

зменшитися. Отже, вплив коефіцієнта  $K_c$  на роботу клапана є суттєвим, тому отримані результати слід враховувати при дослідженні роботи клапана бурового насоса.

### Література

- 1 Верзилин О.И. Современные буровые насосы. – М.: Машиностроение, 1971. – 255 с.
- 2 Караев М.А. Гидравлика буровых насосов. – М.: Недра, 1975. – 184 с.
- 3 Николич А.С. Поршневые буровые насосы. – М.: Недра, 1973. – 224 с.

4 Милько Б.Д., Ливак І.Д. Дослідження роботи клапанів бурових насосів // Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу Івано-Франківського державного технічного університету. – Івано-Франківськ, 1996. – Ч. 2. – С. 4.

5 Мкртычан Я.С. Новые разработки по повышению надежности и долговечности промышленных насосов // Обзорная информация. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1984. – 62 с.

6 Ливак І.Д. Исследование трехпоршневых буровых насосов и усовершенствование конструкций клапанных групп // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 1996. – 224 с.

УДК 556.06 (234.421.1)

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНОЇ СКЛАДОВОЇ ГІДРОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІЛЯ ПІДНІЖЖА ГОРИ ГОВЕРЛИ

Л.М.Консевич, Я.О.Адаменко, Т.В.Кундельська

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Курпатська, 15, тел. (03422) 42183,  
e-mail: public@ifntung.if.ua

*Описаны методы определения гидрологического потенциала р. Прут у подножья горы Говерлы. Приведены данные из собственных исследований авторов: определение зависимости модуля стока от высоты водосборной площади, рассчитан средний многолетний модуль стока, приведены типичные схемы динамики стока и расход воды р. Прут на исследуемой территории.*

*Methods of hydrological potential determination of river Prut near the bottom of Goverla mountain are highlighted in the article. Data from the own research work are given: determination of sink modulus relation with the height of water supply are, the average sink modulus during several years is calculated, general dynamical plots of the sink and water flow of Prut river at the studied area are given.*

Українські Карпати розташовані на Головному європейському вододілі, звідки ріки стікають в Чорне море. Гумідний і евгумідний клімат Чорногірського масиву зумовлює формування густої мережі гірських рік різних порядків в районі гори Говерли. Ріки відрізняються значними нахилами русел, швидкою течією, невиробленим підозвжнім профілем, незначною глибиною, а також бурхливими повенями і паводками.

Малюнок гідромережі різний для різних тектонічних зон, що пов'язано з неоднаковою стійкістю гірських порід до розмиву. В Говерлянській підзоні Чорногірської зони, де ззовні хаотично чергуються відклади з різною стійкістю до розмивання, гідромережа має безладний характер: багато дрібних, сильно розгалужених приток Прута, які часто змінюють напрям русел. Всі ріки на досліджуваній території згідно з класифікацією Львовича належать до змішаного типу живлення — ґрунтовими, дошовими і талими водами. Влітку переважає дощове живлення, восени — дощове і підземне, взимку — талими водами, навесні — снігове і дощове.

Об'єктом наших досліджень є верхів'я р. Прут перших 10 км від витoku. Замикаючий створ розташований на рівні контрольно-пускового пункту Говерлянського лісництва Кар-

патського національного природного парку. Натурні дані спостережень для цієї ділянки ріки відсутні, тут ніколи не існувало гідрологічного посту. Найближчі гідрометричні спостереження знаходимо на річці Прут у с. Татарові (Кремінці).

Загалом р. Прут притаманний типово гірський характер. Долина її майже пряма, біля витоків це глибокий каньйон з вузьким дном (1-3 м), нижче (в межах гір) — долина зазвичай V-подібна. Ріка тече в кам'янистому, вузькому, порожистому, неширокому (1-10 м) руслі, є водоспади. Швидкість течії від 1,5 до 4,5 м/с і більше. Глибина потоку 5-30 см, інколи досягає 1 м. У розвитку русла ріки основна роль належить процесам глибинної ерозії.

