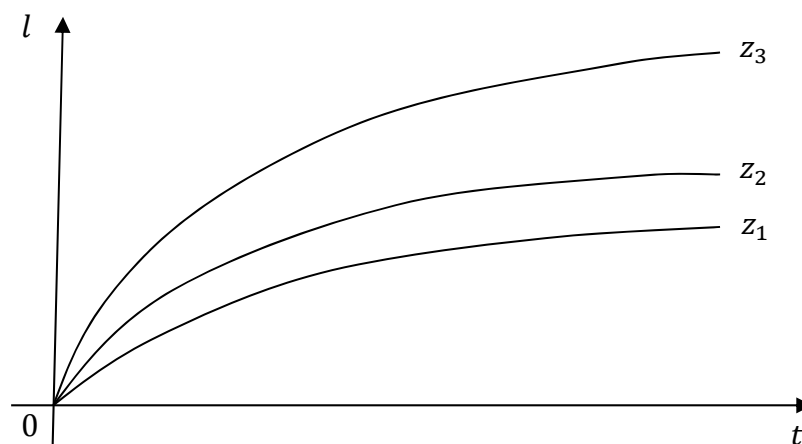


Рис. 2. Залежності величини днопоглиблення  $l$  від часу проведення днопоглиблювальних робіт  $t$  за різних витрат на їх проведення  $z_1 < z_2 < z_3$

Тож позначимо:

$d$  – показник ефективності експлуатації внутрішніх водних шляхів у залежності від величини днопоглиблення;

$d\sqrt{l}$  – чистий дохід від експлуатації внутрішніх водних шляхів за одиницю часу;

$T$  – період часу, що розглядається (горизонт планування);

$T - t$  – загальний час експлуатації внутрішніх водних шляхів після проведення днопоглиблювальних робіт;

$D = d\sqrt{l}(T - t)$  – чистий дохід від експлуатації внутрішніх водних шляхів за час  $T - t$  (рис. 3).

У моделі, що пропонується, максимізується прибуток  $F$  від експлуатації внутрішніх водних шляхів як різниця між чистим доходом при певній глибині судноплавного шляху та витратами на проведення відповідних днопоглиблювальних робіт:

$$F = d(T - t)\sqrt{l} - z = d(T - t)\sqrt{az^bt^c} - z \rightarrow \max . \quad (2)$$

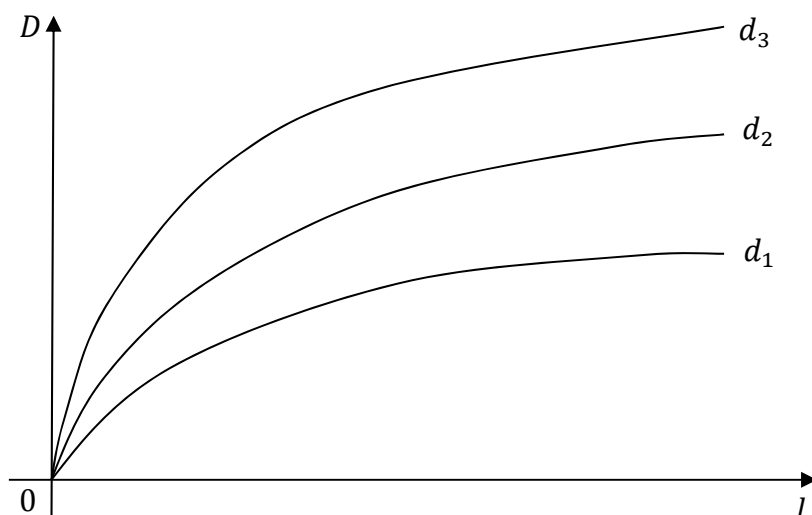


Рис. 3. Залежності доходу  $D$  від експлуатації внутрішніх водних шляхів за певний час від величини днопоглиблення  $l$  за різних значень ефективності  $d_1 < d_2 < d_3$

