

Проф. А. В. Огієвський

Норми розрахункових максимумів, зокрема для басейнів р. Дніпра вище Києва

Розділ I

Розрахункові максимуми і схеми для їх екстраполяцій в часі¹⁾

§ 1. Два основні види розрахункових побудов

Під розрахунковими максимумами треба розуміти такі можливі для даних конкретних умов максимальні витрати, на пропускання яких повинні бути розраховані конструкції даних гідротехнічних споруд з тим, щоб імовірність ушкоджень їх від пропускання максимальних витрат була або зовсім виключена, або ж не перевищувала практично допустимих і доцільних границь.

В загальному випадку розрахункові максимуми можуть не збігатися з найбільшими спостереженнями в дійсності. Це буває майже завжди тоді, коли дійсні спостереження охоплюють короткий ряд років — 10—20, а в ряді випадків і при більш тривалих рядах спостережень; в таких випадках спостережені максимальні витрати не можуть гарантувати того, що ймовірність настання більш значних максимальних витрат виключається.

Коли немає даних дійсних спостережень, для знаходження можливих максимальних витрат користуються емпіричними узагальнюючими формулами²⁾ (Кочеріна, Ланге, Ішковського, Тарловського, Карачевського-Вовка та ін.); ці формули, за ідеєю їх побудови, дають розв'язки, що відповідають якимсь значенням граничних спостережених максимумів.

Найбільше апробованими з таких співвідношень, як відомо, є порайонні формули Д. І. Кочеріна; формули ці, загалом, досить добре зарекомендували себе, але в той самий час вимагають для ряду районів відповідних корективів, що відповідали б одержаним до цього часу новішим даним.

Розглядувані емпіричні формули, за їх побудовою, відповідають вихідним матеріалам, які охоплюють здебільшого періоди приблизно в 15—25 років³⁾ і тому далеко не завжди дають такі величини $Q_{\text{макс}}$, які можуть бути прийнятні за розрахункові.

Нарешті, треба згадати досить плідний підхід до визначення максимальних витрат, заснований на виконуваних в натурі вимірюваннях гідравлічних елементів потоку, що відповідають фактичному проходженню

¹⁾ Основні положення наведеного нижче викладу розділу і були розглянені мною ще в 1933 р. і ввійшли в записку, передану на початку 1934 р. до Укрдироводу, звідки ця записка дістала більше поширення.

²⁾ Тут я не торкатимусь питання про обчислення максимальних витрат для дуже малих площ — порядку менше 100 км².

³⁾ Д. І. Кочеріна, Норми найбільших расходов снеговых паводков в Европейской части Союза ССР, „Вопросы инженерной гидрологии“, Энергиздат, 1932.

найвищих вод (які встановлюються за розпитами старожитців або за позначками високих вод); цим шляхом, що особливо успішно застосовується для малих рік, визначаються звичайно максимумами найвищі для періоду тривалістю в два-три десятки років.

Із сказаного випливає необхідність способів, особливо для випадків дуже відповідальних споруд, які дають можливість екстраполяції на більш тривалі періоди, тобто способів для визначення величин розрахункових максимумів, імовірних в перспективі більш тривалих періодів або навіть просто ймовірних верхньо-граничних максимумів, що мисляться як можлива верхня границя.

Відповідно до рекомендації Д. І. Кочеріна¹⁾ досить широке застосування для екстраполяційних обчислень розрахункових витрат в практиці наших проектуючих організацій дістало відоме співвідношення американця Фуллера, яке явно не відповідає нашим умовам; поряд з цим тепер широко використовують криві розподілу Пірсона і табличні розв'язки їх, запропоновані Фостером.

Є пропозиції і іншого характеру.

Отже, питання про побудування схеми для знаходження розрахункових максимальних витрат в загальному випадку розпадається на два такі, почасти зв'язані між собою, питання:

1) Питання про знаходження узагальнюючих емпіричних залежностей для окремих природних фізико-географічних районів (на основі інтерполяційних узагальнень даних безпосередніх спостережень) для знаходження ймовірних максимальних витрат Q_{\max} для тих численних випадків, коли даних дійсних спостережень немає, тобто для виконання інтерполяцій в просторі.

2) Питання про побудування екстраполяційних схем для одержання величин розрахункових максимальних витрат Q_p , що в загальному випадку відповідають умові $Q_p < Q_{\max}$, тобто для виконання екстраполяцій в часі; зауважмо при цьому, що в деяких випадках екстраполяційні обчислення можуть мати на увазі також знаходження розрахункового максимуму Q_p , меншого, ніж Q_{\max} (випадок мало відповідальних і тимчасових споруд).

Побудування порайонних емпіричних залежностей для максимальних спостережених витрат ми торкнемося трохи пізніше; покищо відзначимо, що основним тут є: наявність відповідних даних спостережень, належна їх оцінка і обґрунтоване їх узагальнення на той або інший природний фізико-географічний район.

§ 2. Про існуючі підходи до визначення розрахункових максимумів

Способи, запропоновані для визначення розрахункових значень максимальних витрат, що відповідають будьякій потрібній забезпеченості або що їх можна розглядати як імовірні граничні, сходять до таких:

- 1) спосіб американського дослідника Фуллера [1]²⁾;
- 2) спосіб обчислень за Фостером [2];
- 3) пропозиція Коревицького [3, 9];
- 4) спосіб Рискіна [4];
- 5) спосіб побудування кривої розподілу [6];
- 6) спосіб застосування клітчатка ймовірності [4].

Розгляньмо коротко особливості кожного з названих підходів.

¹⁾ Op. cit., с. 64.

²⁾ Тут і далі цифрами в квадратних дужках позначені посилання на номер літературних джерел за списком, наведеним наприкінці статті.

1. Спосіб Фуллера. З ряду співвідношень, даних Фуллером, найінтересніше таке¹⁾:

$$Q_{\text{макс}} = Q_{\text{сер}} (1 + 0,8 \lg T) \quad (1)$$

Тут:

$Q_{\text{сер}}$ — середня за багатолітній період максимальна витрата в куб. фут/сек; умовно характеристику цю звати „нормою максимальної витрати“;

$Q_{\text{макс}}$ — максимальна з середньо-добових витрат в куб. фут/сек., яка практично збігається з $Q_{\text{макс}}$ — максимальною секундною витратою;

T — період часу, протягом якого можна чекати настання $Q_{\text{макс}}$.

Найціннішим у Фуллеровських дослідженнях треба вважати таке:

1) Фуллер вперше ввів у розрахунок середньо-багатолітнє значення максимальних витрат, тобто норму максимумів;

2) Фуллер вперше дав співвідношення між Q і T , що дістало широке застосування, тобто поставив розрахункову величину Q в залежність від довжини розрахункового періоду (числа розрахункових років)²⁾.

Формула (1) Фуллера, яку він дав із сталим параметром при $\lg T$, рівним 0,8, виведена ним за дійсними даними, обробленими трохи штучно, а саме: не маючи досить довгих рядів, Фуллер розташував в один ряд спостереження по всіх ріках (американських), для яких він мав відомості, і розглядав цей ряд як спостереження по одній ріці за 1672 роки; формула (1) є округлений результат ряду співвідношень, що намітилися. Немає сумніву, що параметр 0,8 повинен мати місцеве значення; це було показано мною ще в 1932 р. [7] на прикладі для р. Дніпра коло м. Києва, де замість параметра 0,8 було одержано за даними за 55—80 років параметр, рівний 1,3.

В 1933 р. в „Известиях ГГИ“ була опублікована стаття П. А. Єфімовича і С. В. Тітова [8], автори якої також показали, що значення параметрів формули Фуллера, загалом кажучи, різні для різних конкретних рік.

II. Спосіб обчислень за Фостером. Спосіб, названий мною способом обчислення за Фостером, має на увазі використання таблиці

¹⁾ В недавно опублікованому перекладі книги: В. Кригер и Дж. Джестин, Гидро-электрический справочник, т. 1, Энергоиздат, 1934, — редактор перекладу інж. П. А. Єфімович вважає, що замість наведеної вище формули Фуллера, яка фігурує також в оригіналі вищезгаданої праці Кригера і Джестіна, треба базуватися відповідно до оригінальної роботи Фуллера [1] на іншій формулі Фуллера, а саме: $Q_{\text{макс}} = Q_0 (0,7 + 0,8 \lg T)$; цю формулу П. А. Єфімович і рекомендує вживати як більш правильну.

Зауваження П. А. Єфімовича ми вважаємо за помилкові як щодо можливості застосування в умовах СРСР формул Фуллера без перевірки і перерахунку їх параметрів (що цілком очевидно), так і в частині невідповідності, яку бачає П. А. Єфімович, фігуруючої у нас і у Кригера і Джестіна формули (1) тлумаченню її в згаданій роботі Фуллера [1]; проте остання обставина жодного практичного значення не має, як це легко бачити з зіставлення обох розглядуваних формул Фуллера: обидві ці формули дають майже цілком збіжні співвідношення поведень різної повторності з такими неістотними розбіжностями, які жодної ролі в розглядуваному питанні не грають.

Помилковість припущень П. А. Єфімовича добре доводиться також матеріалом дискусії, прикладом до оригінальної роботи Фуллера [1].

²⁾ За В. Н. Рискіним, перша спроба введення T у формули для Q була зроблена ще в 1865 р. В. Е. Нортон-ом, який запропонував таку формулу:

$$Q = \frac{4021,5 T^{1/4}}{H}$$

Ця формула, проте, не дістала поширення. В 1910 р. на значення елемента часу було звернуто увагу також Allen Hasen-ом [1].

ординат кривої тривалості, складеної Фостером для кривих розподілу, що відповідають типу III Пірсона [II, V]; аналіз Фостера мав на увазі використання кривих розподілу для обчислення річних модульних коефіцієнтів, які відповідають будь якій потрібній забезпеченості. Легко уявити, що коли під модульними коефіцієнтами широко розуміти відношення будь якої характеристики стоку до її середньо-багатолітнього значення, то дані аналізу Фостера можуть бути застосовані до теоретичного побудування кривої розподілу і, отже, кривої забезпеченості, для будь яких характеристик стоку: річні максимуми, річні мінімуми, сезонні значення стоку і т. ін.

Спосіб Фостера дістає у проєктувальників, очевидно, дедалі ширше застосування в напрямку визначення розрахункових максимумів заданої забезпеченості [8]. Спеціальна проробка цього способу для рік України була виконана інж. Н. П. Чеботарьовим [11].

Щодо до цього способу відзначмо насамперед, що покладена в його основу теоретична модель — крива розподілу Пірсона тип III — так само формально і по суті не відповідає дійсним співвідношенням, як і крива повторності, що відповідає наведеному вище рівнянню (1) Фуллера; крива розподілу Пірсона тип III, як відомо, не обмежена з правого боку і уходить в нескінченність, тим часом, як максимуми витрат повинні мати скінченні значення. Фостер враховував неповну відповідальність типу III ходові гідрологічних явищ; цей тип він вибрав, головню, з міркувань простоти і через те, що він допускає легше розв'язання.

Як відомо, крива розподілу Пірсона тип III, за Фостером, може бути побудована теоретично, якщо знати два параметри: коефіцієнт варіації C_v і коефіцієнт несиметрії C_s ; теоретично нижня границя значення C_s така: $C_s = 2 C_v$.

Тим часом як C_v досить стійке, величина C_s може бути визначена досить точно тільки за дуже довгими рядами спостережень. Імовірна похибка C_s , якщо мати на увазі нормальний розподіл, виражається так:

$$E_{cs} = 0,67449 \sqrt{\frac{\sigma}{n}} \quad (2)$$

Для асиметричного розподілу, тобто в нашому випадку, значення E_{cs} повинне бути ще більше. Але й вираз (2) дає для різних рядів спостережень з n років такі значні величини ймовірних похибок:

| | | | | |
|-------------------|--------|--------|----------|----------|
| $n = 5$ | 10 | 20 | 50 | 100 |
| $E_{cs} = 74,2\%$ | 52% | 37% | $23,4\%$ | $16,5\%$ |

тобто навіть для періоду 50 років можна чекати зменшення до 24%.

За Фостером, для кривих типу III [5] маємо практично обчислені такі середні похибки (для річних модульних коефіцієнтів при $C_v = 0,1$ і $C = 1,2$): для 20 років — 32%; для 10 років — 51%; для 5 років — 82%. Дійсні похибки для окремих випадків можуть бути в обчисленнях C_s ще далеко більші. Відзначмо, що за даними дійсних спостережень у ряді випадків, в процесі аналізу річних модульних коефіцієнтів, констатована (інж. Д. Л. Соколовським [5]) наявність обчислюваних значень C_s , що одержуються з величинами нижчими за їх теоретичні границі; це ставить під сумнів наявність дійсної строгої відповідності кривих розподілу типу III розподілові річних значень стоку, отже й розподілові інших характеристик стоку, в тому числі і максимумів.

Відзначмо ще, що, загалом кажучи, значення C_s за законом повинні мати різні величини для різних конкретних умов.

В американській практиці є навіть спроби районування C .

У зв'язку з сказаним, в різка принципова різниця в застосуванні побудов Фостера для обчислення річних модульних коефіцієнтів і модульних коефіцієнтів максимумів.

Для річних значень стоку можна вважати припустимим ґрунтуватися на теоретичній границі для $C_s = 2 C_v$, виключивши, таким чином, необхідність будь-якого попереднього обчислення величин C_v . Приймавши, що $C_s = 2 C_v$, маємо для практично вживаних розрахунків (забезпеченість 80—90—95—97—99%), найменше, тобто зменшене, значення ординат кривої тривалості, — тобто, інакше, маємо розрахункові результати з деяким корисним запасом (коштом зменшення ймовірної величини річного стоку заданої забезпеченості).

Зовсім інше положення має місце для малих забезпеченостей — 1—10%, про які мова мовиться при розрахунках максимумів; у цьому випадку при $C_s = 2 C_v$ матимемо зменшення розрахункових максимумів, що не може вже розглядатись як деякий корисний і обережний запас; інакше кажучи, припущення, що $C_s = 2 C_v$, приводить до протилежних результатів, порівнюючи з зазначеним для річних значень стоку.

Різна гра значення C_s , якщо до того ж брати короткі ряди спостережень, як це показав ряд виконаних мною підрахунків, дає досить істотні коливання остаточних результатів.

Так, для р. Дніпра коло м. Києва, якщо взяти за розрахунковий період 1919—1930 рр., маємо такі розходження в остаточних результатах порівнюючи із значенням Q_{\max} , що відповідають $C_s = 2 C_v$, при різних n . C_v :

Таблиця 1

| № | Забезпеченість (в %) | Значення Q_{\max} в м ³ /сек | | | | | Розходження в % | | | |
|---|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | $n=2$ | $n=3$ | $n=4$ | $n=5$ | $n=6$ | $n=3$ | $n=4$ | $n=5$ | $n=6$ |
| 1 | 0,1 | 19 400 | 22 000 | 24 209 | 26 000 | 27 600 | 12,5 | 25,0 | 3,0 | 41,7 |
| 2 | 1,0 | 15 000 | 15 000 | 16 800 | 17 500 | 18 000 | 5,0 | 12,4 | 16,7 | 20,2 |
| 3 | 3,0 | 12 400 | 12 800 | 13 300 | 13 400 | 13 600 | 3,3 | 7,0 | 7,5 | 8,9 |
| 4 | 5,0 | 11 400 | 11 700 | 11 800 | 11 800 | 11 800 | 2,5 | 3,5 | 3,5 | 4,0 |

— тобто варіювання C_s в границях $C_s = 2 C_v$ і $C_s = 6 C_v$ дає різниці в остаточних результатах до 42% для $p=0,1$; різницю в 20,2% — для $p=1,0\%$ і т. ін.; ці різниці практично незначні тільки для $p=3\%$ і $p=5\%$.

В умовах р. Дніпра коло м. Києва на протязі з 1845 до 1931 р., тобто на протязі 86 років, мали місце такі високі максимуми:

Таблиця 2

| Рік | Q_{\max} в м ³ /сек | Забезпеченість (%) | Ймовірність (1 раз за скільки років) |
|------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1931 | 24 000 | 0,58 | 172 |
| 1845 | 20 200 | 1,72 | 58 |
| 1917 | 175 000 | 2,9 | 34,5 |
| 1877 | 17 000 | 4,05 | 25 |
| 1908 | 13 500 | 5,2 | 19,2 |

За інтерполяцією одержуємо для забезпеченості в 1% приблизно $Q = 22200 \text{ м}^3/\text{сек}$. Інакше кажучи, якщо брати $C_s = 2 C_v$, то одержуємо, що теоретично $Q_{\text{макс}} = 19400 \text{ м}^3/\text{сек}$ має ймовірність в $\frac{1}{1000}$, а практично — майже

один раз за 50 років; при $C_s = 3 C_v$ — теоретично $Q_{\text{макс}} = 22000 \text{ м}^3/\text{сек}$ має ймовірність один раз на 1000 років, а практично приблизно 10 раз на 1000 років, тобто 1 раз на 100 років.

З другого боку, витрати за фактичними даними, забезпеченої на 3% (2,9%), так само як і на 1,72%, ми взагалі теоретично не одержуємо, бо теоретично, навіть при $C_s = 6 C_v$, для $p = 3\%$, маємо усього тільки $Q_{\text{макс}} = 13600 \text{ м}^3/\text{сек}$, тобто на 33% менше фактично спостереженого (1917 р. — 17000—18000 $\text{м}^3/\text{сек}$).

Якщо взяти для р. Дніпра коло м. Києва тривалий цикл спостережень — 1852—1932 рр., а всього 81 рік, то одержимо:

$$C_v = 0,564; Q_0 = 6742 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Тоді остаточні результати обчислень будуть такі:

Таблиця 3

| Забезпеченість (в %) | $Q_{\text{макс}}$ за Фостером | | | | За обчисленнями на основі фактичних даних | Різниця в % | | | |
|----------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | $C_s = 2C_v$ | $C_s = 3C_v$ | $C_s = 4C_v$ | $C_s = 5C_v$ | | $C_s = 2C_v$ | $C_s = 3C_v$ | $C_s = 4C_v$ | $C_s = 5C_v$ |
| 0,1 | 24 507 | 25 703 | 30 606 | 33 730 | — | — | — | — | — |
| 1,0 | 18 539 | 19 820 | 20 832 | 21 641 | 22 200 | -16,4 | -10,8 | -6,2 | -2,5 |
| 3,0 | 14 832 | 15 775 | 16 112 | 16 247 | 17 000 | -12,8 | -7,2 | -5,2 | -4,5 |
| 5,0 | 13 551 | 14 292 | 14 427 | 15 101 | 13 240 | +2,3 | +0,4 | +9,0 | +21,5 |

В цьому випадку ми бачимо, що при $C_s = 5C_v$ має місце досить добрий збіг як обчислених, так і взятих за дійсними спостереженнями значень $Q_{\text{макс}}$. Гра ж значень C_s дає різниці до 16,4% і навіть до 21,5%.

Як другий приклад, наведемо обчислення по р. Сожу коло м. Гомеля. При періоді спостережень з 1900 по 1933 р. маємо для 33 років:

$$C_v = 0,669; Q_0 = 2334 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Елементи результатів обчислень дано в табл. 4:

Таблиця 4

| $p\%$ | $Q_{\text{макс}}$ за Фостером | | | За факт. даними | Різниця в % | | |
|-------|-------------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| | $C_s = 2C_v$ | $C_s = 3C_v$ | $C_s = 4C_v$ | | $C_s = 2C_v$ | $C_s = 3C_v$ | $C_s = 4C_v$ |
| 0,1 | 9 603 | 11 757 | 13 117 | — | — | — | — |
| 1,0 | 7 352 | 8 029 | 8 542 | 6 500 | +12,8 | +23,5 | +31,4 |
| 3,0 | 5 893 | 6 338 | 6 232 | 5 665 | +4,0 | +11,2 | +10,0 |
| 5,0 | 5 321 | 5 452 | 5 482 | 5 112 | +4,0 | +7,2 | +6,8 |

З даного прикладу бачимо, що для забезпеченості в 1% спосіб за Фостером дає перебільшення спостережених витрат навіть при $C_s = 2C_v$, а при $C_s = 4C_v$ — перебільшення на 31,4%. Для забезпеченостей в 3 і 5% найкращий збіг результатів обчислень з дійсністю маємо при $C_s = 2C_v$.

Виконані мною підрахунки по ряду інших пунктів системи р. Дніпра показали, що добрий збіг з дійсністю буває при різних значеннях C_s , від $C_s = 2C_v$ до $C_s = 6C_v$.

Таким чином викладене показує, що навіть при $C_s = 6C_v$ ми не гарантовані від применшень (Київ) ймовірних максимальних витрат на величини до 33% і навіть більше для забезпеченостей від 3% до 0,1%, тобто саме для забезпеченостей, які треба вважати можливими для якнайчастішого їх застосування; таксамо нема гарантій і від зайвих перебільшень, порядку до 30% (Гомель).