Велика мінливість водного режиму ріки пов'язана як з особливостями синоптичних процесів, які розвиваються над цією територією, так і з особливостями підстилаючої поверхні (великі нахили місцевості, нерозвинений ґрунтовий покрив і мала водопроникність гірських порід), що зумовлює швидкий і зосереджений стік води в ріки під час опадів і сніготанення.

Водність досліджуваної ділянки істотно змінюється протягом року. Характерною особливістю внутрішньорічного розподілу стоку є наявність нестійкої літньо-осінньої та зимової

межені та нечітко вираженого весняного водопілля, сформованого талими і дощовими водами. Весь теплий період року характеризується частим випаданням зливових опадів, внаслідок чого на ріці щорічно утворюються дощові паводки. У середньому за рік спостерігається 8-10 паводків. Найбільш катастрофічні паводки повторюються протягом року, у переважній більшості років максимальні витрати води весняного водопілля поступаються максимальним витратам дощових паводків. Тривалість стояння високих рівнів паводків незначна і не перевищує зазвичай чотирьох-восьми діб.

Найбільші підняття води бувають у літній період внаслідок зливних і затяжних дощів у горах. Восени в кінці жовтня і на початку листопада також спостерігається підвищення рівнів води. У середньому багаторічний стік розподіляється так: навесні (березень-травень) і влітку (червень-серпень) він становить 55-70%; взимку (грудень-лютий) найменший і дорівнює 10-15% річного стоку.

Прут — ліва притока ріки Дунай, формується з кількох приток-потічків, які по днищах льодовикових карів течуть у звивистих неглибоких руслах і, зливаючись, дають початок річці. Ріка Прут починається на північних схилах Чорногірського хребта на висоті понад 1750 м над рівнем моря та витікає між Говерлою і Гомулом. Ліва притока Пруту, що бере початок на схилах Говерли, утворює мальовничий і найбільший в Українських Карпатах водоспад Гук заввишки близько 84 метрів. Довжина досліджуваної ділянки ріки 10 км, площа водозбору 62,45 км<sup>2</sup>, загальне падіння близько 800 м, загальний нахил ділянки 80%.

Аналіз розрахованих основних характеристик (витрата і модуль) річкового стоку для 87 постів Карпатського регіону дає підстави зробити висновок, що водність рік Українських Карпат збільшується з висотою місцевості і зменшується з північного заходу на південний схід. Тобто на північному заході на одних і тих же висотах ріки характеризуються більш високим стоком, ніж на південному сході [1, 2].

Нами були отримані кореляційні зв'язки між нормою стоку, яка виражена середньобагаторічним модулем стоку, та середньою висотою водозборів. Обробивши базу даних за середньомісячними витратами води за весь час спостережень для всіх водпостів Карпатського регіону, ми отримали власні дані щодо норми стоку для 87 створів. Дані щодо середньої висоти водозборів до замикаючих створів приймалися кадастрові [2, 3].

Значимість коефіцієнта кореляції оцінювалась за допомогою таблиць квантилей F-розподілу та таблиць значимості коефіцієнта кореляції. Останні мають два входи — число ступенів свободи, яке дорівнює кількості спостережень, зменшеній на 2. Рівень значимості прийнятий 5%. Задавши рівень значимості та визначивши кількість ступенів свободи, знаходили відповідне критичне значення коефіцієнта кореляції. У всіх випадках знайдене значення коефіцієнта кореляції було більше від критичного.

Критерій Фішера, або значення F-статистики, яке відповідає фактичному коефіцієнту кореляції, вираховувався програмою. Аналогічно з попереднім визначенням значимості коефіцієнта кореляції критичні значення критерію Фішера знаходились за стандартними таблицями. Нульова гіпотеза  $H_0/p=0$  відхиляється, якщо знайдене  $F_{st} \geq F(a, v)$ , і приймається як та, що підтвердилась, якщо  $F_{st} \leq F(a, v)$ . У всіх випадках, що нами розглядалися, нульова гіпотеза була відхилена за умов, коли рівень значимості приймався 5%, 1% і навіть 0,1%.