Дорівнюємо до нуля перші часткові похідні від цільової функції (2) за параметрами управління моделі  $t$  та  $z$ :

$$\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial t} &= d\sqrt{a}z^b \left( \frac{c}{2} t^{c/2-1} (T-t) - t^{c/2} \right) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial z} &= d\sqrt{a} \frac{b}{2} z^{b/2-1} t^{c/2} (T-t) - 1 = 0.\end{aligned}$$

Звідси аналітично встановлюємо оптимальні значення тривалості днопоглиблювальних робіт:

$$t^* = T \frac{c}{c+2}; \quad (3)$$

витрат на їх проведення:

$$z^* = \sqrt[1-\frac{a}{2}]{\frac{d\sqrt{a}b\left(\frac{c}{c+2}\right)^{c/2} T^{(c/2+1)}}{c+2}}, \quad (4)$$

та самої величини днопоглиблення:

$$l^* = \left( ad^b b^b c^c \left( \frac{T}{c+2} \right)^{b+c} \right)^{\frac{2}{2-b}}. \quad (5)$$

З формули (3) бачимо, що оптимальна тривалість проведення днопоглиблювальних робіт прямо пропорційна горизонту планування, не перевищує його третини (в силу умови  $c < 1 - b$ ) й визначається всього двома показниками  $T$  та  $c$ , при цьому не залежить від параметрів  $a$  та  $b$  мультиплікативної функції (1).

Оптимальні ж витрати на проведення днопоглиблювальних робіт визначаються за набагато складнішою формулою (4), у якій задіяні вже всі параметри моделі, та зростають

із збільшенням горизонту планування  $T$  та ефективності експлуатації внутрішніх водних шляхів  $d$  (за умови розв'язності задачі  $a < 2$ ); відповідно зростатиме при цьому й оптимальна величина днопоглиблення (5).

Заслуговує на увагу й інший підхід до оптимізації величини днопоглиблення, коли замість її збільшення для забезпечення проходу суден великих розмірів застосовуються так звані фідерні судна менших розмірів, що не потребують значного днопоглиблення, на які перевантажуються вантажі з великих суден.

При такому підході виграш досягається за рахунок зменшення потрібної величини днопоглиблення, натомість зростають витрати на перевантаження та використання фідерних суден. Тобто дохід вже втрачає залежність від величини днопоглиблення, залишається його залежність тільки від часу експлуатації водних шляхів. Проте, окрім витрат на саме днопоглиблення, додаються ще й витрати на перевантаження та фідерні судна, які будуть обернено пропорційними (з відповідним параметром  $e$ ) величині днопоглиблення, оскільки чим вона більша, тим менша потреба у фідерних суднах (рис. 4).

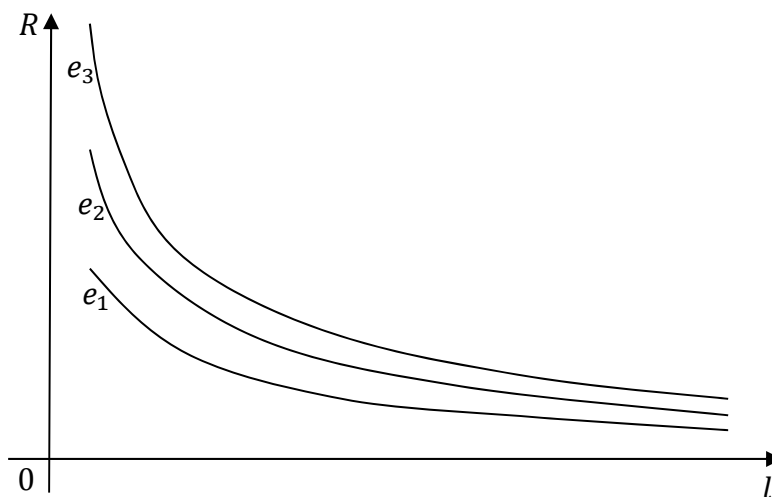


Рис. 4. Залежність витрат на фідерні судна  $R$  від величини днопоглиблення  $l$  за різних значень параметру  $e_1 < e_2 < e_3$