Вище ми розглянули труднощі, що виникають при використанні таблиць Фостера для обчислення Q_{\max} , що впливають з властивостей параметра C_s .

Другим важливим моментом в загальній оцінці розглядуваного підходу є те, що в остаточних розрахунках, як і у Фуллера, тут вводиться величина Q_0 — норма максимальних витрат. Оскільки має місце співвідношення:

$$Q_{\max} = K \cdot Q_0,$$

де K — модульний коефіцієнт, що визначається за таблицею Фостера, — та або інша похибка у визначенні величини Q_0 повинна входити без усякої зміни в остаточний результат. З цього погляду інтересне питання, — яка ж стійкість величин Q_0 ?

Дуже тривалі спостереження по р. Дніпру коло м. Києва дають щодо цього, наприклад, такі цифри, навіть коли оперувати досить довгими рядами:

Таблиця 5

| Період | Число років | Q_0 | Різниця проти норми за весь період спостережень | |
|-----------|-------------|-------|---|--------|
| | | | абс. | в % |
| 1877—1888 | 12 | 7 800 | + 1058 | + 15,6 |
| 1889—1900 | 12 | 6 560 | — 182 | — 2,7 |
| 1901—1912 | 12 | 6 320 | — 422 | — 6,7 |
| 1913—1925 | 12 | 7 210 | + 468 | + 6,9 |
| 1919—1930 | 12 | 5 800 | — 942 | — 14,0 |
| 1852—1932 | 81 | 6 742 | — | — |

Тобто при взятих 12-літніх періодах похибки можуть бути порядку до 16%. За виконаними мною підрахунками і для інших пунктів виявляється, що при довжаних розрахункових періодах в 10—12 років похибки можуть бути порядку 10—20%.

Таким чином при застосуванні кривих розподілу Пірсона, а саме — типу III (на основі розв'язку, запропонованого Фостером), до обчислення ймовірних максимальних витрат певної забезпеченості, треба мати на увазі такі моменти:

а) Не доведена відповідність кінцевих дільниць кривої типу III при-
родному розподілові максимальних модулів, що, загалом кажучи, може
приводити до призменшення або перебільшення результатів.

б) Її неозначеність у виборі належного значення C_s ; можливі коливання
значень C_s можна оцінити, очевидно, в границях від $2C_v$ до $6C_v - 8C_v$,
що повинно давати досить істотні коливання в остаточних результатах.
Теоретично обчислені значення C_s при довжині рядів до 50 років (як
це є в практиці), в силу особливостей цього параметра зовсім не можна
розглядати як такі, що близько відповідають дійсності.

в) Джерела можливих похибок при застосуванні розглядуваного спо-
собу, загалом кажучи, можуть бути такі:

- 1) похибки у визначенні „норми“ максимуму (порядку до 20%);
- 2) похибки від невідповідності вибраного значення C_s дійсному (до
30%);
- 3) Похибки від невідповідності типу III фактичному закону розподілу.

Можливе підсумовування цих похибок може приводити до результатів,
що зовсім не відповідають дійсності, а оскільки похибки можуть мати
знак мінус (призменшення) — то й недопустимих.

Із сказаного є сумнівною, як і для способу Фуллера, практична до-
цільність диференціації розрахункових витрат Q_{\max} за різними ступенями
забезпеченості.

Отже стрункість і визначеність розв'язку при застосуванні розрахун-
кових даних Фостера, що впливає нібито з загальної теорії кривих
розподілу, по суті є значною мірою фіктивними; при зовнішній закінче-
ності розрахункової схеми встановлена вище можливість великих (і при
тому від'ємних) похибок, обумовлених самою суттю розрахункової схеми,
зовсім не дає права розглядати одержувані розрахункові результати як
єдиний розв'язок і єдину відповідь; тим часом ця остання обставина за
зовнішнім виглядом нібито повинна була б вигідно відрізнити розгляду-
вану схему від широко практикованих досі звичайних способів перехрес-
них зіставлень, виконуваних різними шляхами, відповідно до умов окре-
мих конкретних випадків.

Очевидно, для можливості більш обгрунтованого практичного засто-
сування результатів побудов Фостера до питання про обчислення Q_{\max}
треба було б в першу чергу виконати детальніші дослідження закономір-
ностей і мінливості параметра C_s . Очевидно, можна було б встановити

розрахункові критерії для вибору $\frac{C_s}{C_v}$ (якщо мати все таки достатньої
довжини ряди спостережень), виходячи з зіставлень даних обчислень
з даними спостережень, але навряд чи це можна виконати за теоретич-
ними підрахунками величин C_s .

Отже, ідея і загальна схема побудов для обчислень Q_{\max} за таблицями
Фостера (збігаючись принципово з побудовами Фуллера — введення в роз-
хунок норми максимумів, введення в розрахунок T , наявність двох змінних
параметрів), не має жодних переваг перед побудовами Фуллера з погляду
теоретичної моделі, покладеної в основу всієї розрахункової схеми; в обох
випадках постулюється принципово невірне положення про можливість
нескінченно великих значень Q_{\max} при T , що прямує до нескінчен-
ності.

III. Пропозиція Коревицького. Л. Коревицький [3], загалом
кажучи, вважає, що розв'язання розглядуваної проблеми — визначення
можливої граничної максимальної витрати, — строго кажучи, неможливе,
„пока мы еще не являемся хозяевами в области экстраполирования
материалов всякого рода“. Пропонований ним спосіб він вважає тільки
орієнтовним розв'язанням питання. В основі його пропозицій лежить

таке положення математичної статистики (за проф. Романовським)¹⁾, що має назву „правила трьох сигма“:

„Для всякої сукупності 90 или более процентов членов ее имеют также значения аргумента, которые отклоняются в ту или другую сторону от его средней арифметической не больше, чем на утроенное среднее квадратичное отклонение его“.

Позначмо: \bar{x} — середнє арифметичне, $\sigma(\bar{x})$ — середнє квадратичне відхилення; тоді для верхньої границі L — максимальної витрати, за Коревицьким, можна написати:

$$L = \bar{x} + \sigma(\bar{x}) + 3 \{ \sigma(x) + \sigma[\sigma(x)] \} \quad (3)$$

Розглянені Л. Коревицьким приклади показують, що значення L дає витрати, які перевищують спостережені, але не в усіх випадках; а саме, при короткому ряді, що відповідає 5—6 рокам і при тому випадково не включає значних витрат, величина L може бути одержана менша дійсної спостереженої. Порядком грубого наближення Л. Коревицький вважає можливим для визначення критерію достатності ряду виходити з співвідношення спостережених найбільшої і найменшої витрат; якщо це співвідношення більше 2,5, то обчислити L можна; якщо ж менше 2,5 — то результат обчислень може виявитись незадовільним; при числі років, більшим за 10, Л. К. Коревицький вважає перевірку за зазначеним критерієм зайвою, а довжину такого ряду для обчислення величини L — достатньою.

IV. Спосіб Ріскіна. Суть пропозиції В. Я. Ріскіна [4] така. Якщо мати досить довгий ряд спостережень $Q = f(T)$, у вигляді хронологічного графіка (або таблиці) спостережених максимумів, то з цього ряду можна послідовно розглянути спочатку 2 роки, далі 3, 4 і т. д., що йдуть в хронологічному порядку. З таких послідовних комбінацій років можна далі вибирати фактичні найбільші значення Q_{\max} , які В. Я. Ріскін позначає через Q_{mi} де індекс i відповідає числу років у взятій групі (2, 3, 4, і т. д.). Виборка робиться, за Ріскіним, починаючи з самого маловодного року; якщо, наприклад, до групи з трьох років потрапляє якийнебудь рік з дуже високим максимумом Q_{ms} , то для дальших груп ця висока витрата Q_{ms} , вводиться в розрахунок доти, доки в якійсь комбінації з n років, що йде хронологічно, не буде максимуму Q_{mn} , більшого, ніж Q_{ms} . За вибраними згідно з зазначеним вище послідовними парами значень Q_{mi} і τ , де τ , — число років спостережень, будувється далі графік $Q_{mi} = f(\tau)$, який показує, що в міру збільшення числа років спостережень розміри максимальної витрати зростають так, що спочатку ріст цей значний, а далі сповільнюється і виявляє прямування до якоїсь скінченної границі.

Виходячи з зазначеного графіка, В. Я. Ріскін знаходить граничне значення Q_{\max} шляхом виконання відповідних графічних побудов.

В. Я. Ріскін, на основі зроблених ним підрахунків, вважає, що для наближення до величини гранично-можливого максимуму з точністю до 15%, треба мати коло 50 років спостережень (для р. Сир-Дар'ї).

Описаний спосіб В. Я. Ріскіна, як бачимо, включає в собі ряд елементів індивідуальної довільності; ця довільність має місце, поперше, в самій побудові функції $Q_{mi} = f(\tau)$, бо вигляд цієї функції може бути різний, залежно від того, як іти від узятого мінімуму — вправо або вліво; подруге, призначення розрахункової „объемлющей линии“ також виконується за індивідуальними міркуваннями.

¹⁾ Романовський, Элементарный курс математической статистики, Ташкент, 1927.

Отже, єдина перевага описаних побудов, хоч би перед способом Фуллера, яка полягає в наявності кінцевої границі для Q_{\max} , значною мірою є тільки формальною.

В. Використання кривих розподілу і клітчатка ймовірності. Спосіб безпосередньої побудови емпіричної кривої розподілу з метою дальших екстраполяційних обчислень, надто складний для звичайного практичного його використання. Такий спосіб, наприклад, застосований був Двіпробудом для визначення ймовірного граничного значення Q_{\max} для р. Дніпра в околицях Лопманської Кам'янки [6].

Крім складності підрахунків за емпіричними кривими розподілу, в цьому випадку є також деяка наближеність і довільність остаточного розв'язку, в наслідок труднощі добору теоретичного виразу до одержаного емпіричного побудування і неможливості забезпечити ідеальний їх збіг.

Клітчатка ймовірності була широко введена в ужиток для різних побудовань в Америці Allen Hasen-ом і Foster-ом.

В. Я. Ріскін вважає, що використання клітчатки ймовірності для графічної екстраполяції спостережених максимумів може служити одним з важливих, досить певних, шляхів для визначення ймовірного граничного максимуму. Під клітчаткою ймовірності розуміють клітчатку, побудовану так, що трудні для побудування і обчислень криві розподілу максимумів, які в цьому випадку приймаються за досить близькі до нормальних кривих Gauss-a — Laplas-a, на такій клітчатці зображаються у вигляді прямої лінії, або, вірніше, лінієк, близькою до прямої.

В даному випадку верхньої границі можливого максимуму немає так само, як у способі Фостера, іншою інтерпретацією якого, по суті, є клітчатка ймовірності.

Загальна ідея застосування клітчатки ймовірності, як це видно із сказаного, ідентична ідеї і побудуванням Фуллера.

§ 3. Побудування пропонованої розрахункової схеми

З викладеного видно, що розглядені способи обчислення розрахункових максимумів можна розбити на дві, принципово різні, групи.

До першої групи можна залічити способи Фуллера і за Фостером, спосіб застосування клітчатки ймовірності, спосіб застосування кривої розподілу; усі ці способи, що різняться один від одного по суті тільки технікою оформлення і ідентичні суттю, мають на увазі можливість обчислення максимальних витрат, що відповідають різним градаціям забезпеченості: цими способами може бути здійснений перехід від спостережених максимумів, що охоплюють більш-менш довгий ряд, до максимумів будьякого ступеня забезпеченості.

До другої групи способів можна залічити спосіб Коревицького і спосіб Ріскіна; ця група способів має на увазі обчислення на основі більш-менш довгих рядів фактичних спостережень, порядку починаючи з 10 років для способу Коревицького і коло 50 років для способу Ріскіна, максимальних витрат граничного значення, тобто таких, які дають ймовірну кінцеву верхню границю можливих максимумів.

Прийоми виділеної вище першої групи способів, що дають різні максимальні витрати для різних забезпеченостей, припускають, очевидно, що для різних споруд доцільно брати для розрахунку максимальні витрати, які відповідають різній можливій ймовірності їх настання; для більш відповідальних споруд треба брати витрати, що мають меншу ймовірність, для менш відповідальних споруд — витрати з більшою ймовірністю, тобто з можливістю повторення їх на більш коротких відрізках

часу. Друга група способів, відмінно від першої, розглядає тільки гранично можливі максимальні витрати, поза яким би не було зв'язком їх з їх забезпеченістю, тобто з ймовірністю їх настання.

Співнімось коротко на оцінці цих двох, в корені різних, ідей.

Можна вважати, що поняття про максимальну витрату тої або іншої забезпеченості практично і теоретично не зв'язуються з поняттям про величину граничної, фактично потрібної для розрахунків, максимальної витрати.

1. Поперше, припущення про рівномірність розподілу паводків і поведій по періодах, що лежить в основі розрахунків щодо забезпеченості, не відповідає дійсності; жодних закономірностей щодо цього виявити не можна. Тому ніяк не можна ручатися за те, що намічений проєктувальником термін служби споруди T_1 не виявиться частиною другого більшого періоду T_2 і при тому такою частиною, на яку припадає паводок, що відповідає не періодові T_1 , а періодові $T_2 > T_1$, тобто в такому випадку розрахунковий паводок Q_T може виявитись меншим, ніж дійсний Q_{T_1} . Інакше кажучи, навряд чи можна ручатися, що рахування років і періодів у природі почнеться саме з моменту будування запроектованої споруди; може виявитись, що, наприклад, другий рік служби споруди буде 102 з погляду рахування періодів повторюваності паводків і поведій на даній ріці, і тим самим споруда, розрахована, припустімо, на 50-літню службу (і на максимум з повторюваністю один раз на 50 років), може бути зруйнована на другий же рік свого існування максимумом, імовірним в перспективі один раз на сто і більше років.

З цього погляду, якщо мати на увазі саму тільки дану споруду, навіть вибір величини T або значення забезпеченості, які чимало перевищують намічений термін служби споруди, не можуть гарантувати від несподівано великих і руйнівних паводків, як це правильно констатує і В. Я. Ріскін.

2. Трохи інше тлумачення можна дати величині T у формулі Фуллера або поняттю забезпеченості при розв'язаннях за Фостером, якщо виходити з, так би мовити, „страхового“ погляду, тобто якщо мати на увазі досить велику кількість проєктованих і будованих споруд і при тому на різних ріках і в різних районах. В цьому випадку, якщо, наприклад, прийняти для всіх споруд величину $T = 100$ років, то цим ніби можна гарантувати, з певною долею ймовірності, що при досить великому числі споруд, в середньому на рік буде руйнуватись не більше, як одна з кожної сотні споруд. Якщо мати на увазі таке поставлення питання, то тут вже можна було б зробити розрахунок, що вигідніше: чи будувати всі споруди з ще більшим запасом, тобто дорожче, або свідомо йти на щорічну втрату деякої частини дешевих споруд.

Проте, змальований „страховий“ погляд навряд чи можна визнати раціональним з таких міркувань: поперше, він, загалом кажучи, може бути виправданий лиш при наявності величезного будівництва, що налічує багато десятків, а можливо й сотен об'єктів, і подруге, що ще важливіше, насправді далеко частіше (як це спостерігається, наприклад, в умовах УСРР) ми маємо одночасне поширення надзвичайно високих поведій (і навіть паводків) на досить великі райони; в цьому останньому відношенні відзначмо, наприклад, 1931 рік, який дав катастрофічні максимуми по ряду великих рік Верхнього Дніпра і по самому Дніпру, і 1932 рік, який дав катастрофічні максимуми на цілому ряді рік Лівобережжя і Правобережжя Середнього Дніпра; отже, з цього останнього вигляду далеко більше ймовірним було б припустити можливість одночасного руйнування цілих груп, а не одиничних споруд; інакше кажучи, і при „страховому“ підході лишаються в силі усі наведені вище загальні

міркування про умовність і неконкретність розрахункових максимумів, що відповідають різним забезпеченостям.

3. Нагадаємо далі, що існуючі підходи до обчислення максимальних витрат різної забезпеченості, як це було встановлено вище, по самій суті своїх побудов дають лиш настільки наближені величини, що можливі похибки кожної з одержуваних витрат, які відповідають тій або іншій забезпеченості, можуть значно перевищувати одержані різниці у величинах витрат для окремих послідовних градацій забезпеченості; особливо великих похибок можна чекати для мало вивчених рік, з малими циклами спостережень.

4. Треба відзначити, нарешті, що й саме статистичне поняття забезпеченості, в застосуванні до розглядуваних явищ, має значною мірою фіктивне і тільки формальне значення.

Справді, хай маємо низхідний ряд максимальних витрат; хай найбільший член цього ряду відповідає дійсно катастрофічній величині максимальної витрати, що була в останній рік розглядуваного періоду; хай забезпеченість цієї витрати дорівнює p_1 . Якщо тепер обірвемо ряд спостережень на передостанньому році розглядуваного періоду, але залишимо те саме число років, збільшивши дані на один рік перед початком розглядуваного періоду, то забезпеченість нового першого члену ряду, який багато може поступатись своєю величиною виключеному з розгляду, лишиться така сама, тобто дорівнюватиме тому самому p_1 . Інакше, фактичне значення забезпеченості визначається тільки числом членів ряду і номером даного члена в ряді, поза аналізом ходу явищ по суті в зв'язку з фізичною оцінкою конкретної своєрідності даного явища¹⁾. З цього останнього погляду, наприклад, два однакові за числом членів ряди річних максимумів по двох якихнебудь пунктах УСРР, але взяті так, що перший з цих рядів не буде включати 1932 р. (тобто рік катастрофічно високих максимумів), будуть для своїх перших членів (розміщених в низхідному порядку), давати одну і ту саму забезпеченість, тим часом як у першому з цих рядів перший член відповідатиме просто високій поводі, можливо порядку один раз на 10—15 років, а в другому ряді перший член, формально з тою самою забезпеченістю, буде насправді катастрофічно високою витратою, дуже близькою до можливої граничної.

Подібні випадки ми вже розглядали вище; такий приклад ми маємо також по р. Дніпру: без поводі 1931 р. для періоду 1852—1930 рр. тобто для періоду в 79 років, максимальна витрата 1917 р., рівна $17500 \text{ м}^3/\text{сек}$, має забезпеченість в 0,63%, тобто ймовірність настання II—один раз на 158 років; з прийняттям до розрахунку поводі 1931 р. максимум 1931 р., рівний $23000—24000 \text{ м}^3/\text{сек}$, дає близьку ймовірність в $p = 0,62\%$, тобто один раз на 162 роки, тим часом як ймовірність максимуму в 1917 р. стає рівною 1,87%, тобто один раз на 53 роки.

Отже, значення спостереженої забезпеченості максимальних витрат, що одержуються статистично за короткими рядами спостережень, які здебільшого є в натурі, не відповідають по суті дійсним характеристикам забезпеченості цих максимальних витрат; статистична оцінка може дати, наприклад, забезпеченість в 5%, а насправді така витрата буде гранично-катастрофічною, і навпаки.

¹⁾ Це не стосується до „математичної“ забезпеченості, яку одержуємо при побудуванні математичної кривої розподілу, де номер того або іншого члена в ряді не грає жодної ролі; проте, як це було показано вище, і математична забезпеченість ніяк не гарантує від істотних невідповідностей дійсності.

Нарешті, можна відзначити, що й саме обчислення статистичної забезпеченості для крайніх членів досить умовне; як відомо, в дві системи обчислень: 1) за формулою $p = \frac{m - 0,5}{n} \cdot 100$ і 2) за формулою $p = \frac{m - 1}{n - 1} \cdot 100$; перший вираз — формула американських гідрологів — дає досить істотні розходження з другим, чисто статистичним.

Тут, вважаємо ми, не зайво буде відзначити, що наші міркування мають на увазі самі тільки максимальні витрати. В застосуванні до визначення середньо-річних витрат для посушливих років спосіб Фостера дає цілком іншу картину, як це відзначалось вже раніше; в цьому останньому випадку мова мовиться про знаходження модульних коефіцієнтів для нижніх границь забезпеченості порядку 80—90%. В цьому випадку відшукуються, отже, витрати, нижче яких виключається можливість падання розрахункових витрат в перспективі того або іншого розрахункового періоду років. Якщо це падання витрат матиме місце в першому ж або в другому році експлуатації споруди, то це не спричиниться до зруйнування споруди і не викличе жодної катастрофи, не передбаченої водно-господарським планом підприємства: з другого боку, дедалі вищі витрати, ніж та, що відповідає розрахунковій забезпеченості, дійсно забезпечують правильне використання споруди (водосховища), поза залежністю від конкретних характеристик їх величин по окремих роках (скид) в багатолітній перспективі, що враховується розрахунковими даними.