Враховуючи групування водозборів за ознакою приблизно однакової орієнтації та доступності вологих повітряних мас і за характером рельєфу, виділено 5 районів в Карпатському регіоні. Для яких побудовані залежності модуля річкового стоку від середньої висоти водозборів. Досліджувана ділянка р. Прут належить до четвертого гідролого-гідроенергетичного району. Це найбільш висока частина Карпат, абсолютні висоти перевищують 2000 м. З великим діапазоном середніх висот водозборів пов'язане значне коливання річного стоку [2, 3].

Залежність модуля стоку від середньої висоти водозбору для описуваного району представлена на рис. 1. Крива описується рівнянням

$$y = bx^3 + c(\ln x)^2,$$

коефіцієнт парної кореляції дорівнює 0,87 ( $F_{st} = 82,86 > F(0,1\%) = 18,64$ ), що є задовільним для визначення за цією залежністю річного стоку невивчених рік описуваного району.

Наведений зв'язок є найбільш обґрунтованим для визначення середнього багаторічного стоку верхів'їв Прута. Точність розрахунку стоку за цими залежностями, одержана шляхом порівняння стоку в замикаючому створі з середньозваженим значенням норми стоку по окремих висотних зонах, задовільна. Похибки визначення не перевищують 10-15%.

Для зручності користування цією залежністю в табл. 1 уточнені її координати для різних діапазонів висот. Вертикальний градієнт модуля стоку вище 900 м над рівнем моря в досліджуваному районі становить 4,5 л/с км<sup>2</sup>.

Середня висота елементарних водозборів верхів'їв р. Прут визначена шляхом планіметрування. Виходячи із залежності, розрахований середньобагаторічний модуль стоку. Формула для розрахунку модуля стоку дає змогу визначити потрібні нам середньобагаторічні витрати води

$$M = \left( \frac{Q}{F} \right) \cdot 1000$$

Дані розрахунків зведені в табл. 2.

Таким чином, середньобагаторічна витрата води в замикаючому створі досліджуваної ділянки р. Прут становить 1,87 м<sup>3</sup>/с.

Розрахунок місячних норм стоку та наявність бази даних для пунктів спостережень регіону дали змогу отримати параметри кількісної складової внутрішньорічного розподілу стоку для умов середнього, багатоводного і мало-