Тоді функція прибутку буде мати вигляд:

$$F = d(T - t) - z - \frac{e}{l} = d(T - t) - z - \frac{e}{az^b t^c} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Дорівнюємо до нуля перші часткові похідні від цільової функції (6) за параметрами управління моделі  $t$  та  $z$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t} &= -d + c \frac{e}{a} z^{-b} t^{-c-1} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial z} &= -1 + \frac{be}{a} z^{-b-1} t^{-c} = 0. \end{aligned}$$

Звідси оптимальні значення тривалості днопоглиблювальних робіт:

$$t^* = \sqrt[b+c+1]{\frac{ec}{da} \left(\frac{c}{bd}\right)^b}; \quad (7)$$

витрат на їх проведення:

$$z^* = \frac{bd}{c} t^* = \sqrt[b+c+1]{\frac{ec}{da} \left(\frac{bd}{c}\right)^{c+1}}; \quad (8)$$

та самої величини днопоглиблення:

$$l^* = a(z^*)^b (t^*)^c = \sqrt[b+c+1]{\frac{da}{ec} \left(\frac{bd}{c}\right)^b \frac{ec}{d}}. \quad (9)$$

Цікаво, що оптимальні величини тут вже не залежать від горизонту планування  $T$ . Із зростанням же ефективності експлуатації внутрішніх водних шляхів  $d$  оптимальні витрати на проведення днопоглиблювальних робіт збільшуватимуться (як і в попередньому випадку без використання фідерних суден), а оптимальна тривалість та оптимальна величина днопоглиблення скорочуватимуться на відміну від попереднього випадку. Тобто уведення можливості використання фідерних суден логічно знижує вимоги до величини днопоглиблення на внутрішніх водних шляхах.

### ВИСНОВКИ

Таким чином, у статті аналітично знайдені оптимальні (з точки зору прибутку як різниці доходів від використання водних шляхів та витрат на їх днопоглиблення) значення обсягів та тривалостей днопоглиблювальних робіт й самої величини днопоглиблення, у тому числі в умовах використання фідерних суден. Встановлений вплив показника ефективності експлуатації внутрішніх водних шляхів та горизонту планування на оптимальні значення обсягів та тривалостей днопоглиблювальних робіт й оптимальну величину днопоглиблення за різних умов.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришанин К. В. Водные пути / К. В. Гришанин, В. В. Дегтярев, В. М. Селезнев. – М. : Транспорт, 1986. – 400 с.
2. Бородулин Я. Ф. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы / Я. Ф. Бородулин, Б. Н. Суценко. – М. : Транспорт, 1973. – 432 с.
3. Седых А. И. Путевые работы на судоходных реках / А. И. Седых, Ф. М. Чернышев, А. В. Кабанов. – М. : Транспорт, 1978. – 328 с.
4. Серебряков А. В. Организация и планирование путевых и строительных работ на речном транспорте / А. В. Серебряков, А. М. Бутылин. – М. : Транспорт, 1986. – 231 с.
5. Руководство по методам расчета, планирования и оценке эффективности путевых работ на свободных реках. – М. : Транспорт, 1978. – 104 с.
6. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках. – СПб : ЛИИВТ, 1992. – 312 с.
7. Кабанов А. В. Прогнозирование транзитных глубин при резком уменьшении объемов землечерпательных работ на реках / А. В. Кабанов. – Новосибирск : НГАНТ, 1995. – 118 с.
8. Гладков Г. Л. Теоретические основы расчетного обоснования путевых мероприятий на судоходных реках / Г. Л. Гладков // Журнал университета водных коммуникаций. – 2010. – № 2. – С. 74–83.
9. Казаков А. Дноуглубление: украинский вариант / А. Казаков, В. Малаховский // Порты Украины. – 2010. – № 7. – С. 31–34.
10. Калиниченко В. Проектирование дноуглубительных работ / В. Калиниченко // Порты Украины. – 2012. – № 6. – С. 46–48.
11. Шатаева С. Г. Исследование экономической эффективности увеличения габаритов пути в зависимости от устойчивости русла : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.22.17 «Водные пути сообщения и гидрография» / С. Г. Шатаева. – М. : ЦНИЭиЭВТ, 1972. – 20 с.
12. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория : пер. с англ. / М. Интрилигатор. – М. : Прогресс, 1975. – 606 с.