§ 4. Пропонована схема розрахункових максимумів

Виходячи з усього сказаного вище, я вважаю, як про це я згадував вже вище (розглядаючи спосіб Фостера), що використання детальної диференціації поняття забезпеченості для обчислень максимальних витрат неплідне і нерациональне; в застосуванні до розглядуваних випадків, поняття забезпеченості дає тільки формальну градацію можливих максимумів, що не відповідає в своїх підрозділах точності вживаних методів, позбавлену в зв'язку з цим реального і конкретного змісту і до того ж цілком одірвану від конкретної своєрідності розглядуваного явища в умовах тих або інших окремих особливостей фізико-географічного комплексу. З останнього погляду розглядувані підходи (тобто ті, які мають на увазі детальну диференціацію розрахункових максимумів), можливо, правильніше буде оцінити не тільки як неплідні, але як просто шкідливі, що затемнюють суть явищ і механічно їх схематизують за складними і не виправдуваними практикою моделями.

Я вважаю, що поняття розрахункової максимальної витрати може бути визначено як відповідне такій максимальній витраті, яка для даних зворотних умов імовірна як практично гранична і при тому в будь-який з років в перспективі досить довгого періоду років, порядку 50—100. Для особливо видатних щодо відповідальності споруд, для перестраховки їх від руйнувань (аналогічно до більш значного запасу міцності в інших дуже відповідальних інженерних спорудах) відзначена вище нормальна розрахункова максимальна витрата може бути підвищена (за особливою справляваними правилами); на цю підвищену витрату доцільно також перевіряти й звичайні відповідальні споруди, але при припущенні крайнього напруження в роботі водоскидних споруд, навіть з можливістю місцевих пошкоджень (без руйнування усієї споруди); так само, для мало-відповідальних споруд нормальний „запас міцності“ розрахункової гранично-можливої витрати, по суті, мало ймовірної, може бути знижений (також на основі особливих правил), якщо ризик, що споруда може бути зруйнована в ближчі ж роки після її збудування, допустимий і виправ-

дується економічними міркуваннями, що, очевидно, може мати місце дуже рідко.

Отже, можна намітити і запропонувати три такі поняття:

1) „Нормальна розрахункова максимальна витрата“, що відповідає практично ймовірній граничній витраті і, як правило, взагалі гарантує споруду від руйнування; на цю витрату виконуються розрахунки для усіх відповідальних споруд.

2) „Гранична розрахункова максимальна витрата“, дуже мало ймовірна в перспективі дуже тривалого ряду років порядку кількох століть, або інакше, практично майже неймовірна і мисляма як можлива звідомо границя; на цю витрату повинен виконуватись розрахунок для виключно відповідальних споруд, а також перевірений розрахунок, з припущенням граничного напруження в роботі скидних споруд, для взагалі відповідальних споруд.

3) „Полегшена“ розрахункова максимальна витрата, знижена проти нормальної розрахункової витрати так, що ймовірність (хоч і мала) настання більш високих витрат не виключається; на цю витрату припустимо виконувати розрахунок для тимчасових та не відповідальних споруд.

В переводі на умовну, як відзначалося, мову статистичних понять, можна вважати, що зазначеним трьома градаціями розрахункових максимумів можуть відповідати такі забезпеченості: нормальний розрахунковий максимум — забезпеченість в 1% або 2% (один або 2 рази на 100 років), 2) граничний розрахунковий максимум — забезпеченість в 0,1 або 0,2% (один раз на 1000 або на 500 років) і 3) полегшена розрахункова максимальна витрата — забезпеченість в 5% (один раз на 20 років) або в 3% (один раз на 33 роки).

Прийняття таких умовних статистичних характеристик для намічених трьох градацій розрахункових максимальних витрат можна пояснити так.

Очевидно, що граничний розрахунковий максимум повинен мати умовну статистичну ймовірність дуже малого порядку, яка практично відповідає фактичній неможливості настання такого розрахункового максимуму; обидві вибрані градації забезпеченості — 0,1 і 0,2% — відповідають розглядуваному положенню; переважний вибір однієї з цих забезпеченостей для потреб розрахунку можна обумовити додатковими моментами для обставин кожного конкретного випадку розрахунку, залежно від надійності спостережених максимумів і від ступеня відповідальності споруди.

Забезпеченості в 1% и 2% дають витрати, по суті дуже мало ймовірні і, як правило, дуже рідко спостережені або тільки лиш близькі до виключно високих спостережень катастрофічних максимумів; це саме, на нашу думку, добре відповідає поняттю нормального розрахункового максимуму. Нарешті, для полегшених розрахункових максимумів забезпеченість в 3 і 5% вибрана значною мірою умовна, але всетаки як така, що дає максимумами, які рідко трапляються, практично з незначною ймовірністю.

Намітивши наведену схему, розглянімо тепер можливі способи визначення розрахункових максимальних витрат для всіх трьох виділених вище градацій, маючи на увазі, що схема ця повинна бути по змові проста.

Нормальна розрахункова максимальна витрата, може, очевидно, бути визначена, для умов даного пункту, за даними дійсних спостережень тільки тоді, коли спостереження ці охоплюють дуже довгий ряд, порядку близько 50 років і навіть більше.

Так буде стояти питання, якщо керуватися тільки чисто статистичними міркуваннями, відійшовши від аналізу характеристик фізико-географічного комплексу цілого даного району. Якщо, проте, розглядати даний пункт не ізольовано від інших, що перебувають у цьому самому басейні, або на басейнах суміжних аналогічних рік, то в умовах рівнинного ландшафту і більш короткі ряди спостережень, зіставлені в загальній обстановкою в басейні і в даному природному районі взагалі, можуть дати дані про витрати, близькість яких до гранично-ймовірних буде очевидна. Так, наприклад, по р. Сейму, притоці р. Десни, є безпосередні спостереження тільки за період 1925—1935 рр., тобто за 10 років. Проте, витрату 1931 р. для цієї ріки є дуже великою ймовірністю можна розглядати як дуже близьку до ймовірної граничної, бо в 1931 р. за спостереженнями за дуже довгий час ми мали для всього басейну Верхнього Дніпра, в тому числі для Десни, умови, що відповідають формуванню видатних, надзвичайно високих максимумів, близьких до граничних. Так само в 1932 р. для ряду рік Правобережжя, що мають спостереження за 15—20 років, очевидно, мали місце максимальні витрати близькі до ймовірно-граничних, бо ці витрати в кілька разів перевищили всі раніше спостережені і що важливіше, спричинили ряд таких катастроф, які не спостережені і не зареєстровані в ряді попередніх десятиліть.

Якщо виходити з наведених вище міркувань, то достатньою основою для знаходження нормальних розрахункових максимальних витрат можуть служити (в умовах рівнинного ландшафту) масові матеріали по максимальних спостережених витратах, зареєстровані на ряді різних басейнів, об'єднаних за принципами їх природного фізико-географічного районування. Якщо такі дані досить обережно обробити, а саме брати на увагу з окремих груп точок тільки крайні або, інакше, будувати не середні, а огинаючі криві зв'язку між максимумами і площами басейнів, що визначають їх, то одержувані розрахункові співвідношення матимуть ще більш певно виражений характер ймовірних граничних, тобто таких, які дають нормальні розрахункові значення максимальних витрат; ми вважаємо також, що крім величин площ басейнів, до розрахунків треба заводити ще й інші діючі фактори.

Цілком закономірні співвідношення у таких узагальнюючих побудованих були блискуче показані вперше інж. Д. І. Кочеріним, який в результаті своїх плідних досліджень дав узагальнені розрахункові формули для обчислень ймовірних граничних максимальних витрат по всій території Європейської частини СРСР, районованої ним на ряд природних фізико-географічних областей. Отже, побудови типу Д. І. Кочеріна, на нашу думку, досить правильно й доцільно розв'язують задачу про емпіричні співвідношення для знаходження нормальних розрахункових максимумів. Зрозуміло, що побудови ці, які ґрунтуються на емпіричному матеріалі, повинні коректуватися в міру розширення об'єму цього матеріалу, тобто в міру накопичення нових даних за спостереженими максимумами; початкової ідеї Кочеріна це, проте, ніяк не порушує; зрозуміло також, що треба робити спроби заводити до обчислення, крім величин площ басейнів, ще інші діючі фактори, як, наприклад, конфігурацію басейну, розвиток його гідрографічної сітки, похил басейну тощо.

Отак розв'язується, на нашу думку, питання про співвідношення для визначення нормальних розрахункових максимумів.

§ 5. Побудування екстраполяційної схеми для Дніпра вище Києва

Розглянімо тепер питання про вибір граничних розрахункових максимумів.

Для розв'язання цієї останньої задачі, можна скористуватись, загалом кажучи, усіма розгляненими вище способами екстраполяційних побудов. Тому що способи Коревицького і Ріскіна можуть бути застосовані тільки при наявності для даного конкретного випадку досить тривалих рядів спостережень і тому що вони, таким чином, непридатні для будь яких узагальнюючих побудов, способи ці для розв'язання поставленої задачі треба вважати мало придатними. З міркувань непридатності для просторових узагальнень слід вважати раціональним виключити з детальнішого аналізу також спосіб використання клітчатки ймовірності і спосіб індивідуальних побудов кривих розподілів (в останньому випадку ще також з міркувань складності підрахунків).

Отже, для розв'язання поставленої задачі найпридатнішими треба вважати спосіб Фуллера і спосіб побудов за Фостером. Обидва ці способи за основною їх ідеєю, повинні давати ряд різних значень Q_{\max} , що від, повідають різним забезпеченостям, в тому числі й такі, які відповідають дуже малій забезпеченості і по суті повинні бути „граничними розрахунковими“. Підкреслимо тут, що обидва ці способи цікавлять нас не з погляду можливого виконання за ними диференціації максимальних витрат за категоріями різної забезпеченості, а лише щодо можливості скористуватися цими способами для екстраполяційних узагальнень за границями практично гранично-ймовірного максимуму, розгляненого нами раніш. Я вже відзначав, що диференціація максимальних витрат за забезпеченостями в границях від 10% до 1% (тобто один раз на 10 років і один раз на 100 років) не має жодного реального і практичного змісту, будучи значною мірою фікцією і по самій суті побудов за Фуллером і Фостером, загалом дуже наближених і умовних.

Як уже відзначалося, співвідношення Фуллера:

$$Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (1 + 0,8 \lg T)$$

не має загального значення і не може бути прикладене до наших умов без попередньої перевірки параметрів.

Для дослідження поставленого питання виконані були відповідні обчислення і побудовані криві ймовірності повторення максимумів за Фуллером для 15 різних рік і пунктів басейну р. Дніпра і УСРР взагалі; по них пунктах обчислені також значення C_0 . Перелік пунктів обробки, з відповідними характеристиками, дано в наведеній нижче таблиці (див. табл. 6, с. 137).

Результати всіх обчислень дано на рис. 1. Як і треба було чекати, виявилась повна закономірність між розміщенням побудованих кривих повторюваності і градаціями коефіцієнта варіації C ; це цілком відповідає суті побудованих кривих, які зв'язують величини T_0 , або, інакше, забезпеченості, з величинами $Z = \frac{Q_{\max}}{Q_0} = K$, тобто з величинами, рівними модульним коефіцієнтам; інакше кажучи, в цих побудовах зв'язуються ті самі величини, що й в побудовах за Фостером.

З рисунка не важко одержати аналітичні вирази для побудованих співвідношень. Так маємо:

1) Для Дніпра біля Орші: $Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (1,15 + 0,62 \lg T)$; (4)

2) „ „ „ Києва: $Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (1,0 + 1,3 \lg T)$; (5)

3) „ Десни біля Чернігова: $Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (1,0 + 1,9 \lg T)$; (6)

4) „ р. Ірпеня: $Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (4,33 \lg T - 0,15)$; (7)

Таблиця 6

| № | Ріка | Пункт | Період спостережень | Число років спостережень | Площа басейну в км ² | C _v |
|----|-----------|--------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1 | Дніпро | Орша | 1881—1931 | 50 | 17 394 | 0,39 |
| 2 | " | Речиця | 1894—1931 | 38 | 55 149 | 0,62 |
| 3 | " | Київ | 1852—1931 | 80 | 326 500 | 0,56 |
| 4 | Десна | Чернігів | 1884—1931 | 48 | 79 370 | 0,80 |
| 5 | Сож | Гомель | 1900—1931 | 31 | 37 540 | 0,67 |
| 6 | Прип'ять | Мозир | 1881—1931 | 50 | 10 2800 | 0,62 |
| 7 | Уж (Уша) | Хабне | 1916—1932 | 17 | 5 279 | 0,61 |
| 8 | Тетерів | Макалевичі . . . | 1916—1918 | | | |
| | | | 1923—1932 | 11 | 8 191 | 0,93 |
| 9 | Ірпінь | Мостище | 1914—1919 | | | |
| | | | 1924—1931 | 14 | 2 813 | 1,33 |
| 10 | Рось | Деренковець . . | 1913—1919 | | | |
| | | | 1926—1932 | 16 | 10 608 | 0,73 |
| 11 | Псел | Гадяч | 1915—1917 | | | |
| | | | 1919—1932 | 17 | 11 435 | 0,46 |
| 12 | Ворскла | Полтава | 1914—1927 | | | |
| | | | 1930—1932 | 17 | 10 151 | 0,90 |
| 13 | Удай | Тишки | 1916—1920 | | | |
| | | | 1923—1931 | 14 | 5 806 | 0,95 |
| 14 | Хорол | Федорівка . . . | 1915—1931 | 17 | 3 736 | 0,91 |
| 15 | Півд. Буг | Богданівка . . . | 1914—1932 | 19 | 46 243 | 0,72 |

Як видно з рисунка, для всіх розглядуваних випадків одержані співвідношення для Орші і для Ірпеня є пограничні. Як відомо, дане Фуллером співвідношення

$$Q_{\text{макс}} = Q_{\text{сер}} (1 + 0,8 \lg T) \quad (8)$$

дозволило йому намітити перехідні коефіцієнти від максимумів $Q_{\text{макс}}$ ймовірних в перспективі якогось вихідного проміжка часу T_1 , до максимумів $Q''_{\text{макс}}$, ймовірних в перспективі довших періодів T_2 . А саме, з наведеного вище співвідношення, виходить

$$\frac{Q_{\text{макс}}}{Q''_{\text{макс}}} = \frac{(1 + 0,8 \lg T_1)}{(1 + 0,8 \lg T_2)} = \frac{A_1}{A_2} \quad (9)$$

якщо прийняти, що норма максимумів — величина $Q_{\text{сер}}$ — лишається практично сталою величиною для періодів різної тривалості (це припущення лежить і в основі всіх обчислень за Фостером).

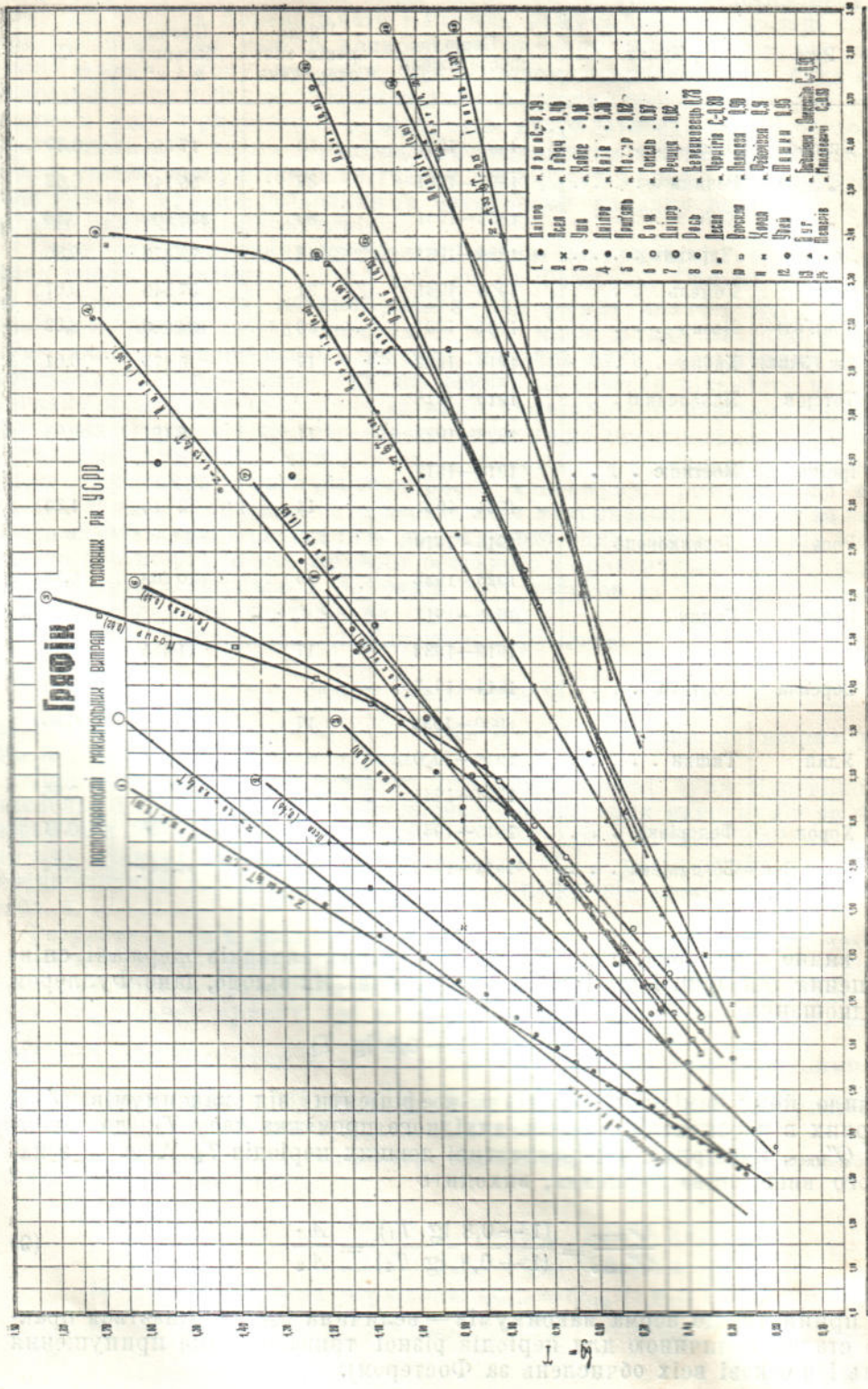


Рис. 1. Графіки пов'язаності максимальних витрат головних річок УССР (за схемою побудов Фуллера).

З співвідношення (8) виходить:

$$Q_{\text{макс}} = Q''_{\text{макс}} \frac{A_1}{A_2} = Q''_{\text{макс}} \cdot \beta$$

Саме таким шляхом Фуллер одержав такі перехідні коефіцієнти:

| Перехід в роках | β |
|-----------------|---------|
| від 20 до 35 | 1,10 |
| від 20 до 50 | 1,15 |
| від 20 до 100 | 1,27 |

Обчислимо такі перехідні коефіцієнти β для різних співвідношень, беручи до розрахунку два граничні випадки по Орші та Ірпеню і два середні по Кизву й по Чернігову. Тоді одержимо таку результативну таблицю:

Таблиця 7

Перехідні коефіцієнти $\frac{A_2}{A_1} = \beta$

| | Від 20 до 100 | Від 33 до 1000 | Від 20 до 50 | Від 100 до 50 | Від 100 до 500 | Від 100 до 1000 | C_v |
|---------------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|-------|
| Орша—р. Дніпро . . | 1,22 | 1,14 | 1,12 | 0,92 | 1,18 | 1,26 | 0,39 |
| Київ—р. Дніпро . . | 1,34 | 1,20 | 1,19 | 0,89 | 1,25 | 1,36 | 0,56 |
| Чернігів—р. Десна . | 1,37 | 1,26 | 1,21 | 0,88 | 1,27 | 1,38 | 0,80 |
| Мостище—р. Ірпінь . | 1,55 | 1,32 | 1,32 | 0,85 | 1,36 | 1,51 | 1,33 |
| Середнє . . . | 1,37 | 1,26 | 1,21 | 0,88 | 1,26 | 1,38 | |

З даних табл. 7 бачимо, що наші перехідні коефіцієнти β , взяті для дуже значного району і різних величин басейнів, практично цілком стійкі, незалежно від різних значень C_v . Справді, для розглянутих випадків процентні відхилення значень β від їх середніх значень виражаються такими числами для розглянутих крайніх випадків: при переході від 100 до 500 років — відповідно 6,3% і 8% (для Орші та Ірпеня); при переході від 100 до 1000 років — відповідно 8,7% і 9,4%; при переході від 20 до 50 років — відповідно 7,4% і 9,1%; при переході від 20 до 100 років — відповідно 11% і 13%.