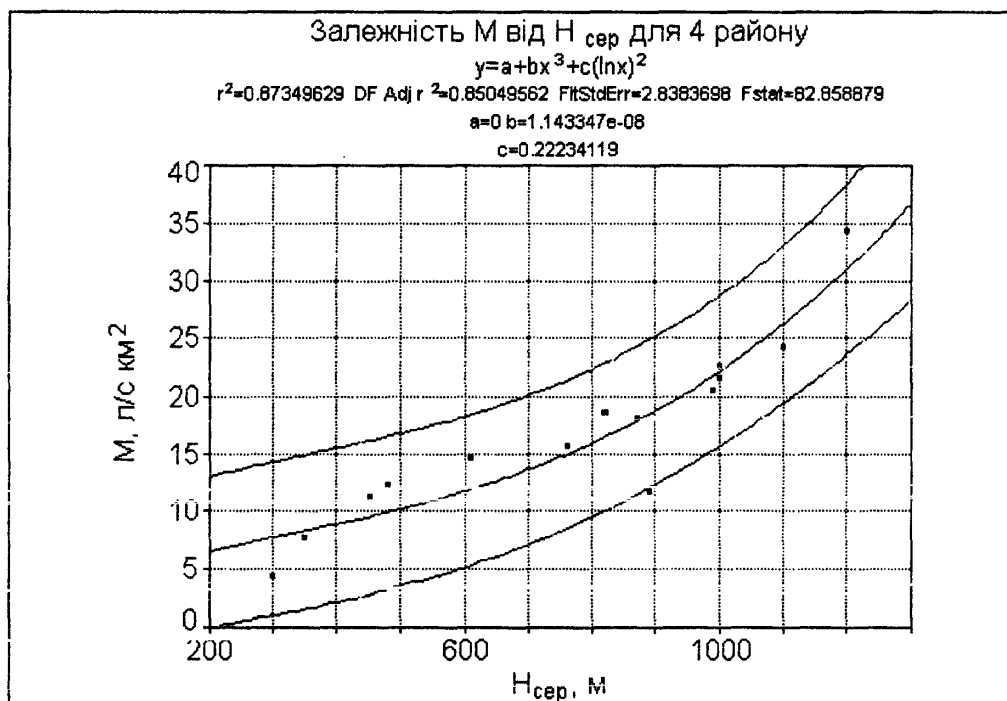


Рисунок 1 — Залежність модуля річного стоку від середньої висоти водозбору для досліджуваного району

Таблиця 1 — Залежність модуля стоку від висоти водозбірної площі

Середня висота водозбору, м	Південно-східний схил, четвертий район, л/с км <sup>2</sup>
900	18.62
1000	22.04
1100	26.12
1200	30.93
1300	36.55

Таблиця 2 – Кількісні показники стоку досліджуваної ділянки р. Прут

Номер басейну	Площа, км <sup>2</sup>	Середня висота, м	Модуль стоку, л/с км <sup>2</sup>	Витрата води, м <sup>3</sup> /с
1	7,22	1677	51,3	0,414
2	8,497	1294	36,5	0,31
3	9,41	1075	25,1	0,235
4	1,645	1162	29,0	0,048
5	2,4	1082	25,4	0,061
6	12,0	1161	29,0	0,348
7	1,92	1017	22,4	0,043
8	0,587	947	20,2	0,012
9	5,76	1009	22,6	0,13
10	0,455	1016	22,4	0,010
11	9,099	985	21,5	0,195
12	1,74	933	19,7	0,034
13	1,72	936	19,85	0,034
Разом:				1,874

водного року вивчених рік і скласти типову таблицю розподілу стоку за сезонами і місяцями для невивчених рік кожного гідрологічного

району. З огляду на це визначені основні закономірності внутрішньорічного розподілу стоку рік Карпатського регіону [1].

Таблиця 3 — Типові схеми динаміки стоку верхів'я Пруту (% від річного)

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Весна (III-V)	Літо (VI-VIII)	Осінь (IX-XI)	Зима (XII-II)
Середній за водністю рік																
4	3,51	4,42	8,68	15,5	13,8	13,3	12,1	8,33	6,39	4,54	4,76	4,64	38,0	33,7	15,7	12,6
Маловодний рік																
4	6,74	4,56	10,9	17,5	8,25	9,61	14,2	7,10	6,86	4,99	4,48	4,79	36,7	30,9	16,3	16,1
Багатоводний рік																
4	1,22	2,62	3,62	14,9	12,3	16,7	16,9	10,5	5,32	5,19	6,15	4,49	30,9	44,2	16,7	8,33

Таблиця 4 — Середньомісячні витрати води верхів'я Пруту для умов середнього за водністю року в м<sup>3</sup>/с (створ біля контрольно-пропускного пункту Говерляньського лісництва КНПД)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,44	0,99	1,53	3,49	3,1	2,99	2,72	1,87	1,44	1,02	1,07	1,04

Розрахунок типового внутрішньорічного розподілу стоку для досліджуваної ділянки р. Прут наведений в табл. 3.

Аналіз динаміки стоку ріки дає підстави зробити висновок, що лімітуючим періодом при визначенні розрахункового розподілу стоку в роки різної водності є межень (жовтень-лютий), а лімітуючим сезоном — зима. Виділення меженого періоду на ріках Карпатського регіону досить умовне, тому що паводки спостерігаються впродовж цілого року, і навіть в дуже маловодні роки для рік характерні високі паводки восени і взимку.

У верхів'ї р. Прут в типовий середній за водністю рік мінімальна кількість води проходить в січні, максимальна в квітні, відповідно стік весняного періоду більший за літній. Максимальна місячна амплітуда коливань стоку становить 12%.

Аналіз типового розподілу маловодного року свідчить, що розподіл стоку за сезонами принципово залишається таким самим, як і в середній за водністю рік. Перерозподіл стоку відбувається помісячно. Максимальним за водністю залишається квітень, а лімітуючим місяцем виступає листопад, хоча треба зауважити, що в середньому за багаторіччя для умов маловодного року об'єми стоку в жовтні, листопаді, грудні і лютому є порівнянними. В умовах багатоводного року особливістю є найбільша річна водність липня.

Загалом закономірності внутрішньорічного розподілу стоку досліджуваної ділянки ріки Прут полягають у наступному:

– в різні за водністю роки виділяється один багатоводний період, який охоплює фазу повені і паводків і триває з квітня по серпень за умов початку підйому рівнів води у березні і закінчення спаду до передвесняних рівнів у вересні. За цей час проходить близько 70% річного стоку;

– лімітуючим сезоном є межень, яка охоплює осінньо-зимовий період. При цьому в більшості випадків місяцем найменшої водності виявляється січень, хоча стійкий щорічний льодостав зовсім не є обов'язковим. За цей сезон проходить в середньому 30% річного стоку;

– в середньому за багаторіччя об'єм весняної повені залишається порівняно однаковим в середні, багатоводні та маловодні роки, а зміна річного об'єму стоку за сезонами залежить від кількості рідких опадів, які і є визначальними характеристиками водності року. Тобто, в середньому за багаторіччя запас води в сніговому покриві для басейну досліджуваного району в різні за водністю роки мало чим відрізняється;

– на відміну від рік південно-західного схилу Карпат, де переважають об'єми води утворюються під час весняного водопілля, на ріках північно-східного схилу, в тому числі й у верхів'ї р. Прут, максимальні місячні об'єми води частіше утворюються від випадання дощів під час паводків;

– амплітуда коливань місячних об'ємів стоку збільшується із збільшення водності року та підвищенням середньої висоти водозбору.

Використання наведеної типової схеми дає можливість для довільного створу в межах досліджуваної території розподілити річний річковий стік за відсутності матеріалів натурних спостережень. Для замикаючого створу розглянутої ділянки р. Прут витрати води в м<sup>3</sup>/с, розраховані для умов середнього за водністю року, наведені в табл. 4.

#### Література

1. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Аналіз внутрішньорічного розподілу стоку рік Карпатського регіону для потреб малої гідроенергетики // Розвідка та розробка нафтових і газових родо-

вищ. Серія: Геологія та розвідка нафтових і газових родовищ. Розвідувальна та промислова геологія. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997. – Вип. 34. – Т. 1.

2. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Закономірності розподілу стоку поверхневих вод Карпатського регіону // Геоекологічні проблеми Івано-Франківщини та Карпатського регіону. Збірник

праць докторантів, аспірантів і студентів. – Івано-Франківськ: Екор, 1998. – С. 56-64.

3. Консевич Л.М. Дослідження зв'язку річкового стоку з висотою місцевості в Карпатському регіоні // Науковий вісник №2. Серія технічних наук. Інститут менеджменту та економіки. – Івано-Франківськ: Полум'я. – 2000. – С. 124-129.