Якщо взяти на увагу вже не один раз відзначену умовність різних граничних забезпеченості і значну проблематичність точності усіх цих обчислень, яка в усякому разі далеко не відповідає одержаним відхиленням, то практична стійкість одержаних значень наших перехідних коефіцієнтів стає цілком очевидною.

Поглибимо, яка буде стійкість таких самих співвідношень при обчисленні їх за Фостером. Для порівняння беремо, відповідно до даних таблиці Фостера, переходи від 20 до 100 і від 100 до 1000 років; вихідні цифри для простоти закруглюємо. Тоді одержуємо результати, наведені в табл. 8 (при $C_1 = 2C_2$).

Таблиця 8

| № | C_v | Значення K | | | Перехід від 20 до 100 | Перехід від 100 до 1000 |
|---------|-------|--------------|---------|-----------|--------------------------|----------------------------|
| | | $p=5\%$ | $p=1\%$ | $p=0,1\%$ | | |
| 1 | 0,40 | 1,72 | 2,10 | 2,70 | 1,22 | 1,28 |
| 2 | 0,55 | 2,05 | 2,70 | 3,58 | 1,32 | 1,33 |
| 3 | 0,80 | 2,57 | 3,68 | 5,30 | 1,43 | 1,44 |
| 4 | 1,30 | 3,60 | 6,12 | 9,9 | 1,67 | 1,64 |
| Середнє | | | | | 1,41 | 1,42 |

Як бачимо, результати практично вийшли не істотно відмінними від тих, які одержані за побудованими кривими ймовірності повторення максимумів; процентні розходження табл. 8 і 7 неістотні і цілком вкладаються в точність обчислень за обома методами. При розгляді таблиці співвідношень β , одержаних за Фостером, треба, проте, мати на увазі, що значення C_s , які визначають величини C_v для окремих конкретних випадків, нам по суті невідомі і навряд чи можуть бути визначені хоч трохи певно.

До того ж, не було (і не може бути виконано) жодної перевірки правильності співвідношень ні Фостера, ні Фуллера для $p=0,1\%$, бо такі максимуми, загалом кажучи, ніколи і ніде не спостерігались: це чисто теоретичні накреслення, які в обох випадках ґрунтуються на фактично неправильних передумовах (відсутність верхньої границі для Q_{\max}).

Виходячи з таких міркувань, вважаємо, що співвідношення за Фуллерівськими кривими ймовірності, як такі, що виключають C і тому дають єдиний розв'язок, варті більшої уваги, ніж співвідношення, що одержуються за Фостером, так само умовні, але до того ж де й невизначні.

Отже поставлена тепер задача про екстраполяцію „нормальних розрахункових“ максимумів для інших можливих розрахункових значень („граничних“ і „полегшених“) може бути розв'язана досить просто; вище ми вже спинились на тому, що „граничні розрахункові“ максимуми повинні відповідати формальній статистичній забезпеченості порядку в 0,2 або 0,1%, а максимуми „полегшені“ — забезпеченості в 3% і 5%. Виходячи з цього, можна розрахункові значення перехідних коефіцієнтів β для розглядуваного нами району басейну р. Дніпра взяти однакові для всіх рік розглядуваного басейну (з площами басейнів не менше 3000 км², для більшої обережності в наших висновках).

Очевидно, для розглядуваного району цілком доцільно спинитися на одержаних нами середніх значеннях коефіцієнтів β ; можливі насправді коливання, як встановлено, менші ніж можлива точність таких обчислень.

Отже остаточна результативна таблиця перехідних коефіцієнтів β для розрахункових максимумів (при $F > 3000$ км²) для басейну р. Дніпра може мати такий вигляд:

1. Від нормальних ($p=1\%$) до граничних:

а) $p=0,5\%$ $\beta_1=1,26$

б) $p=0,1\%$ $\beta_2=1,38$

2. Від нормальних ($p = 1\%$) до полегшених:

а) $p = 3\%$ $\beta_3 = 0,82$

б) $p = 5\%$ $\beta_4 = 0,73$

3. Від ймовірних один раз на 20 років до нормальних ($p = 1\%$):

$\beta_5 = 1,37$

4. Від ймовірних один раз на 33 роки до нормальних ($p = 1\%$):

$\beta_6 = 1,26$

(А)

Наведені значення перехідних коефіцієнтів β дуже близькі до фактичних по Києву і збігаються майже точно з такими самими коефіцієнтами по Чернігову. У зв'язку з цим загальне співвідношення для розглядуваного району р. Дніпра може бути подано в такому вигляді

$$Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (1,0 + 1,9 \lg T) \quad (10)$$

Для площ басейнів, менших ніж 3000 км^2 , за аналогією з розглянутим вище, можна було б наближено вважати можливим використання співвідношення, одержаного для р. Ірпеня (з площею басейну $F = 2813 \text{ км}^2$) тобто такого:

$$Q_{\max} = Q_{\text{сер}} (4,33 \lg T - 0,15) \quad (11)$$

Звідки перехідні коефіцієнти для розрахункових максимумів (при $F < 3000 \text{ км}^2$) можуть бути одержані в такому вигляді:

1. Від нормальних до граничних:

а) $p = 0,5\%$ $\beta_1 = 1,36$

б) $p = 0,1\%$ $\beta_2 = 1,51$

2. Від нормальних до полегшених:

а) $p = 3\%$ $\beta_3 = 0,76$

б) $p = 5\%$ $\beta_4 = 0,64$

(Б)

3. Від ймовірних один раз на 20 років до нормальних:

$\beta_5 = 1,55$

5. Від ймовірних один раз на 33 роки до нормальних:

$\beta_6 = 1,32$

При застосуванні наведених коефіцієнтів, поданих у двох цих зв'язках, а також співвідношень, які одержуються за означеними рівняннями, треба мати на увазі таке.

1) Ймовірність витрати, одержаної на основі даних дійсних спостережень, повинна визначатись не формально статистично, а з аналізу наявних даних як для розглядуваної, так і для сусідніх річ з аналогічним режимом, тобто з аналогічним фізико-географічним комплексом характеристик.

2) В разі відсутності даних дійсних спостережень ймовірна забезпеченість розрахункової максимальної витрати, одержаної за існуючою для даного району емпіричною залежністю, повинна по змозі визначатись

з аналізу дійсних даних, покладених в основу побудування даної емпіричної формули.

Вибір конкретних розрахункових максимумів з трьох можливих може бути для кожного окремого випадку виснований за сукупністю усіх міркувань при проектуванні конкретних споруд (робота споруди, важливість споруди, матеріал споруди, економічні міркування та ін.); вибір для розрахунку гравічних максимумів, що відповідають формальній статистичній забезпеченості в 0,1%, як відзначалось, очевидно, можна вважати доцільним тільки в окремих випадках особливо важливих і відповідальних споруд¹⁾.

Питання про розрахункові формули для нормальних розрахункових максимумів для басейну Верхнього Дніпра буде розглянено (на основі нових даних) в другому розділі.

Розділ II

Норми розрахункових максимумів

§ 6. Про формули інж. Д. І. Кочеріна для розглядуваного району

Територія басейну Верхнього Дніпра (до Києва) входить, як відомо в такі ділянки паводочного і повідневого районування інж. Д. І. Кочеріна: басейни власне Верхнього Дніпра до Речиці, Березини, Прип'яті і Сожа — в Західну область (яку інж. Д. І. Кочерін поділяв на райони: Західні ували і Поліська низина); басейн Десни входить до Середньої області (з районами: Брянським лісним і Яружним лісостеповим); до Середньої ж області інж. Д. І. Кочерін залічує ще Донську (Оксько-Донську) низину і Приволзьку височину.

Для побудови своїх узагальнюючих емпіричних формул Д. І. Кочерін мав дуже обмежені дані: по обох районах Західної області лише одну витрату по Дніпру (коло Лозва), одну по р. Прип'яті (коло Мозиря — за старими даними, зменшену) і по р. Горині (притоці р. Прип'яті) і 10 витрат виключно залізничного походження (тобто частіше перебільшених), по басейнах р. Немана і Західного Буга.

По середній області Д. І. Кочерін мав одну витрату по р. Десні (коло гирла, 1917 р.), дев'ять витрат по ріках басейну р. Оки, з яких дві він визнав завідомо перебільшеними, і сім витрат по басейнах рр. Волги та Дона.

Отже ріки, що інтересують нас, фактично в побудовах Д. І. Кочеріна даними про виміряні максимуми висвітлені не були.

Зрозуміло, що жодної деталізації побудов за виділеними природними районами розглядуваних ділянок при вихідних матеріалах, які мав інж. Д. І. Кочерін, бути не могло. Тому Д. І. Кочерін для згаданих двох ділянок, що включають по суті досить різномірні басейни ряду рік, дав усього дві формули:

1) Для Західної області

$$q_m = \frac{2,88}{F^{0,236}} - 0,13 \quad (12)$$

2) Для Середньої області

$$q_m = \frac{3,35}{F^{0,235}} - 0,15 \quad (13)$$

¹⁾ Ми вважаємо цілком нераціональними взяті з американської практики і рекомендовані [12] розрахунки, що мають на увазі забезпеченість порядку один раз на 5 000 років і навіть один раз на 10 000 років; такі забезпеченості цілком довірливі, не мають жодної фізичної рації і незрозумілі навіть з чисто формального погляду.

Обидві ці криві орієнтовані були на крайні точки з числа наявних (після виключення кількох малонадійних).

Зважаючи на це, наприклад, і дуже заболочений басейн р. Прип'яті і басейни Верхнього Дніпра, Березини і Сожа, розміщені на території Західних увалів, в побудовах Д. І. Кочеріна щодо формування максимальних витрат дістали цілком однакову оцінку. Так само однакові закономірності у співвідношеннях між максимальними модулями і площами басейнів були дані Д. І. Кочеріним, наприклад, для басейну р. Десни і для Приволзької височини, яка включає правий нагірний берег р. Волги.

Ця схематичність і змушена умовність узагальнень, що випливають з факта цілковитої недостатності вихідних матеріалів, цілком усвідомлювались Д. І. Кочеріним, який розглядав свої побудови тільки як перше наближення до дійсності.

Формули для максимальних витрат інж. Д. І. Кочеріна були опубліковані в 1927 р.; після того з'явився ряд нових даних щодо максимальних витрат, зареєстрованих в 1931 і 1932 рр. — тобто в роки з виключними за своїми розмірами весняними поводями. У зв'язку з цим перегляд співвідношень Д. І. Кочеріна для басейнів Верхнього Дніпра ми вважаємо за цілком доцільний.

§ 7. Вихідні матеріали і їх оцінка

Нові дані щодо максимальних витрат рік розглядуваних басейнів р. Дніпра одержані були в процесі розробок, які виконувались під керівництвом автора, а також зібрані в Управліннях Єдиної гідрометслужби БСРР, УСРР і Західної області РСФРР. Зведення найнадійніших з наявних і зібраних матеріалів дано в табл. 9; у зв'язку з обмеженою кількістю їх, до вихідних матеріалів приєднані і деякі максимуми по районах суміжних басейнів. Усі наявні максимуми в табл. 9 розміщені відповідно до окремих основних басейнів Верхнього Дніпра, починаючи з басейну р. Десни і кінчаючи басейном р. Прип'яті.

Як бачимо, всього в 36 максимумів, з яких 8 припадає на район Середньої області (басейн р. Десни, при чому три витрати стосуються суміжних басейнів), а 28 — на район Західної області (басейни р. Верхнього Дніпра до Ловва, Березини і Прип'яті з деякими суміжними басейнами).

Щодо наведених витрат треба відзначити таке.

1) Витрати № 1, 8, 16, 17, 25 взяті за кривими витрат, побудованими для цих пунктів проф. А. В. Огізевським (див. „Режим стока Верхнього і Середнього Дніпра“) з досить значною екстраполяцією цих кривих; крива витрат по р. Сожу коло Гомеля (максимум № 8) вивірена при цьому за додатковими вимірами весни 1932 р.

2) Витрати № 9, 10, 11, 12, 13 і 14 вибрані з даних Управління Єдиної гідрометслужби Західної області; при цьому витрати № 10 і 11 відповідають фактичним вимірам млинком, а витрату № 12 одержано досить значною екстраполяцією кривої витрати, побудованої ГДЕП-ом; витрату № 9 взято з серії одиничних вимірів 1931 р., і вона можливо не відповідає щипеловому максимумові 1931 р.

3) Витрати № 3, 4, 30, 31, 32, 33, 34 взяті з даних Гідрометінституту УСРР; при цьому витрати № 3, 4 і 34 одержані або безпосереднім вимірюванням млинком або дуже незначною екстраполяцією кривих витрат; витрати № 30, 31, 32 і 33 одержані за побудованими кривими витрат при екстраполяції останніх на величини порядку 100 см і навіть до 200 см (витрата № 30).

4) Витрати № 21, 22, 26, 27, 28, 29 — взяті з даних Управління Єдиної гідрометслужби БСРР, як одержані екстраполяцією побудованих

Таблиця 9

Максимальні витрати по басейнах Верхнього Дніпра і суміжних з ним

| № | Ріка | Басейн | Пункт | Площа басейну в км ² | $Q_{\text{макс}}$ в м ³ /сек | $\frac{q}{z}$ в м ³ /сек з 1 км ² | Дата | Роки спостережень |
|----|------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|---|---|--------------|-------------------|
| 1 | Десна | Дніпро | Чернігів | 79 373 | 8 000 | 0,101 | 1917 | 1894—1933 |
| 2 | " | " | Брянськ | 12 220 | 2 200 | 0,180 | 1931 | 1890—1933 |
| 3 | Сейм | Десна | Мутино | 27 720 | 3 169 | 0,114 | 16. IV 1932 | 1925—1933 |
| 4 | Клевень | Сейм | Шаршівка | 2 370 | 690 | 0,291 | 9. IV 1932 | 1926—1932 |
| 5 | Ока | Волга | Оред | 4 200 | 1 250 | 0,30 | — | — |
| 5а | " | " | Калуга | 54 000 | 5 870 | 0,11 | 12. IV 1908 | 1876—1921 |
| 6 | Вад | Москва (Ока) | Міст Ряз.-Уральськ. зал. | 1 930 | 632 | 0,33 | — | — |
| 7 | Жіздра | Ока | с. Устьє | 800 | 265 | 0,331 | 1926 | — |
| 8 | Сож | Дніпро | Гомель | 37 540 | 6 000 | 0,160 | 1931 | 1900—1933 |
| 9 | " | " | Кричів | 10 500 | 1 498 | 0,141 | 28. IV 1931 | — |
| 10 | Іпуть | Сож | М. Бобовичі | 8 830 | 2 016 | 0,228 | 26. IV 1931 | — |
| 11 | " | " | Ущерп'є | 7 930 | 1 821 | 0,230 | 26. IV 1931 | — |
| 12 | " | " | Казаричі | 5 700 | 1 392 | 0,244 | 25. IV 1931 | — |
| 13 | Уза | " | Уваровичі | 258 | 95 | 0,368 | 22. IV 1931 | — |
| 14 | В. Нагопа | Сож | Писаревщина | 150 | 39 | 0,260 | 22. IV 1929 | — |
| 15 | Дніпро | — | Лоїв | 81 940 | 5 200 | 0,063 | — | — |
| 16 | " | — | Речинця | 55 150 | 5 300 | 0,098 | 1931 | 1894—1933 |
| 17 | " | — | Орша | 17 400 | 2 000 | 0,115 | 1931 | 1881—1932 |
| 18 | " | — | Смоленськ | 14 700 | 1 750 | 0,119 | — | 1881—1933 |
| 19 | " | — | Дорогобуж | 6 800 | 1 000 | 0,147 | — | 1881—1933 |
| 20 | Березина | Дніпро | Шаццалки | 22 600 | 2 200 | 0,097 | — | — |
| 21 | Свіслоч | Березина | Теребути | 3 965 | 560 | 0,141 | 29. IV 1931 | — |
| 22 | " | " | Мінськ | 796 | 417 | 0,520 | 22. IV 1931 | — |
| 23 | Неман | — | Міст Заво-ман. зал. | 39 800 | 4 400 | 0,110 | — | — |
| 24 | Сідра | Неман | " | 370 | 202 | 0,540 | — | — |
| 25 | Прип'ять | Дніпро | Мозир | 100 300 | 6 400 | 0,064 | 1877 | 1877—1933 |
| 26 | Птіч | Прип'ять | Птіч | 9 392 | 997 | 0,106 | 1931 | — |
| 27 | " | " | Лучиці | 8 440 | 744 | 0,088 | 24. IV 1931 | — |
| 28 | Ореса | Птіч | Андріївка | 3 513 | 251 | 0,071 | 1931 | — |
| 29 | Гребелька | " | Бирчуки | 68 | 10,8 | 0,159 | 1931 | — |
| 30 | Півд. Случ | Прип'ять | Івашківка | 5 753 | 1 180 | 0,205 | 7. IV 1932 | 1927—1932 |
| 31 | Уша | " | Черевач | 7 200 | 1 410 | 0,196 | 21. III 1924 | 1918—1932 |
| 32 | " | " | Хабне | 5 280 | 1 108 | 0,210 | 30. III 1924 | 1916—1932 |
| 33 | Тетерів | Дніпро | Макалевичі | 8 190 | 1 670 | 0,204 | 6. IV 1932 | 1916—1932 |
| 34 | Здвиж | Тетерів | Шибенська Рудня | 1 284 | 203 | 0,157 | 5. IV 1932 | 1911—1933 |
| 35 | Ірпінь | Дніпро | Мостице | 2 813 | 600 | 0,213 | 31. III 1924 | 1912—1932 |

кривих витрат на досить значній віддалі, крім витрати № 22, що відповідає дуже невеликій екстраполяції.

5) Витрати № 5, 5а, 6, 7, 15, 23, 24 взяті у інж. Д. І. Кочеріна.

6) Витрати № 2, 19, 20 обчислені в Н.-д. інституті водного господарства УАН за наближеними кривими витрат; витрату № 18 взято за даними інж. Карачевського-Вовка; витрата № 35 підрахована в Інституті водного господарства УАН за вимірами гідравлічних елементів, при чому, очевидно, ця витрата трохи перебільшена.

Наведені в табл. 9 максимальні витрати або є максимуми за дуже довгі періоди (40—50 років), як наприклад, витрати № 1, 8, 16, 17, 25, або ж, відповідаючи менш тривалому ряду спостережень, стосуються періодів завідомо катастрофічно високих повеней 1931 і 1932 р., тобто мають фактичну забезпеченість, яка близько підходить до прийнятого нами поняття нормальних розрахункових максимумів.

По окремих басейнах наявні максимуми розподіляються так: Десна (і суміжні басейни)—8 максимумів, Сож—7, Дніпро до Лозва—5, Березина (з суміжними басейнами)—5, Прип'ять—8, басейни Тетерева та Ірпеня—3.

§ 8. Обґрунтування і принципи побудов

Побудови шуканих залежностей, очевидно, повинні передбачати виконання двох таких стадій дослідження: 1) аналіз вихідних матеріалів, 2) встановлення розрахункових залежностей.

Аналіз вихідних матеріалів повинен полягати в оцінці наявних максимумів, що вона повинна ґрунтуватися на враховуванні фізико-географічних характеристик окремих басейнів і можливого їх впливу на формування максимумів, на оцінці ймовірної забезпеченості фактичних максимумів і закономірностей, що накреслюються в розміщенні цих максимумів.

Д. І. Кочерін у своїй відомій роботі про норми найбільших витрат снігових паводків (поводей) в Європейській частині Союзу РСР, вважає, що снігові максимуми, визначаючись переважно інтенсивністю танення снігу, меншою мірою (взяті у вигляді модулів), ніж зливові паводки, залежать від розмірів басейну і ще меншою мірою—від різниць в ґрунтовому і рослинному покриві, виключаючи вплив лісу і боліт. Такий самий малий вплив, за Д. І. Кочеріним, робить на формування видатних максимумів рельєф місцевості; в силу зазначених міркувань Д. І. Кочерін за основні діючі фактори приймає географічне положення і розміри басейну і тільки для площ басейнів, менших на 2 000—5 000 км² дає поправочні коефіцієнти, які враховують лісистість і заболоченість басейнів.

Міркування Д. І. Кочеріна, вимагають, на нашу думку, певних корективів.

Поперше, вплив лісистості і заболоченості навряд чи логічно обмежувати границею в 2 000—5 000 км², пропонованою Д. І. Кочеріним; наявність у басейнах значних заболочених просторів, без сумніву, повинна впливати на процеси формування максимумів і при більш значних розмірах басейнів; якщо в розрахунковій побудові прямо не врахувати цієї обставини, то вплив розглядуваних факторів не може істотно ослаблюватись розмірами басейну.