УДК 622.245

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗОВНІШНЬОГО КРИТИЧНОГО ТИСКУ ДЛЯ ОБСАДНИХ ТРУБ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЗГИНУ

Я.С.Коцкулич, О.М.Лев, О.Б.Марцинків

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153,  
e-mail: public@ifnuing.if.ua

*С использованием полубезмоментной теории гибких оболочек решена задача о влиянии изгиба обсадной колонны на величину наружного критического давления. Получены формулы для расчета обсадных колонн на прочность с учетом интенсивности их искривления, что позволит предотвратить смятие обсадных колонн при креплении наклонно-направленных скважин и повысит надежность их работы.*

*Using half-momentless theory of the flexible sheaths there have been solved the problem of the influence of casing pipe bend on the magnitude of external breakdown pressure. The formulas have been received for calculation of endurance capability of casing pipes including their bending intensity. It helps to prevent collapse of casing pipes at the process of casing of deviating wells and increases the reliability of their work.*

Збільшення обсягів буріння похило-спрямованих і горизонтальних свердловин підвищує актуальність проблеми кріплення, оскільки умови роботи обсадних колонн в таких свердловинах ускладнюються, що підтверджується аналізом промислових даних про пошкодження обсадних колонн [1].

Однією з головних міцнісних характеристик обсадних труб є їх опір дії зовнішньому надлишковому тиску, яка оцінюється величиною тиску, при якому напруження в небезпечній точці поперечного перерізу труби досягають межі текучості матеріалу труб.

При проектуванні обсадних колонн для кріплення похило-спрямованих свердловин величину критичного тиску для овальної різностінної труби прийнято визначати за формулою Г.М.Саркісова, якою не враховується вплив згину на зміну напруженого стану і форми поперечного перерізу труби і, як наслідок, на їх міцність.

Визначення напружень і деформацій обсадних труб при згині пов'язане з деякими труднощами, які не вдається вирішити з використанням методів і формул опору матеріалів. Для більш реальної оцінки напруженого стану і зміни форми поперечного перерізу зігнутої труби можна скористатися теорією тонких оболонок, яка базується на гіпотезах Кірхгофа [2].

Розглянемо ділянку колони обсадних труб довжиною  $\ell$ , яка має овальність в поперечному перерізі, постійну товщину стінки і початкову кривизну поздовжньої осі  $1/\rho_0$  (рис. 1). Торці труби жорстко закріплені і навантажені згиналь-

ними моментами  $M$  або силами, статично еквівалентними  $M$ , а на стінку труби ззовні діє рівномірний нормальний тиск  $p_z$  [3, 4]. Деформація поперечних перерізів труби змінюється за довжиною від найбільших значень в середньому перерізі ( $X = 0$ ) і до нуля на кінцях ( $X = \pm 0,5\ell$ ). Розрахунки проведемо для найбільш небезпечного, тобто середнього перерізу ( $X = 0$ ).

Для вирішення задачі скористаємося гіпотезою Кармана [2], за якою деформацію всіх поперечних перерізів, віддалених від торців, труби приймають однаковою і розрахунки проводять без врахування впливу кінцевих закріплень. Як зазначено в [2, 5], таке припущення справедливе для достатньо довгих труб, що відповідає колоні обсадних труб.

За вихідні приймаємо спрощені рівняння типу Мейснера, одержані на основі напівбезмоментної теорії гнучких оболонок [2, 5]

$$\begin{aligned} \ddot{\psi} + \mu\nu \cos \alpha &= -m \sin \alpha; \\ \ddot{\upsilon} - \mu\psi \cos \alpha &= -p_0 f. \end{aligned} \quad (1)$$

Крапки над невідомими функціями  $\psi$  і  $\upsilon$  означають диференціювання за безрозмірною координатою  $\eta$ , пропорційною довжині меридіана серединної поверхні  $S$ , відрахованої від вбраного початку координат

$$\eta = \frac{S}{t}, \quad (2)$$

де:  $t$  – периметр поперечного перерізу труби, поділений на  $2\pi$ ;

$\psi$  і  $\upsilon$  – невідомі функції  $\eta$ ;