Подруге, вплив рельєфу місцевості на процеси формування снігових максимумів навряд чи повинен „в значительной мере сглаживаться в силу растянутости (продолжительности) процесса таяния“, як це постулює Д. І. Кочерін, тому що при формуванні видатних максимумів (про які йдеться мова), процеси танення, з одного боку, відбуваються дуже

енергійно і швидко, а з другого боку — безперечно скочування талих вод у ріку при крутому рельєфі здійснюється швидше, ніж при положистому.

Потреть, Д. І. Кочерін зовсім не бере на увагу форми басейну і густоти його річної сіті; тим часом, очевидно, що в симетрично розвинутому басейні, як наприклад, басейн р. Сожа, процеси формування максимумів відбуватимуться в більш сприятливих умовах, ніж у подовжених басейнах типу Верхнього Дніпра, де значна частина ріки має майже тільки транзитне русло, з дуже незначною смугою власного басейну, без хоч трохи великих приток.

Почетверте, істотну роль у формуванні максимумів повинні грати форма і характер долини ріки, що впливають на прохідні максимуми в напрямі того або іншого акумулювання повідневих вод в міру просування їх вниз по ріці.

Зазначеними міркуваннями я хочу підкреслити безсумнівну наявність досить численних факторів, які можуть, очевидно, досить широко варіювати процеси формування максимумів навіть в однохарактерних своєю топографією і кліматичними характеристиками районах.

Маючи на увазі сказане вище, перейдімо до короткого розгляду основних фізико-географічних характеристик басейнів, що інтересують нас, додатково розвинувши їх далі при виконанні аналізу наявних матеріалів. Найодноріднішим своїми характеристиками можна вважати басейн р. Прип'яті, який являє собою плоску низовину, дуже слабо дреновану наявною річною сіттю, майже суцільно заболочену і значно лісисту (до 40%). Винятком з цієї картини є ряд південних приток р. Прип'яті: Південний Случ, Горинь, Уша, басейни яких треба вважати перехідними до південно-західного яружно-лісостепового району (Волинсько-Подільська височина).

Р. Березина протікає в районі Західних увалів, в середньо-горбастій місцевості, вона має ряд зовсім незаболочених або мало заболочених приток (як, наприклад, р. Свіслоч до м. Мінська, р. Бобр, р. Гойна, р. В'яча з Начею, р. Ольса, р. Уша, р. Клева), р. Свіслоч, дані про максимуми для якої є, вище м. Мінська і до с. Терebut має кілька частково заболочених приток, найбільша з яких є р. Солочанка (заболочена в середній її течії); отже, до с. Терebutи загальний характер басейну р. Свіслоч трохи змінюється, порівнюючи з басейном її до м. Мінська.

Верхній Дніпро до Рогачева, тобто до впадіння Березини, має частину приток незаболочених, з характеристиками басейнів, типовими для району Західних увалів; такі, наприклад, рр. Воп і Хлюсть; частина ж приток Верхнього Дніпра заболочена, як, наприклад, Ухляс, Полна, частково Лахва і Оршиця, Березина (мала притока Дніпра) з Колесянкою і Єльнею. Р. Друть, велика притока р. Дніпра, що впадає в Дніпро трохи вище Рогачева, має загалом незаболочений басейн, крім деяких незначних приток (Долженка, Грезля, Черемомирка).

Басейн р. Сожа, розміщений в районі Західних увалів, характеризується середньо-горбастим рельєфом і лісистістю порядку 25—35%.

Басейн р. Десни можна схарактеризувати як помірно горбастий з досить значною (в границях від 15 до 50%) лісистістю. Порізаність рельєфу більша в південній половині басейну р. Десни (район яружного лісостепу); лісистість тут незначна (5—15%), при чому великих лісних масивів немає. Отже, басейн південної найбільшої притоки р. Десни — р. Сейма — повинен досить істотно різнитися від решти басейну р. Десни.

Максимальні запаси снігу наприкінці зими, за даними, що в нас є, в найбільших кількостях накопичуються звичайно в північносхідних

районах Десни і Сожа і у верхів'ях Верхнього Дніпра (до 70—80 см). Найменші кількості снігу наприкінці зими бувають в районі р. Прип'яті.

Щодо форми басейну, як уже відзначалось, басейн Сожа, який має майже симетричну віялоподібну форму, повинен являти особливо сприятливі умови для формування високих снігових максимумів; найнесприятливішу картину щодо цього маємо для Верхнього Дніпра.

Для Прип'яті скрес південних приток звичайно буває трохи раніше проти північних, що повинно впливати на зменшення максимумів.

З усього сказаного вище можна прийти до такого важливого висновку: очевидно, умови формування весняних максимумів на розглядуваних п'ятьох основних басейнах (Прип'яті, Березини, Верхнього Дніпра, Сожа і Десни), загалом кажучи, повинні бути різні; звідси став доцільним при побудованні залежностей, що інтересують нас, спробувати здійснити їх диференціацію відповідно до названих окремих басейнів.

Друге важливе питання, що виникає при розв'язанні поставленої задачі, має на увазі оцінку однозначності наявних максимумів щодо того або іншого ступеня їх повторюваності. Вже згадувалось, що забезпеченість майже всіх наявних максимумів, очевидно, відповідає формальній статистичній забезпеченості в 1—2%. Справді, максимуми № 1, 2, 5а, 8, 16, 17, 18, 19, 25 стосуються дуже довгих періодів спостережень, порядку 45—55 років; більшість з цих максимумів разом з тим відповідає виключно високій поведі 1931 р. Максимуми № 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 21, 22, 26, 27, 28, 29, 30, 33 і 34 базуються на значно коротших рядах спостережень, до 6—8 років включно (як, наприклад, максимуми № 3 і 4); проте, формально-статистичний підхід в даному випадку, без сумніву, дав би зовсім невірну оцінку повторюваності цих максимумів, бо відомо, що 1931 і 1932 роки, яких стосуються названі вище максимуми, майже для всіх розглядуваних басейнів були роками виключно високих катастрофічних поведей, яких не було протягом ряду десятків попередніх років.

Крім того, майже всі названі витрати мають цикл спостережень, який включає не тільки 1931 і 1932 рр., але й інші роки, що відзначаються дуже високими максимумами в розглядуваних районах, — як, наприклад 1924 і 1929 рр. Тому фактична забезпеченість названих вище витрат може бути досить обгрунтовано прийнята в 1—2% формально-статистичної забезпеченості. Максимуми № 14, 31, 32 і 35 стосуються 1929 і 1924 рр., — наявні цикли спостережень за водомірними постами, по яких одержані ці максимуми, включають останні 1½—2 десятка років, які характеризуються видатними максимумами; тому і для цих максимумів імовірна фактична забезпеченість може бути оцінена в 1—2%. Максимуми № 5, 5а, 6, 7, 15, 18, 23 і 24, взяті у інж. Д. І. Кочеріна, не мають прямих характеристик, потрібних для оцінки фактичної їх забезпеченості; можна лише вважати, що максимуми № 6, 23 і 24, одержані за залізничними даними („мостового походження“ — за термінологією Д. І. Кочеріна), мають незначну фактичну забезпеченість такого самого порядку, як і розглянені вище витрати.

Отже, з наведених в табл. 9 максимальних витрат, усі максимуми, які стосуються безпосередньо басейнів, що інтересують нас (крім № 15), можуть бути оцінені як такі, що мають фактичні забезпеченості порядку 1—2%; неясна ймовірна фактична забезпеченість лиш для двох витрат по суміжних басейнах (№ 5 і 7).

Переходячи тепер до питання про вигляд відшукуваних емпіричних залежностей, відзначмо, що (як це було прийнято Д. І. Кочеріним) оскільки основні фізико-географічні характеристики басейнів у границях окремих басейнів взагалі можна вважати однохарактерними, за аргумент шуканих залежностей доцільно взяти величину площі басейну. Д. І. Кочерін

вважав, що ці залежності, маючи гіперболічний характер, повинні відповідати рівнянням такого вигляду:

$$q = \frac{A}{F^n} - B, \quad (14)$$

де n — дробове число.

Це положення Д. І. Кочеріна ми вважаємо, проте, досить довільним; очевидно, в умовах окремих конкретних басейнів вигляд шуканих залежностей зовсім не треба обов'язково вкладати в саме наведену вище форму; шукана форма повинна визначатись емпірично, відповідно до наявного конкретного матеріалу, незалежно від форми, що постулюється наперед. Тому, можна припустити можливість і іншого вигляду розрахункових залежностей, наприклад, вигляду:

$$q = \frac{A}{F^n} \quad (15)$$

Зауважмо, що рівняння (14) відповідає на логарифмічній клітчатці деякій кривій, при чому член B може служити для спрямлення цієї кривої; рівняння вигляду (15) в логарифмічних шкалах відповідає прямій лінії.

Показник степеня в рівняннях (14) і (15), очевидно, характеризує ступінь мінливості модулів залежно від величини площі басейну; при рівності модулів для будь-яких площ басейнів ми мали б пряму, паралельну осі площ; чим більше зростають модулі із зменшенням площ басейнів, тим показник n повинен бути більший. Звідси зрозуміло, що до величин показників n навряд чи можна ставити якінебудь вимоги узагальнюючого порядку, необгрунтовані спроби яких можна констатувати в деяких авторів¹⁾.

§ 9. Виконання розрахункових побудов

Для виконання шуканих побудов усі наявні максимуми наносимо на логарифмічну клітчатку рис. 2; при цьому точки, що стосуються різних основних басейнів, виділяємо різними умовними знаками (див. рис. 2). Як бачимо, точки побудови розмістилися досить розкидано. При найближчому дослідженні розміщення окремих точок виявляється ряд досить виразних закономірностей. Точки максимумів по басейну р. Прип'яті № 25, 26, 27 і 28 розміщуються значно нижче проти всіх інших; це цілком відповідає нашим уявленням про вплив на максимальні витрати заболочених плоских басейнів р. Прип'яті при дуже широких річних заплавах, які мають величезну акумулюючу здатність.

Точки, що відповідають максимумам трьох підденних приток р. Прип'яті, а саме р. Півд. Случа (№ 30) і р. Уші (№ 31 і 32), а також максимум суміжного з басейном р. Прип'яті Тетерева (№ 33), розмістилися значно вище, ніж розглянені вже максимуми по заболочених басейнах р. Прип'яті; тут треба взяти на увагу відмінність, яка вже відзначилась, басейнів рр. Уші, Півд. Случа і Тетерева.

В зв'язку з цим доцільно, очевидно, рр. Тетерів, Ушу і Півд. Случ, так само як, очевидно, і р. Горинь, розглядати окремо від заболочених басейнів системи р. Прип'яті. Далі, досить добре вираховується розміщення точок, що відповідають басейнові р. Сожа: точки № 8, 10, 11 і 12 розміщуються майже на одній прямій; очевидно, виграта № 9 (для Крічева) трохи зменшена. Для басейну р. Десни загальний напрям залежності між модулями максимумів і площами басейнів визначається не досить чітко

¹⁾ Див. Д. Л. Соколовский, Максимальные модули снегового стока рек Ленинградской области и Карелии и методы их расчета, Записки ГГИ, т. X, Ленинград, 1933.

в зв'язку з зовсім недостатнім числом точок — усього чотири точки, з яких дві по басейну р. Сейма, очевидно, не треба вважати характерними для решти частини басейну р. Десни.

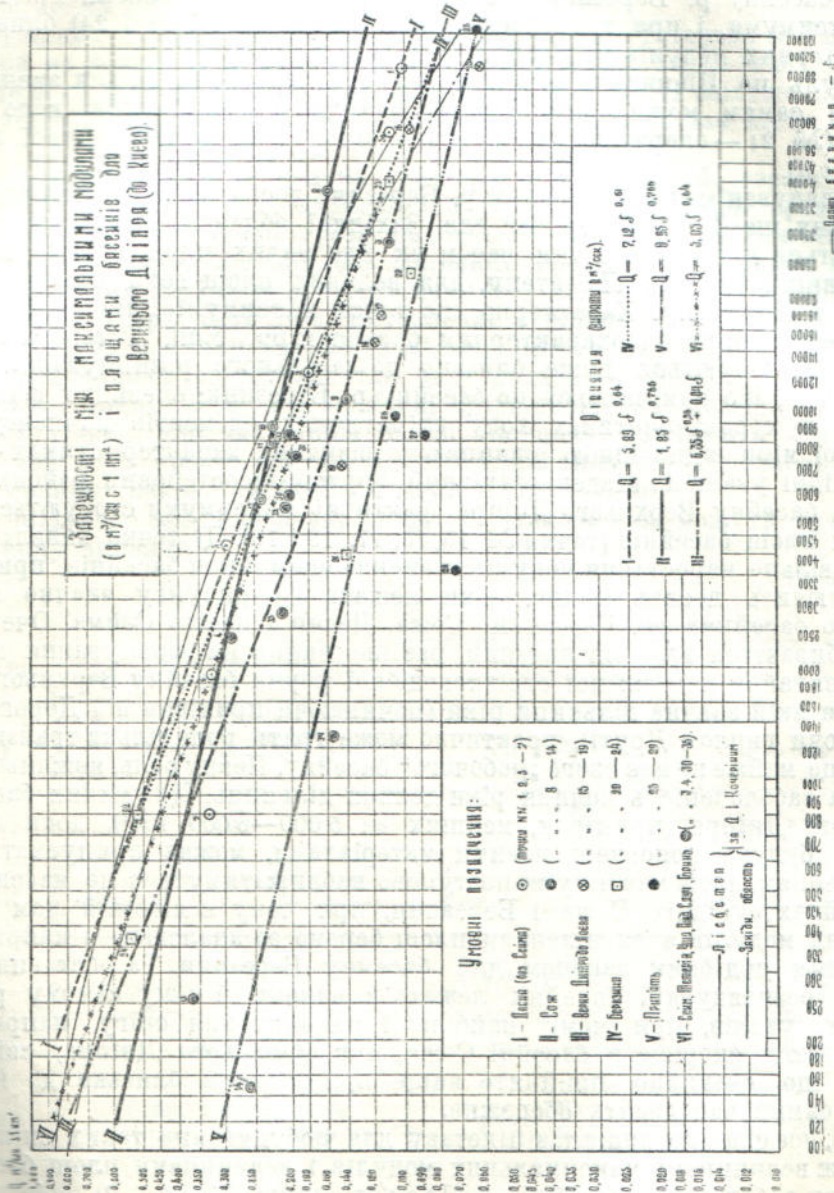


Рис. 2. Залежності між максимальними модулями і площами басейнів Дніпра до Києва.

Важко взяти на увагу точки суміжних басейнів, а саме по р. Опі до Орла (№ 5) і по р. Вад (№ 6), то виявляється така закономірність: для великих площ басейну ($F > 9000 - 10000 \text{ км}^2$) модулі по басейну р. Десни менші, ніж по р. Сажу, далі ж вони зростають значно швидше. Перше можна, очевидно, пояснити не таким вигідним розміщенням вріток, як на р. Сажу, для вже сформованої Десни коло м. Червігова і вище. Крім цього на модулі для Червігова відбиваються, очевидно, і зрешеві модулі р. Сейма, басейн якого розміщений більш на південь; щодко значніших

модулів для малих площ басейну р. Десни, ніж для р. Сожа, то в зв'язку з більш східчастим положенням, і, очевидно, трохи більш горбастим рельєфом, ця обставина також здається досить правдоподібною.

Для басейну р. Березини і суміжного з останнім басейну р. Немана два максимуми, і при тому досить надійні (точка № 21 і 24) близькі до максимальних модулів р. Десни.

Модуль по Шацилкам (№ 20), без сумніву, виявляється зменшеним і таким самим можна припускати модуль по р. Свіслочі коло Тербутова (№ 21 — одержано за екстраполяцією побудованої кривої витрат на 138 см).

Розглядувані дані по басейну р. Березини досить виразно стверджують зауважену ще Д. І. Кочеріним для Західної області закономірність, яка виявляється в тому, що тим часом як для малих площ максимуми тут значно вищі, ніж для Лісостепу, для великих площ вони нижчі за максимуми в Лісостепу. Характерно, що точки максимумів, які відповідають розгляненим вище однохарактерним басейнам рр. Уші, Тетерева і Півд. Случа, розміщуються дуже близько до загального розміщення точок максимумів, що намічаються по басейну р. Березини; очевидно фактична різниця в характеристиках ходу кліматичних елементів компенсується до певної міри відповідною різницею у фізичних характеристиках басейнів (західні ували і південнозахідний яружно-лісостеповий район). Нарешті для басейну Верхнього Дніпра фактичні максимуми стосуються лиш значних площ басейнів (точки № 15, 16, 17, 18 і 19). Ці точки виявляють досить повільне наростання модулів із зменшенням площ басейнів, при чому, розміщуючись досить згідно, вони лежать на рисунку значно нижче точок по басейнах рр. Березини, Сожа, Десни і навіть Сейма. Очевидно, тут відбивається вже відзначений раніше вплив на формування максимумів звичайно подовженої стрічкоподібної форми басейну Верхнього Дніпра, при якій значна ділянка ріки (починаючи приміром від Дорогобужа і кінчаючи гирлом Друті), практично може грати роль тільки транзитного русла, що майже не має свого „робочого“ басейну. Певну роль, можливо, грає і значна заболоченість долини ріки деяких ділянок. Для малих басейнів Верхнього Дніпра (приміром, менших за 5 000—6 000 км²), доки наявні дані не будуть поповнені новими матеріалами, можна припускати, що з зменшенням площ максимуми поступово наближатимуться до максимумів по басейнах сусідніх Сожа і Березини, при чому невідомий нам закон зростання модулів з зменшенням площ беремо за аналогією з найрізкіше вираженим подібним законом для басейну Березини. Та обставина, що всі три розглядувані басейни лежать в одному й тому самому районі західних увалів, при чому найбільші накопичення снігу наприкінці зими бувають скоріше в басейні Сожа, ніж Верхнього Дніпра, свідчить про те, що, очевидно, прийняте вище припущення близьке до істини і в той самий час досить обережне.

Отже, усе сказане вище дає підставу для побудування таких співвідношень між величинами максимальних модулів і величинами площ басейну:

1) Для заболочених басейнів р. Прип'яті крива V (рис. 2), орієнтована на точки № 25, 26, 27 і яка проходить трохи вище точки № 34 для заболоченої, що протікає в лісистому районі, р. Здвиж сусіднього басейну р. Тетерев; точка № 14 по р. В. Натопі (басейн р. Сожа) також дає менший максимум, ніж намічений напрям кривої V;

2) для басейну Сожа крива II, орієнтована на точки № 8, 10, 11, 12 і яка проходить вище точки № 13; напрям цієї кривої виявляється паралельним попередній;

3) крива I для басейну Десни (без Сейма) орієнтована на точки 1, 2, 5, 5а і 6;

4) крива III для басейну Верхнього Дніпра до Лозва, орієнтована на точки № 15, 16, 17, 18, і 19 і напрямлена далі паралельно найбільш крутій кривій, що відповідає басейнові Березини;

5) крива IV для басейну Березини (незаболочені ріки), орієнтована на точки № 22 і 23;

6) крива VI, що об'єднує басейни рр. Сейма, Тетерева й Уші, орієнтована на точки № 3 і 4 (р. Сейм) і точки № 31, 32, 33 (Уша і Тетерів).

Це останнє узагальнення відповідає закономірності збільшення модулів (із зменшенням площ басейнів), аналогічній тій, яка має місце для сусідньої р. Десни.

З одержаних шести кривих найменш надійною треба вважати, очевидно, криву для Верхнього Дніпра до Лозва; само собою зрозуміло, що й решту співвідношень треба розглядати як перше наближення до дійсності. Відзначмо, що кінцеві ділянки побудованих кривих виявилось дуже зручним вивіряти побудуванням їх у звичайних (не логарифмічних) масштабах і при тому при зіставленні з площами басейнів не модулів, а абсолютних величин витрат (в $\text{м}^3/\text{сек}$); при такому способі побудування для всіх кривих одержуємо ще одну додаткову точку: $Q=0$ при $F=0$. Доцільно припускати, що знайдені співвідношення можуть бути застосовані тільки для значніших площ, порядку починаючи з F рівному 150—200 км^2 ; просту екстраполяцію одержаних співвідношень за зазначені границі навряд чи можна вважати допустимою.

Аналітично всі відзначені вище співвідношення можуть бути подані в такому вигляді:

Таблиця 10

| № рівнянь | Назва басейнів | Рівняння для: | |
|-----------|--|---|--|
| | | q в $\text{м}^3/\text{сек}$ з 1 км^2 | Q в $\text{м}^3/\text{сек}$ |
| I | Десна (без Сейма) | $q = \frac{5,89}{F^{0,36}}$ | $Q = 5,89 \cdot F^{0,64}$ |
| II | Сож | $q = \frac{1,85}{F^{0,234}}$ | $Q = 1,85 \cdot F^{0,766}$ |
| III | Верхній Дніпро (до Лозва) | $q = \frac{6,35}{F^{0,44}} + 0,04$ | $Q = 6,35 \cdot F^{0,56} + 0,04 \cdot F$ |
| IV | Березина | $q = \frac{7,12}{F^{0,39}}$ | $Q = 7,12 \cdot F^{0,61}$ |
| V | Прип'ять | $q = \frac{0,95}{F^{0,234}}$ | $Q = 0,95 \cdot F^{0,766}$ |
| VI | Сейм, Тетерів, Уша, Півд. Случ, Горинь | $q = \frac{5,05}{F^{0,36}}$ | $Q = 5,05 \cdot F^{0,64}$ |

Отже, з шести розглянутих районів для п'яти шукані співвідношення виявилось можливим виразити у вигляді простих рівнянь одночленного вигляду.

Знайдені співвідношення, власно кажучи, відбивають закономірності, які впливають з загальних характеристик, властивих вихідним для побудов окремим басейнам і, очевидно, типових для ландшафту виділених основних басейнів. Одержані залежності, очевидно, зовсім не враховують тієї можливості і, мабуть, досить значних коливань в характеристиках окремих частин басейнів, які можуть траплятися як винятки з загаль-

ної середньо-типової картини. Коливання ці, загалом кажучи, можуть мати місце як в напрямі таких комбінацій рельєфу і покриву, які можуть знижувати знайдені норми, так і в напрямках, які конче вимагають збільшення знайдених норм. Так, наприклад, в заболоченому басейні р. Прип'яті в басейні (крім виділених раніш басейнів Півд. Случа, Уші і Горині), які виходять з ряду типових для всього басейну, як, наприклад, верхів'я р. Птічі, з ландшафтом, типовим для району західних увалів. Немає сумніву, що для цього останнього випадку застосування загального рівняння, виведеного для басейну р. Прип'яті, буде невірне. Таксамо в басейні Верхнього Дніпра можна відзначити майже суцільно заболочені низинні невеликі ріки, для яких загальні для всього басейну Верхнього Дніпра залежності повинні давати перебільшені результати.

Тому загальний вираз для обчислення розрахункових максимальних витрат Q_p треба написати в такому вигляді:

$$Q_p = m \cdot Q, \quad (16)$$

де m — коефіцієнт, який урахує окремі особливості того або іншого конкретного басейну і може бути більший або менший за одиницю.

Нагадаємо, що інж. Д. І. Кочерін у виведені ним норми максимальних витрат вважав потрібним вводити поправочні коефіцієнти, які мають на увазі тільки зниження нормальних максимумів і при тому тільки для площ до 2 000—5 000 км²; для цих поправочних коефіцієнтів Д. І. Кочерін дав такий вираз:

$$K = \delta \cdot \beta, \quad (17)$$

де $\delta = 0,70$ — для болотистої рівнини і плоского степу;

$\delta = 0,85$ — для мало хвилястої рівнини;

$\delta = 1$ — для всіх інших випадків;

$\beta = 1 - 0,35\gamma$, де γ — відносна лісистість даного басейну (в частках від усієї площі басейну); для $F > 2\,000 - 5\,000$ км² поправочні коефіцієнти Д. І. Кочерін приймає рівні одиниці; граничне зменшення нормального максимуму буває при $\gamma = 1$ і $\delta = 0,70$, що дає: $K = 0,49$.

Отже, наш коефіцієнт m в загальному випадку не збігається з значенням коефіцієнта K Д. І. Кочеріна.

Зазначений коефіцієнт m , очевидно, повинен бути функцією від цілого ряду характеристик басейну: рельєфу, заболоченості, лісистості, форми басейну, характеру долини та інших, менш істотних; інакше $m = a, b, c, \dots$, де a, b, c — окремі коефіцієнти, що враховують окремі характеристики конкретних басейнів. Очевидно, при встановленні величин a, b, c, \dots треба було б прийняти їх за різні одиниці для характеристик, властивих тим окремим басейнам, з максимумів для яких виведені основні рівняння в табл. 10 і шукати варіацій цих коефіцієнтів для інших характеристик. Через відсутність відповідних даних і в зв'язку з загальною недослідженістю розглядуваного питання, поки доводиться стати на шлях спрощуючих наближень. Приймаємо за основні характеристики, що їх належить враховувати для коректування одержаних нормальних залежностей, дві такі: 1) заболоченість басейну при плоскому рельєфі (a), 2) лісистість басейну (b), тобто вважаємо, що: $m = a \cdot b$, де a і b можуть мати в основному подвійне значення: a_1 і b_1 — редукція відповідно від незаболочених басейнів і малої лісистості до басейнів заболочених і значної лісистості; a_2 і b_2 — редукція протилежного порядку.

Значення a_1 і b_1 , відповідно до викладеного вище, повинні бути диференційовані відповідно до окремих умов побудування одержаних нормальних співвідношень. Розгляньмо послідовно з цього погляду виконані основні побудування.

1) В основу побудови залежностей для Десни (без Сейма) і Сожа покладені максимуми, які відповідають рікам незаболоченим, з горбастим рельєфом басейну і відповідають лісистості до 40—50%. Доцільне введення редуційних коефіцієнтів, які враховують заболоченість і більш значну або менш значну лісистість.

2) Для Верхнього Дніпра, при площах басейнів, менших за 5000—6000 км², побудована залежність враховує закономірності, близькі до співвідношень для басейнів Сожа і почасті Березини; для більших площ одержані норми нижчі за норми для Березини, Сожа і Десни і, очевидно, широкі із своєрідною конфігурацією басейну, відбили фактичний вплив заболочених і лісистих частин басейну. В зв'язку з цим, для басейну Верхнього Дніпра вважаємо можливим вводити редуцію як на заболоченість і лісистість, так і на відсутність заболоченості і лісистості; розмір цієї редуції можна прийняти, очевидно, рівним, приміром, половинному розмірові для басейнів Сожа і Десни.

3) По басейну Березини одержана залежність відповідає незаболоченим басейнам з середньою лісистістю; точка № 21, що відповідає частково заболоченому басейнові, лежить нижче одержаного співвідношення; поправки на заболоченість і лісистість можливі, — в останньому випадку при лісистості, більшій за 30—40%.

4) По басейну Прип'яті (без Уші, Горині і Півд. Случа) одержана побудова, основана на даних по заболочених ріках басейну (точки № 25, 26, 27, 34); у цьому випадку, очевидно, потрібні поправки на відсутність заболоченості, а також на лісистість, більшу або меншу, ніж в середньому 20—35%.

5) По басейнах Сейма, Тетерева, Уші і Півд. Случа, відповідно до їх характеристик і відповідно до сказаного вище, одержана залежність передбачає можливість введення поправок на заболоченість, а також на збільшену лісистість.

Для визначення ймовірних числових величин відшукуваних редуційних коефіцієнтів, через відсутність інших даних, для враховування заболоченості приймаємо за основу коефіцієнт, запропонований Д. І. Кочеріним:

$$\alpha_1 = \delta = 0,70, \quad (18)$$

а для лісистості, йдучи за німецькими нормами, —

$$b_1 = \beta = 1 - 0,4 \gamma; \quad (19)$$

тоді величину α_2 можна прийняти наближено рівною 1,30. Вважаємо проте потрібним трохи збільшити цю величину, грунтуючись на фактично одержаних співвідношеннях для Прип'яті і сусідньої Березини, а саме приймаємо $\alpha_2 = 1,50$. Для враховування лісистості уявляється доцільнішим, виходячи з виразу (19), дати для окремих вибраних градацій лісистості тверді величини редуційних коефіцієнтів, нехтуючи (з зрозумілих причин наближеності розрахунку) детальною диференціацією величин $b_1 = \beta$, які визначаються виразом (19).

Намічаємо такі варіації поправочного коефіцієнта на лісистість: для 50—75% — 0,80 і 0,90; для 75—100% — 0,70 і 0,80; для 0—15% — 1,25, залежно від прийнятої за одиницю лісистості басейнів. Значення для враховування лісистості в 0,70 і 0,80 прийнято з припущення, що басейни, взяті для побудовань для випадків I, II, III, IV і V, мають лісистість порядку 20—35%, а басейни VI — порядку 10—15% (зважаючи на невеликі різниці, для простоти всі цифри закруглено). Значення в 1,25 намічаємо, виходячи з наведених Д. І. Кочеріним даних, які свідчать про те, що незважаючи при γ в німецьких нормах приймається нерідко більший, ніж 0,4.

При вибраних значеннях a і b одержуємо результативну редукцію від норм для заболочених рік Прип'яті до норм, які відповідають басейнам незаболоченим з малою лісистістю, рівну $1,25 \times 1,50 = 1,9$; це дає збільшення прип'ятських норм, приміром, до норм сусідніх незаболочених рік Березини.

Результативна редукція для переходу від незаболочених басейнів Березини до заболочених басейнів цього ж району, що мають значну лісистість, одержується рівною $0,70 \times 0,70 = 0,49$, що дає величини модулів на 0—35% більші, ніж модулі по сусідніх заболочених басейнах Прип'яті, тобто досить обережне зменшення. Результативна редукція для басейнів Верхнього Дніпра дає максимальне збільшення в $1,25 \times 1,25 = 1,57$, що наближає результати обчислень до величин модулів по сусідніх басейнах Сожа або навіть Десни (для менш значних басейнів); максимальні зменшення маємо тут порядку до $0,80 \times 0,80 = 0,64$, цебто до величин на 10—40% більших, ніж по басейну р. Прип'яті. Нарешті, для групи басейнів, об'єднаних під номером VI, максимальна можлива редукція на зменшення дає величини, близькі до таких самих величин по заболочених басейнах р. Прип'яті.

Усі зазначені вище редукційні коефіцієнти вважаємо можливим застосовувати до басейнів з площами, меншими, ніж 4000—5000 км², приймаючи їх для більших басейнів за рівні одиниці. Таке обмеження, майже збігаючись формально з прийнятим інж. Д. І. Кочеріним для його редукційних коефіцієнтів, має, проте, трохи інші обґрунтування, тому що заболоченість великих басейнів, яка є в басейні р. Прип'яті, врахована мною відповідною нормальною залежністю, — для інших же басейнів поширення заболоченості і збільшеної лісистості на більші площі проти прийнятих практично навряд чи можливо.

Отже, кінець-кінцем, відповідно до всього сказаного вище, можна дати розрахункові величини редукційних коефіцієнтів, зведені в табл. 11.

Таблиця 11

Редукційні коефіцієнти для $F < 4000-5000$ км²

| № нормальних рівнянь | Основні басейни | Плоский заболочений рельєф | Лісистість 15—40% | Лісистість 50—75% | Лісистість 75—100% | Відсутність лісистості (0—15%) | Відсутність заболоченості і плоского рельєфу |
|----------------------|---|----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--|
| I, II, IV | Десна (без Сейма), Сожа, Березина | 0,70 | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 1,25 | 1,00 |
| III | Верхній Дніпро до Лозва | 0,80 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 1,25 | 1,25 |
| V | Прип'ять | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,70 | 1,25 | 1,50 |
| VI | Сейм, Тетерів, Уша, Швд. Случ, Горинь | 0,70 | 0,85 | 0,80 | 0,70 | 1,00 | 1,0 |

Наведені розрахункові редукційні коефіцієнти, будучи, безперечно дуже наближені, все таки, як це видно з викладеного вище, дають досить правдоподібні результати. Дальше уточнення їх є справа майбутнього і можливе при наявності нових додаткових даних.

§ 10. Прикінцеві зауваження

Одержані вище залежності для шести виділених мною районів в басейні Верхнього Дніпра відповідають, як зазначалось, нормальним розрахунковим витратам, тобто відповідають нормальній статистичній забезпеченості в 1—2%. Для переходу від цих останніх величин до встановлених мною двох інших можливих величин розрахункових максимумів, а саме: 1) граничного можливого ($p = 0,1\%$ або $p = 0,05\%$) і 2) полегшеного ($p = 3\%$ або $p = 5\%$), треба керуватись співвідношеннями (А) та (В), наведеними в розд. I, наприкінці § 5 (див с. 140—141).

Отже, запропоновані розрахункові співвідношення для басейнів Верхнього Дніпра дозволяють диференціювати величини розрахункових максимумів не тільки залежно від окремих особливостей окремих конкретних басейнів, але й виходячи з важливості і ступеня відповідальності проекрованої споруди.

Дальша деталізація одержаних залежностей, як вже відзначалось, можлива на основі більших матеріалів, ніж ті, які ми можемо мати тепер. Зокрема хочеться відзначити крайню бажаність для детальних досліджень не тільки величин максимальних витрат, але й фізико-географічних характеристик окремих басейнів, особливо узагальнюючих характеристик їх рельєфу, форми, лісистості, заболоченості і характеру річної запливи. Такі дані можуть послужити надійною базою для певніших і ще детальніших побудов, які забезпечать найправильніший шлях для належного розв'язання поставленого питання.

1933—1934 pp.

ЛІТЕРАТУРА

1. Flood Flows, by Weston E. Fuller, Trans. American Society of Civil Engineers, 1913.
2. Creager and Justin, Hydro-electric Handbook, New York, 1927.
3. Л. Коревіцкий, Опыт применения „предельного правила трех сигма“ для определения максимального возможного расхода воды, „Вестник ирригации“, январь 1928, № 1, Ташкент, 1928.
4. В. Я. Рискин, Определение величины максимального паводка, „Вестник ирригации“, май 1928, № 5, Ташкент, 1929.
5. Инж. Д. Л. Соколовский, Применение кривых распределения к установлению вероятных колебаний годового стока рек европейской части СРСР, Энергострой, вып. III, Гостехиздат, Ленинград, 1930.
6. Проф. И. Г. Александров, Днепрострой, т. I, Исследования, Москва, 1929.
7. Проф. А. В. Огівський, Максимум поводи 1931 р. коло м. Києва в історичній перспективі, „Вісті НДІВГУ“, т. V, в. I, Київ, 1932.
8. П. А. Ефимович и С. В. Титов, Уравнение повторяемости паводков У. Фуллера в свете фактической вариации весенних максимумов, „Известия Гос. гидролог. ин-та“, № 54, Ленинград, 1933.
9. Л. К. Коревіцкий, Сравнение методов Пирса, Хортон, Рискина и автора по определению максимального расчетного расхода, „Труды Второго всесоюзного гидрологического съезда“, 1928, ч. 2, Ленинград, 1929.
10. Проф. А. В. Огівський, Гідрологія (басейнів суходолу), ОНТВУ, Київ, 1932.
11. Инж. Н. П. Чеботарев, Метод определения максимальных (и других характеристик) расходов и применение его к рекам Украины, „Бюллетень Укргидровода“, Харьков, 1933 (листкаф); Тезисы (рукопись), первый вариант (1933).
12. В. Криггер и Дж. Джестин, Гидроэлектрический справочник, т. I, перев. инж. Т. П. Маренкой и Г. А. Глазенап, под ред. инж. П. А. Ефимовича, Энергоиздат, 1934.
13. Инж. Д. И. Кочериш, Вопросы инженерной гидрологии, Энергоиздат, Москва, 1933.

Нормы расчетных максимумов, в частности для бассейнов р. Днепра выше Киева

Резюме

Работа распадается на две части. В первой части рассматриваются построения расчетных схем для экстраполяции расчетных максимальных расходов во времени, т. е. для вычислений по заданным расходам, отвечающим какой-либо вероятности, расходов, вероятных в перспективе более длительных или более коротких промежутков времени. Автор констатирует, что в этом отношении имеется целый ряд различных предложений: 1) соотношения Фуллера, рекомендованные в свое время инж. Д. И. Кочериным, 2) способ вычислений максимумов различной обеспеченности по Фостеру, нашедший в настоящее время особенно широкое распространение в практике проектирующих организаций СССР, 3) способ построения индивидуальных кривых распределения, 4) способ применения клетчатки вероятности, 5) предложение Коревицкого, 6) предложение Рискина.

Детально анализируя каждый из этих способов, автор констатирует, что в то время как последние два из вышеназванных способов имеют в виду определение только лишь каких-то предельно — мыслимых величин максимальных расходов, первые четыре способа, идентичные по своей идее, предусматривают возможность вычисления максимумов для любой статистической обеспеченности. Совершенно очевидно, что формула Фуллера с параметрами, выведенными для условий Америки, неприемлема в наших условиях и требует соответствующей проверки. Разбирая далее детально способ вычислений по Фостеру, автор приходит к выводу, что вытекающие как будто бы из общей теории кривых распределения стройность и определенность решения при применении расчетных данных Фостера, по сути в значительной мере являются фиктивными; устанавливается вполне законная возможность крупных ошибок различных знаков, лишаящих способ решения по Фостеру значения сколько-нибудь обоснованной схемы для детальной дифференциации расчетных максимумов по различным степеням обеспеченности, вопреки существующим тенденциям, получающим все более и более широкое распространение. Обращая далее внимание на нецелесообразность детальной дифференциации расчетных максимумов и с точки зрения физического толкования таковых, автор обосновывает выдвигаемое им новое предложение различать только три основных категорий расчетных максимумов: 1) нормальной (Q_n) для расчета обычных ответственных сооружений, 2) предельный (катастрофический — Q_k) — для расчета особо важных и особо ответственных сооружений и для проверки обычных ответственных сооружений, но с допущением крайнего напряжения в работе их водосбросных отверстий (и даже частичных разрушений) и 3) облегченный (Q_0) — для временных и мало ответственных сооружений. Нормальные расчетные максимумы, отвечающие вероятности поступления 1 раз в 50—100 лет, могут находиться или по данным действительных наблюдений или же по эмпирическим формулам типа предложенных инж. Д. И. Кочериним. Для перехода от нормальных расчетных максимумов к иным предельным и облегченным — автор предлагает пользоваться осредненными стандартными переходными коэффициентами, находящимися для отдельных более или менее значительных районов по принципам, отвечающим схеме построения зависимости Фуллера. Соответствующая проработка материалов по максимальным рас-

ходам 15 различных рек бассейна р. Днепра (см. рис. 1) подтвердила вполне достаточную практическую устойчивость таких коэффициентов для бассейнов, объединенных в две группы: 1) с $F > 3000$ км² и 2) с $F < 3000$ км². Эти переходные коэффициенты, вычисленные по формулам (6) и (7), весьма существенно отличающимся от американской формулы Фуллера, даны в виде двух сводок в конце § 5, в соотношениях (А) и (Б) (с. 141—142).

Вторая часть работы посвящена вопросу о построении (для рассматриваемых бассейнов) интерполяционных зависимостей для вычисления нормальных расчетных максимумов. Автору удалось собрать новые, довольно обширные данные по максимумам различных рек системы Днепра выше Киева, а именно — 36 расходов (против 7—8 максимумов, положенных в основу соответствующих построений инж. Д. И. Кочерина). На основе детального анализа собранных данных, автор построил шесть различных зависимостей для шести различных бассейнов р. Днепра выше Киева (в то время как этим бассейнам отвечали только две формулы Д. И. Кочерина); эти зависимости приведены на рис. 2 и в табл. 10. Имея в виду, что каждая из найденных зависимостей отвечает каким-то средним характеристикам отдельных бассейнов, данные по которым положены в основу построений, автор считает необходимым далее, хотя бы в первом приближении, оценить возможное увеличение (или уменьшение) получаемых по выведенным соотношениям нормальных расчетных максимумов в зависимости от тех или иных характеристик частных бассейнов, отклоняющихся от средних, положенных в основу построения. В отличие от положений инж. Д. И. Кочерина, автор, в связи со сказанным, считает, что наряду с обстоятельствами, могущими обусловить уменьшение результатов, даваемых выведенными формулами (как, напр., более значительная лесистость, чем для исходных бассейнов; наличие заболоченности частного бассейна при отсутствии таковой для исходных) — могут иметь место и обстоятельства, могущие обусловить увеличение результатов исчислений по формулам (как, напр., менее значительная лесистость, чем для исходных бассейнов; отсутствие заболоченности и т. п.). Исходя из этих положений и основываясь на соответствующих оценках Д. И. Кочерина, а также на немецких нормах, автор далее составляет расчетную таблицу поправочных коэффициентов β , учитывающих конкретные особенности отдельных бассейнов; данные эти приведены в табл. 11 (с. 145).

В результате разработанная автором схема расчетов дает возможность дифференцировать величины расчетных максимумов не только в зависимости от особенностей отдельных конкретных бассейнов, но и исходя из степени ответственности и важности проектируемых сооружений. При всем несовершенстве разработанных зависимостей, нуждающихся, повидимому (как и всякие иные эмпирические зависимости), по мере накопления новых материалов в дальнейших коррективах — найденные соотношения, несомненно, более близко отражают действительность, чем те зависимости, которыми для данного района приходилось пользоваться ранее; новые зависимости в то же время более гибки и более универсальны.

Prof. A. W. Ogiewsky

Über die Normen der Höchstwassermengen im besonderen für die Flussgebiete des Dnieprstromes oberhalb Kiews

Zusammenfassung

Neuerdings tritt in unserer Literatur sowie in der Praxis vieler projektierender Anstalten eine Richtung zutage, die offenbar die Bedeutung rein statistischer Einschätzungen in der Hydrologie zu hoch veranschlägt. Dies gilt auch speziell für die Anwendungsmöglichkeit der statistischen Einschätzungen für die Bestimmung rechnerisch zu ermittelnder Höchstwassermengen. Im besonderen sind Vorschläge gemacht worden, die auf eine eingehende Differenzierung der rechnerischen Maxima, je nach dem Grad der Sicherheit, hinzielen, und zwar aus der Erwägung heraus über einen gewissen Termin einer möglichen und zweckmässigen Arbeit der hydrotechnischen Anlagen.

Verf. zeigt genau, dass es theoretisch und praktisch zweckdienlich ist, bloss drei grundlegende Kategorien von Höchstwassermengen zu unterscheiden: einen „normalen“ Wert (Q_n), einen „katastrophischen“ (Q_k) (für den Fall besonders wichtiger Konstruktionen) und einen „abgeschwächten“ (Q_a) (für nicht verantwortliche Anlagen).

Eine entsprechende Durcharbeitung des Materials betreffend die Höchstwassermengen für fünfzehn Flüsse im Dnieprstromgebiet hat erwiesen, dass bei Benützung der Methode des amerikanischen Hydrologen Fuller, man, selbst unter Verhältnissen eines so ausgedehnten Stromgebiets, typische Übergangskoeffizienten von „normalen“ Höchstwassermengen zu den zwei sonstigen vorerwähnten Kategorien festlegen kann. Beigegebene Verhältnisse (A) u. (B) (s. 140—41) zeigen diese Übergangskoeffizienten für die Bassins des Dniepr (oberhalb Kiews). Mithin ist die Möglichkeit gegeben, statt der in bedeutendem Masse fiktiven Detaillierung der Höchstwassermengen nach der recht häufig angewendeten Fosterschen Methode, zweckmässigerweise, die Bahn regionaler Bestimmung der Übergangskoeffizienten von Q_n bis Q_k und Q_a zu betreten.

Zur Bestimmung von Interpolationsabhängigkeiten für „normale“ Höchstwassermengen, d. i. solcher Abhängigkeiten, deren man sich im Falle eines Nichtvorhandenseins tatsächlicher Beobachtungen bedienen kann, ist es, dem Erachten des Verfassers zufolge, am zweckentsprechendsten, eine Stellungnahme zu vertreten, die analog ist dem bei uns in der Union weitgehend (erstmalig vom Ingenieur D. I. Kotscherin) angewendeten Verfahren, indem man jedoch eine detailliertere Regionierung dieser Abhängigkeiten vornimmt und nach Möglichkeit auf die Einzelheiten der besonderen Einwirkung der konkreten Verhältnisse der individuellen Bassins des gegebenen Bereichs auf die Grössen Q_n eingeht.

Aus diesen Prinzipien heraus, sind vom Verf. für die Bestimmung der „normalen“ Berechnungsmaxima, auf Grund einer Ausarbeitung und eingehender Analyse seines neuen Sammelmateriels betreffend die Höchstwassermengen der Flüsse des Dnieprstromgebiets oberhalb Kiews (36 Höchstwassermengen statt der 7—8, die dem Ing. D. I. Kotscherin zur Verfügung standen), sechs Abhängigkeiten für sechs Regionen gleichen Charakters im Dnieprbecken oberhalb Kiews (anstatt der zwei Regionen Kotscherins) konstruiert worden. Diese Abhängigkeiten sind in Tab. 10 vermerkt und ist für dieselben eine kleinere Tabelle (s. Tab. 11) zusammengestellt worden, die dem Einflusse besonderer konkreter charakteristischer Merkmale der einzelnen Flussgebiete, den ausgesonderten Regionen nach, Rechnung tragen soll. Somit setzt sich dieses, vom Verf.

vorgeschlagene Berechnungssystem der Höchstwassermengen aus Abhängigkeiten zweier Typen zusammen: 1. aus solchen für den Übergang von einer der obengenannten drei grundlegenden Kategorien der Höchstwassermengen zu einer sonstigen Kategorie. Dies ist zu bewerkstelligen, indem man von einer gewissen Einschätzung der stattfindenden maximalen Wassermengen und der konkreten Bedeutung der betreffenden Anlage ausgeht; man hat demnach hier eine zeitliche Extrapolation der Höchstwassermengen; 2. aus Abhängigkeiten für Interpolationsberechnungen der maximalen Wassermengen im Falle des Nichtvorhandenseins von Beobachtungsbefunden; hier haben wir es also mit einer flächenmässigen (einer geographischen) Interpolation zu tun.

Das erhaltene Berechnungssystem der Höchstwassermengen zeichnet sich durch recht bedeutende Flexibilität aus, weshalb sowohl die konkreten charakteristischen Merkmale der zu projektierenden Anlagen, als auch solche der einzelnen Regionen, sei es auch bloss in erster Annäherung, errechnet werden können. Die ermittelten rechnerischen Interpolationsabhängigkeiten entsprechen offensichtlich mehr der Wirklichkeit, als die schematischen Abhängigkeiten D. I. Kotscherins, deren man sich bislang bediente.

Інж. А. І. Прядченко

Гідрометеорологічні залежності для обчислення сезонного стоку (для р. Дніпра коло м. Києва)

§ 1. Загальні зауваження

Для визначення величини стоку зроблено було численні спроби знайти формули загального характеру, які виражають стік у вигляді функції від різних факторів стоку. Через те, що на стік найбільше впливають опади, цілий ряд дослідників намагались знайти емпіричні залежності для висоти шару стоку від опадів (Келлер, Пенк, Уле, Оппоков та ін.).

Далі, ряд інших дослідників (Веліканов, Ішковський, Мєєр, Оппоков та ін.) робили спробу визначити стік формулами, які, крім опадів, охоплюють інші фактори стоку. Більшість авторів намагались дати залежності тільки для норм річних значень стоку, як більш згладжених, і лише небагато дослідників мали на увазі річні і сезонні його значення.

Для визначення характеристик стоку р. Дніпра коло Києва досі існували такі формули: формули, що визначають річні величини стоку, виведені проф. А. В. Огієвським¹⁾; формули для визначення стоку зимового сезону, виведені проф. А. В. Огієвським²⁾; формули для визначення стоку весняного періоду, виведені Є. В. Оппоковим³⁾, і ряд формул для визначення помісячного стоку, виведених проф. А. В. Огієвським, а також автором цієї роботи.

Ця робота має на увазі завершити розпочаті ще в Службі гідрологічних оповіщень Дніпробуду проробки довгострокових прогнозів сезонних характеристик стоку і по змозі спробувати знайти нові, або уточнити старі формули визначення сезонного стоку за метеорологічними факторами, які супроводжують його.

Почнімо розгляд питання з весняного періоду, як найбільш інтересного, що дає найзначнішу частину річного стоку. Усі наведені нижче формули виведені без застосування методу кореляції, який при гідрологічних обробках часто затемнює дійсні значення впливаючих факторів, тому що метод кореляції, даючи найвигідніші середні співвідношення між даною комбінацією величин, утруднює враховування причин різкого випадання тих або інших окремих точок, які не підлягають середнім співвідношенням⁴⁾.

¹⁾ Проф. А. В. Огієвський, Режим стока Верхнього и Среднего Днепра, с. 278 і далі, вид. НИИВХУ и Днепростроя, К. 1932.

²⁾ А. В. Огієвський, О подземном питании р. Днепра, Исследования рек СССР, вып. IV, вид. ГГИ, Л., 1933.

³⁾ Проф. Є. В. Оппоков, Корелятивний зв'язок між витратами р. Дніпра в м. Києві та атмосферними опадами і температурою в його басейні вище м. Києва, Інформаційний бюлетень Укрмету, ч. 1—3, т. III, К. 1927.

⁴⁾ Див. проф. А. В. Огієвський, Основные черты методики гидропрогнозов для р. Днепра, Збірник „Основные итоги работ службы гидрологических оповещений Днепростроя“, вид. Днепростроя, Київ, 1934.

Виходячи з цього, побудування формул виконувалось так. Брали сезони, що мають приблизно однакові значення стоку. Для цих самих років виписували кліматичні елементи або інші величини, що можуть впливати на стік. Далі, з вибраних років брали роки, що різняться один від одного тільки одним якимнебудь елементом, наприклад — температурою, і за ними добирали формулу, яка враховує вплив цього елемента при порівнюючи близьких одна до одної величинах інших вибраних факторів.

Далі брали другу комбінацію років, в яких попередній змінний фактор стоку вибирали постійним, а змінною величиною був другий фактор, наприклад, опади. Формула, виведена в першому випадку, видозмінювалась, враховуючи нову систему факторів стоку. Отже, копітким і тривалим підбором визначався остаточний вигляд формули. Нижче будуть наведені як самі формули, так і характеристики величин похибок, одержаних при їх застосуванні.

§ 2. Формули для весняного стоку

Як вже згадувалось вище, для визначення весняного стоку р. Дніпра коло Києва акад. Є. В. Оппоков запропонував формули:

$$y = 0,869 (x - 236,6) \quad (1)$$

$$y = 0,405 x - 10,14 \Delta t - 5,8, \quad (2)$$

де:

y — весняний стік в мм з березня до червня;

x — атмосферні опади з листопада до травня;

Δt — відхилення від норми ($-5,7^{\circ}\text{C}$) температур за XII—II; всі наведені величини беруться по басейну Дніпра до Києва.

Формули ці виведено на основі 32-літніх даних з 1877 до 1908 р.

Вміщена нижче таблиця 1 характеризує похибки при обчисленні стоку за цими формулами (див. також рис. 1).

Ця таблиця складена за даними, опублікованими в „Інформаційному бюлетені Укрмету“, вип. 1—3, т. III, 1924 р., с. 12, і не продовжена до останніх років спостережень, тому що дані про стік за нові роки, наведені у проф. А. В. Огівського в „Режиме стока Верхнего и Среднего Днепра“, не порівнювані з уміщеними в акад. Є. В. Оппокова через різний підхід авторів до обчислення стоку [враховування розмиву дна, різні криві $Q=f(H)$].

Нові дослідження намітили шляхи до вдосконалення й розвитку формул акад. Є. В. Оппокова.

Дослідження ці провадяться з тим припущенням, що атмосферні опади теплового півріччя попереднього гідрологічного року також повинні впливати на величину весняного стоку¹⁾. Значні опади теплового періоду, коли поверхневі і глибші шари збагачуються на вологу, повинні утворювати умови, сприятливі для збільшення весняного стоку, і навпаки, в посушливі періоди, коли відбувається збіднення басейну — так зване „витрачання“ вологи, весняний стік повинен відбуватись майже виключно коштом поверхневих вод при бідному підземному живленні і навіть не виключена можливість втрат поверхневих весняних вод на поповнення збіднених підземних водних горизонтів.

¹⁾ Проф. Є. В. Оппоков, Корелятивний зв'язок між витратами р. Дніпра в м. Києві та атмосферними опадами і температурою в його басейні вище м. Києва, Інформаційний бюлетень Укрмету, ч. 1—3, т. III, 1924, К., 1927.

²⁾ Як це було встановлено проф. А. В. Огівським для річних варіацій стоку; див. його „Режим стока Верхнего и Среднего Днепра“, Київ, 1934.

Таблиця №1

Похибки при обчисленні стоку за формулами (1) і (2) (в % до дійсного стоку, обчисленого акад. Є. В. Оппоковим)

| Границі похибок | Формула (1) | | | Границі похибок | Формула (2) | | |
|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|
| | Число похибок | % до загального числа спостереж. | Σ % | | Число похибок | % до загального числа спостереж. | Σ % |
| 0— 5 | 5 | 15,6 | 15,6 | 0— 5 | 2 | 6,3 | 6,3 |
| 6— 10 | 3 | 9,4 | 25,0 | 6—10 | 4 | 12,5 | 18,8 |
| 11— 15 | 1 | 3,1 | 28,1 | 11—15 | 7 | 21,9 | 40,7 |
| 16— 20 | 4 | 12,5 | 40,6 | 16—20 | 3 | 9,4 | 50,1 |
| 21— 25 | 1 | 3,1 | 43,7 | 21—25 | 2 | 6,3 | 56,4 |
| 26— 30 | 1 | 3,1 | 46,8 | 26—30 | 3 | 9,4 | 65,8 |
| 31— 40 | 5 | 15,6 | 62,4 | 31—40 | 6 | 18,7 | 84,5 |
| 41— 50 | 7 | 21,9 | 84,3 | 41—50 | 4 | 12,5 | 97,0 |
| 51— 60 | 0 | 0,0 | 84,3 | 51—60 | 1 | 3,0 | 100,0 |
| 61— 70 | 1 | 3,1 | 87,4 | | | | |
| 71— 80 | 0 | 0,0 | 87,4 | | | | |
| 81— 90 | 2 | 6,3 | 93,7 | | | | |
| 91—100 | 1 | 3,2 | 96,9 | | | | |
| 101—110 | 1 | 3,1 | 100,0 | | | | |
| Разом . | 32 | 100% | 100% | Разом . | 32 | 100% | 100% |

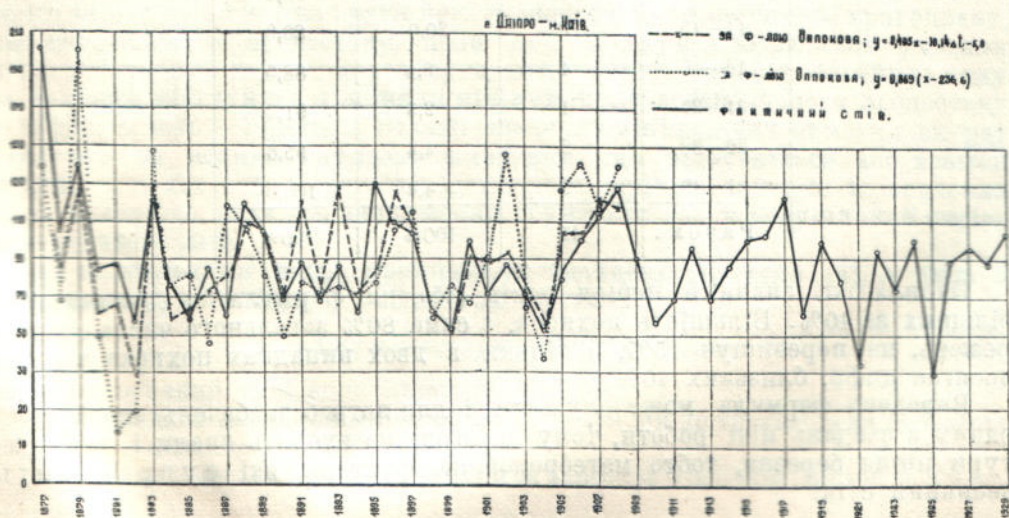


Рис. 1. Обчислений за формулами акад. Е. В. Оппокова та фактичний (за його ж обчисленнями) весняний стік р. Дніпра коло Києва (в м.м.).

Крім розглянутих вище опадів, ще більше впливати повинні зимові атмосферні опади, що є найголовнішим фактором весняного стоку. Обчислення запасу зимових опадів виявилось доцільним провадити з грудня до березня місяця включно, коли за метеорологічними умовами в нашому кліматі відбувається накопичення снігових запасів. Але тому, що для деяких років грудень є ще місяцем теплого півріччя, то при температурах грудня, вищих за $-1,5^{\circ}\text{C}$, відповідно до досліджень інж. В. А. Назарова, опади грудня ми відносимо до періоду теплого ¹⁾.

Виходячи з цих міркувань, складена була нова формула для обчислення весняного стоку:

$$y = 0,771 x_3 - 4,86 t + 0,18 x_{\text{попер. року}} - 107,3 \quad (3)$$

де: y — стік в мм за березень — червень коло Києва;

x_3 — зимові опади в басейні Дніпра до Києва за грудень — березень; якщо температура грудня вища за $-1,5^{\circ}\text{C}$, то опади грудня до розрахунку не входять;

$x_{\text{попер. року}}$ — опади попереднього року за квітень — листопад; якщо грудень теплий (температура вище $-1,5^{\circ}\text{C}$), то треба брати і опади грудня; t — середня температура за грудень — лютий; якщо температура грудня вище $-1,5^{\circ}\text{C}$, то її в розрахунок не вводять.

Похибки при застосуванні цієї формули характеризує табл. 2 та рис. 2.

Таблиця 2

Похибки (в процентах до дійсного стоку) при застосуванні формули (3)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Σ % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|------------|
| 0—5 | 16 | 35,6 | 35,6 |
| 6—10 | 11 | 24,4 | 60,0 |
| 11—15 | 9 | 20,0 | 80,0 |
| 16—20 | 4 | 8,9 | 88,9 |
| 21—25 | 1 | 2,3 | 91,2 |
| 26—30 | 2 | 4,4 | 95,6 |
| 31—40 | 2 | 4,4 | 100,0 |
| Разом. | 45 | 100% | 100% |

Охоплюючи значний період років (45), ця формула не дає похибок, більших за 40%. Більшість похибок, а саме 80% загального числа спостережень, не перевищує 15%, і тільки в двох випадках похибка в стоці досягає цифр, близьких 40%.

Виведена формула може служити і для потреб завбачень, що й було одним з завдань цієї роботи, тому що сюди не входять опади і температури після березня, тобто метеорологічні фактори, які супроводять весняний стік.

¹⁾ Інж. В. А. Назаров, Наслідки теоретичних дослідів над удосконаленням методи проф. Є. В. Опкокова довготермінових завбачань висот водопілля на Дніпрі та його допливах, Вісті Н-д. ІВГУ, т. I, 1926—27, Київ, 1927.

Через те що опади і температура зими впливають на весняний стік, не так безпосередньо, як характеристики снігового покриву, що утворюється за зиму, дальша обробка мала на меті встановити зв'язок між весняним стоком і впливом на нього висоти снігового покриву.

Були введені в розрахунок різні комбінації висот снігового покриву, але крапту залежність одержано, як це свого часу констатовано було й при визначенні формули для висоти гребеня¹⁾, від введення максимальних висот снігу.

Тому що максимум снігового настилу настає в різні місяці, від січня до березня включно, а в березні вже звичайно спостерігається зменшення його величини, в розрахунок доводиться вводити і рідкі опади, які випадають в момент танення снігу, тобто в березні, а для деяких років з дуже ранніми висотами максимуму снігового настилу, що припадають на січень — першу декаду лютого, — рідкі опади зимових місяців після формування максимуму снігу.

При середньо-декадних максимальних висотах снігу, які припадають на першу декаду січня — лютого, є значна ймовірність того, що місячна сума опадів за цей місяць випала переважно в рідкому вигляді; ці рідкі опади були враховані до березня місяця включно. Так, наприклад, якщо максимум снігу (декадний) був зареєстрований в першій декаді січня, то до рідких опадів увійшли місячні суми їх за січень плюс лютий плюс березень, при максимумі ж снігу в другій або третій декаді січня — опади за лютий плюс березень.

Проте, висота снігового покриву і рідкі опади в місяць танення його, являючи собою домінуючі фактори для умов весняного стоку, не обумовлюють повною мірою його величини, бо вони не враховують умов попереднього періоду. Ці умови, а також характер коливань зимових температур (теплі або холодні зими) виявилось можливим врахувати за величинами мінімальних зимових витрат коло Києва.

Справа в тому, що мінімальні зимові витрати досить характеризують стан водних запасів басейну, коли ріка після припинення поверхневого стоку живиться виключно ґрунтовими водами і це ґрунтове живлення, доходячи мінімуму залежно від температурних умов зими і запасів вологи в басейні, обумовлює величину мінімальної зимової витрати. При виборі цього мінімуму не можна брати його безпосередньо в перші дні кригоплаву, або неусталеного льодоставу, коли цей мінімум створюється умовами льодоутворення, які не характеризують водних запасів басейну; тому за зимовий мінімум ми прийняли мінімум після встановленого льодоставу в період січень — березень. Більші значення мінімальних зимових витрат вказують на велике ґрунтове живлення, що відбувається або коштом теплих зим, або водоносного передзимового періоду, а менші їх значення — на суворість зими або виснаження ґрунтових вод у посушливий період попереднього літа.

За викладеними вище принципами знайдена формула (4), а табл. 3 характеризує збіжність її з дійсними даними.

$$y = 1,83 h + 0,667 x + 0,053 q - 22,2, \quad (4)$$

де: y — весняний стік коло Києва в мм;

h — середньо-декадний максимум снігу, взятий до третьої декади лютого включно в басейні Дніпра до Києва;

x — опади за дощомірними показаннями за березень в басейні Дніпра до Києва;

¹⁾ Проф. А. В. Огневский и инж. А. И. Прядченко, Долгосрочные прогнозы характеристик весеннего половодья, Основные итоги работ Службы гидрологических оповещений Днепростроя, изд. Днепростроя, К., 1934.

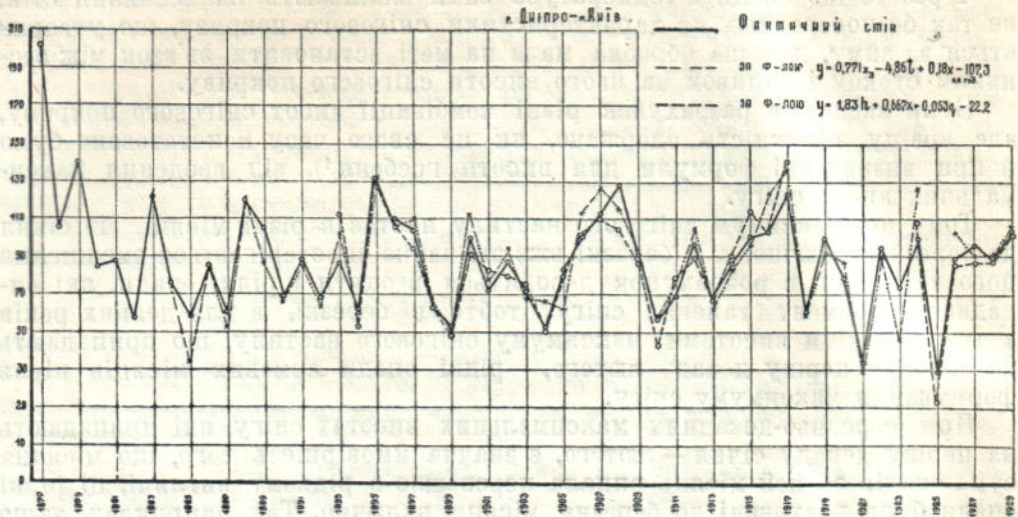


Рис. 2. Обчислений за формулами інж. А. І. Прядченка та фактичний весняний стік р. Дніпра коло Києва (в мм).

якщо максимум снігу був у першій декаді січня, то до березневих опадів додаються опади за січень і лютий; коли максимум настає в другій і третій декаді січня або в першій декаді лютого, березневі опади підсумовуються з лютевими;

q — найменша витрата коло Києва за зиму в $m^3/сек$, взята в період уставленого льодоставу.

Таблиця 3

Похибки (в процентах до дійсного стоку) при застосуванні формули (4)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Σ % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|------------|
| 0—5 | 13 | 41,6 | 41,6 |
| 6—10 | 10 | 29,3 | 70,9 |
| 11—15 | 4 | 12,9 | 83,8 |
| 16—20 | 2 | 6,5 | 90,3 |
| 21—25 | 2 | 6,5 | 96,8 |
| 26—30 | 1 | 3,2 | 100,0 |
| Разом . | 32 | 100% | — |

Максимальна похибка за формулою (4) не перевищує 30% від дійсного стоку, а похибки до 15% мають місце у 84% загального числа розглянутих років. Формула ця виведена виключно для цілей завбачень, тому що до неї входить гідрологічний фактор — найменша зимова витрата; це є причиною, яка обмежує її застосування для цілей обчислення стоку. Проте, мінімальна зимова витрата може бути представлена як функція інших змінних: опадів попереднього періоду, зимових температур, промерзання ґрунту і т. ін., але в такому випадку формула набуває складнішого

і більш незручного вигляду і втрачає свою простоту, до чого при виводі її були спрямовані всі зусилля.

Виведені формули не враховують усіх факторів, що впливають на весняний стік, і далі дослідження, очевидно, можуть дати формули ще гнучкіші, які дадуть значно кращі результати, ніж наведені вище, а покищо і ці рівняння можуть служити для обчислення весняного стоку коло Києва [формула (3)] і для його завбачення [формули (3) і (4)] з достатнім ступенем точності. Вище наведені рис. 1 і 2, які ілюструють результати, одержані за всіма формулами в порівненні з дійсним стоком.

§ 3. Формули для літнього стоку

Перейдімо тепер до визначення стоку за літній період (VII—IX місяці).

Характерною особливістю літнього стоку, порівнюючи з весняним, є малі величини його, які доходять до 9,8 мм і не перевищують за розглядуваний період часу 30,0 мм. Такі малі, сумарні за літній період, величини стоку будуть надалі обумовлювати труднощі уникнути значних процентів похибок щодо дійсного стоку, тому що навіть дуже незначні похибки, близько 1—2 мм, що одержуватимуться за формулою, можуть становити дуже значний процент від дійсного стоку.

Тим часом як для весняного стоку увага одразу звертається на один з вирішальних факторів, що обумовлює величину його — висоту снігового покриву або суму опадів, випалих в твердому вигляді, для літнього стоку немає так ясно вираженого фактора.

На літній стік можуть впливати метеорологічні фактори як місяців, що супроводять його, так і попередніх, і вплив їх може бути різний, бо метеорологічні фактори одного місяця можуть впливати більше, ніж метеорологічні фактори іншого, і це треба враховувати введенням відповідних коефіцієнтів або показників, можливо неоднакових для кожного місяця.

Після численних побудовань і довгого аналізу знайдена така формула (5), що зв'язує літній стік з метеорологічними факторами:

$$y = 0,15 (N_5 + N_7) + 0,1 N_6 - 10,5, \quad (5)$$

де:

y — літній стік за період VII—IX місяців в мм;

N — сума місячних опадів в басейні Дніпра до Києва в місяці, що відповідають поставленими індексам.

Похибки при застосуванні формули (5) і проценти похибок щодо дійсного стоку характеризує табл. 4.

Таблиця 4

Похибки (абсолютні та в процентах до дійсного стоку) при застосуванні формули (5)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Σ % | Похибки | |
|-----------------|---------------|------------------------------------|-------|---------|-----------|
| | | | | в мм | кількість |
| 0—5 | 10 | 21,8 | 21,8 | 0—2 | 18 |
| 6—10 | 5 | 10,9 | 32,7 | 2—4 | 18 |
| 11—15 | 13 | 28,3 | 61,0 | 4—6 | 9 |
| 16—20 | 7 | 15,2 | 76,2 | 6—8 | 1 |
| 21—25 | 5 | 10,8 | 87,0 | | |
| 26—30 | 4 | 8,7 | 95,7 | | |
| 31—36 | 2 | 4,3 | 100,0 | | |
| Сума . . . | 46 | 100 | | | |

Формула (5) зв'язує літній стік, тобто стік за VII—IX місяці, з опадами двох попередніх місяців (V і VI) і місяця супроводжуючого (VII). Похибки не перевищують 36%, а за висотою стоку не перевищують 6 мм.

Спроби введення в розрахунок середньо-місячних температур повітря успіху не мали, — можливо через те, що місячні суми опадів зв'язані з температурами повітря, тобто роки з низькою температурою характеризуються звичайно значними опадами, і навпаки.

Пропонована формула може служити для прогнозів літнього стоку через те, що опади одного супроводжуючого місяця можна врахувати наближено, за порівнюючі вдалими до цього часу прогнозами ГГО на 2—3 тижні вперед.

Зв'язок між опадами і стоком визначений був також і за способом кореляції. Хоч графічні побудови зв'язку опади — стік і виявляли загальну залежність, але спостерігалось значне відхилення ряду точок від теоретичної прямої, що можна бачити з наведеного на рис. 3 одного з найкращих графіків зв'язку: стік літа і опади V—VIII місяців.

Рис. 3. Залежність між стоком літнього періоду та сумарними опадами за V—VIII місяці, для р. Дніпра коло Києва.

Навіть після одержання підбором формули (5), кореляційний зв'язок між опадами травня, червня і липня, які входять до формули (5), дав такі окремі коефіцієнти кореляції:

$$R_{xN_5} = 0,397; R_{xN_6} = 0,442; R_{xN_7} = 0,504$$

При таких малих окремих коефіцієнтах кореляції шуканий зв'язок треба вважати вираженим слабо; проте складання відповідного рівняння привело до формули (6), яка дає досить добрі результати. Одержана формула (6) має такий вигляд:

$$y = 0,160 N_5 + 0,099 N_6 + 0,141 N_7 - 9,67, \quad (6)$$

де

y — стік за літо в мм;

N — опади місяців, позначених індексами.

Результати застосування цієї формули ілюструє табл. 5 (див. табл. 5 на с. 169).

Порівнюючи табл. 4 і 5, можна бачити, що результати табл. 4 ані трохи не гірші проти даних табл. 5, одержаних за способом кореляції, що вказує на повну придатність і доцільність застосування способу підбору при такого роду гідрологічних та інших дослідженнях.

Аналізуючи одержані результати обчислень літнього стоку, треба мати на увазі ряд особливостей при його визначенні коло Києва: розмивність русла, виконання вимірів витрат переважно в останні роки і допустимі помилки при виконанні гідрометричних робіт. Тому доводиться рахуватись з можливими похибками в стоці порядку до 10—15% і навіть більше (для старих років спостережень). Виходячи з цього, результати, одержані

Таблиця 5

Похибки (в процентах до дійсного стоку) при застосуванні формули (6)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Σ % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|------|
| 0—5 | 8 | 17,4 | 17,4 |
| 6—10 | 10 | 21,8 | 39,2 |
| 11—15 | 9 | 19,6 | 58,8 |
| 16—20 | 7 | 15,2 | 74,0 |
| 21—25 | 5 | 10,9 | 84,9 |
| 26—30 | 4 | 8,7 | 93,6 |
| 31—35 | 1 | 2,1 | 95,7 |
| 36—40 | 2 | 4,3 | 100 |
| Сума . . . | 46 | 100% | |

за формулами (5) і (6), можна вважати цілком задовільними, бо більшість похибок (76%) не перевищує 20% дійсного стоку, а похибки, більші за 30%, становлять 4,3% [формула (5)] загального числа спостережень, максимальна ж похибка не перевищує 36%.

Наведений нижче рис. 4 ілюструє збіжність теоретичних даних з дійсними.

§ 4. Перевірка формул інших авторів

В першій частині цієї роботи запропоновано ряд формул для визначення весняного і літнього стоку р. Дніпра коло Києва як за кліматичними, так і за гідрологічними залежностями. Найкраще оцінити одержані результати можна, порівнюючи їх з даними формул інших авторів, які тут і розглянемо.

Згадані в § 2 формули акад. Є. В. Оппокса для весняного стоку, відбиваючи досить добре характер явища в цілому, дають в ряді випадків значні похибки, як це було показано в табл. 1.

Виведені на основі старих даних, до 1908 року, формули ці вимагають значних корективів, тому що після опублікованих проф. А. В. Огізевським нових гідрометричних даних, які привели до зміни кривої витрат р. Дніпра коло Києва і до перерахунків даних для стоку, користування старими формулами (1) і (2) без додаткових поправок спричиняться до збільшення похибок, особливо для нових років. Такі поправки і ряд уточнень і застосовані були при виведенні формули (3). Тому і результати застосування

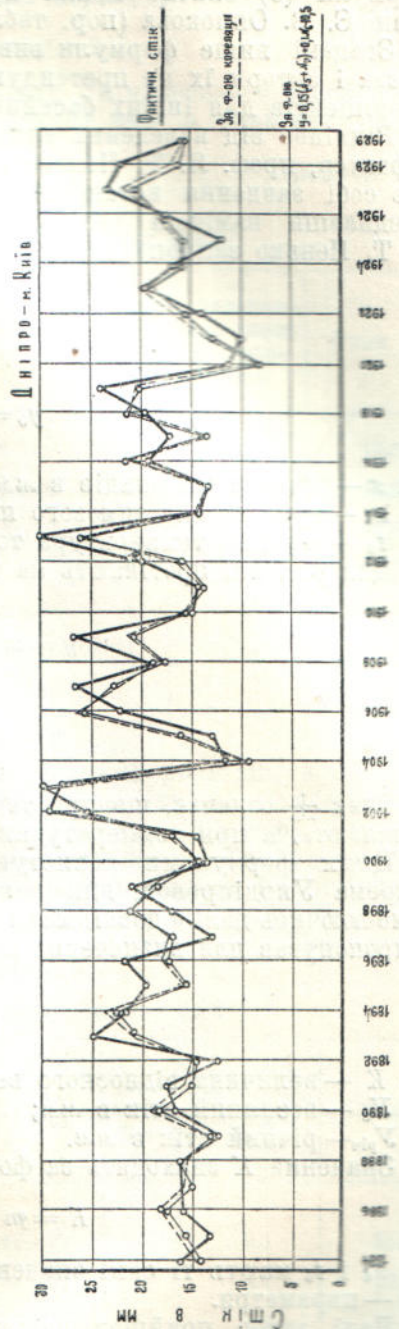


Рис. 4. Обчислений за формулами інж. А. І. Прядченка та фактичний стік за літній період для р. Дніпра коло Києва.

формули (3) значно кращі проти тих, які одержуються за формулами акад. С. В. Оппокова (пор. табл. 1 і 2).

Згадані вище формули виведені відповідно до умов р. Дніпра коло Києва і автори їх не претендують на ширше їх застосування, без зміни коефіцієнтів для інших басейнів і навіть інших пунктів р. Дніпра.

Відмінно від наведених вище формул, які мають, сказати б, місцевий характер, проф. Я. Т. Ненько в 1927 р. опублікував роботу ¹⁾, в якій ставив собі завдання встановити фактори, що впливають на річний стік; об'єднавши намічені ним фактори у функціональні залежності, проф. Я. Т. Ненько запропонував такі загальні формули річного стоку (в мм).

$$y_0 = x \left(\frac{1}{10} \right)^{\frac{a + bt_6}{c + x_6}} \quad (A)$$

$$y_0 = x \left(\frac{c + x_6}{a + bt_6} \right) \quad (B)$$

де: x — річна сума опадів в мм;

x_6 — сума опадів зимового півріччя, з жовтня до березня включно;

t_6 — середня температура того самого півріччя.

Для рік, які протікають на території УСРР, автор дає такі параметри:

$$y = x \left(\frac{1}{10} \right)^{\frac{304 + 2t_6}{160 + x_6}} \quad (A)$$

$$y = x \left(\frac{55 + x_6}{1869 + 3,0t_6} \right) \quad (B)$$

Знак \pm означає, що при температурах вище нуля відповідні значення складають, а при температурах нижче нуля — віднімають.

Цими формулами користувався ряд проектних організацій УСРР, зокрема Укрдипровод, для деяких водногосподарчих розрахунків. Поглиблюючись далі в дослідження питань стоку, проф. Я. Т. Ненько в 1930 р. запропонував для визначення весняного стоку формулу такого вигляду ²⁾:

$$K = \frac{Y_{\text{в}}}{Y_{\text{річ}}} \quad (C)$$

де: K — величина відносного весняного стоку в процентах від річного;

$Y_{\text{в}}$ — весняний стік в мм;

$Y_{\text{річ}}$ — річний стік в мм.

Значення K знаходять за формулою:

$$K = m [x_6 - (\pm pt_6) - q], \quad (D)$$

де: x_6 і t_6 мають ті самі значення, що і в формулі річного стоку, а m , p і q — параметри.

Далі автор прийшов до висновку, що „параметри цього рівняння абсолютно однакові за числовою величиною для різних водозборів, навіть різко відмінних один від одного як розмірами площ водозборів, так і кліматичними і морфологічними умовами“.

¹⁾ Проф. Ненько, Найголовніші чинники річкового стоку, Вісті Н.-д. інст. водн. госп. Укр., т. II, ч. 1, 1927/28 р., Київ, 1929.

²⁾ Проф. Ненько, Відносна величина весняного збігу, „Наук.-техн. вісник“, Травень, 1930, № 5, Харків.

Виходячи з цього, проф. Ненько дає такі параметри для рівняння (Д).

$$K = 0,25 [x_e - (\pm 30 t_e) - 20]$$

Застосувавши формули (А) і (Д) в умовах Дніпровського басейну, ми одержали такі результати (докладні обчислення див. в додатках VI—IX наприкінці статті):

Водпост Київ

Таблиця 6

(Похибки в процентах до дійсного весняного стоку)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % | Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|
| 0—5 | 0 | 0,0 | 0,0 | 36—40 | 2 | 5,4 | 73,0 |
| 6—10 | 7 | 18,9 | 18,9 | 41—45 | 4 | 10,8 | 83,8 |
| 11—15 | 2 | 5,4 | 24,3 | 46—50 | 4 | 10,8 | 94,6 |
| 16—20 | 4 | 10,8 | 35,1 | 51—55 | 0 | 0,0 | 94,6 |
| 21—25 | 5 | 13,6 | 48,7 | 55—60 | 1 | 2,7 | 97,3 |
| 26—30 | 2 | 5,4 | 54,1 | 61—65 | 1 | 2,7 | 100,0 |
| 31—35 | 5 | 13,5 | 67,6 | N=37 | | | |

Як бачимо з табл. 6, похибки доходять значних розмірів, в 50% усіх випадків перевищуючи 30% дійсного стоку. Найбільша похибка становить 61%. Характерний той факт, що всі похибки, крім двох, одержуються одного знака. Це дозволяє (як це видно з детальної таблиці обчислень), змінивши вільний член і не змінюючи параметрів, значно поліпшити результати, погіршивши їх тільки в двох випадках.

Таблиця 7

Прип'ять коло Мозира

(Похибки в процентах до дійсного весняного стоку)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % | Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|
| 0—5 | 1 | 2,7 | 2,7 | 41—45 | 1 | 2,7 | 51,4 |
| 6—10 | 2 | 5,4 | 8,4 | 46—50 | 3 | 8,1 | 59,5 |
| 11—15 | 3 | 8,1 | 16,2 | 51—55 | 3 | 8,1 | 67,6 |
| 16—20 | 2 | 5,4 | 21,6 | 56—60 | 6 | 16,2 | 83,8 |
| 21—25 | 2 | 5,4 | 27,0 | 61—65 | 3 | 8,1 | 91,9 |
| 26—30 | 3 | 8,1 | 35,1 | 65—70 | 2 | 5,4 | 97,3 |
| 31—35 | 3 | 8,1 | 43,3 | > 70 | 1 | 2,7 | 100,0 |
| 36—40 | 2 | 5,4 | 48,7 | N=37 | | | |

Результати табл. 7 тут набагато гірші проти попередніх. В 50% випадків похибки перевищують 40% дійсного стоку, доходючи іноді 70% його. Похибки мають різні знаки, що вказує або на непридатність параметрів, або на інший закон впливу кліматичних факторів.

Таблиця 8

Десна коло Чернігова
(Похибки в процентах до дійсного весняного стоку)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % | Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|
| 0—5 | 3 | 10,3 | 10,3 | 31—35 | 3 | 10,3 | 86,1 |
| 6—10 | 5 | 17,2 | 27,5 | 36—40 | 1 | 3,5 | 89,6 |
| 11—15 | 4 | 13,8 | 41,3 | 41—45 | 2 | 6,9 | 96,5 |
| 16—20 | 4 | 13,8 | 55,1 | 46—50 | 0 | 0,0 | 96,5 |
| 21—25 | 5 | 17,2 | 72,3 | 51—55 | 0 | 0,0 | 96,5 |
| 26—30 | 1 | 3,5 | 75,8 | 56—60 | 1 | 3,5 | 100,0 |

N = 29

Для Десни немає похибок, більших за 57% (див. табл. 8). Половина всіх похибок перевищує 20% дійсного стоку. Тільки в 3-х випадках спостерігаються помилки більші за 40% дійсного стоку. Усі похибки мають різні знаки. Крім того, для 1892/93 р. одержано явно абсурдні значення коефіцієнта $K = 103\%$, тобто виходить, що весняний збіг перевищує збіг цілого року.

Більш незадовільні результати дає і Верхній Дніпро, що видно з поданої нижче табл. 9.

Таблиця 9

Дніпро коло фіктивного пункту Речниця + Гомель
(Похибки в процентах до дійсного весняного стоку)

| Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % | Границі похибок | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % |
|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|-----------------|---------------|------------------------------------|--------|
| 0—5 | 1 | 4,8 | 4,8 | 31—35 | 8 | 38,0 | 61,9 |
| 6—10 | 0 | 0,0 | 4,8 | 36—40 | 2 | 9,5 | 71,4 |
| 11—15 | 3 | 14,3 | 19,1 | 41—45 | 1 | 4,8 | 76,2 |
| 16—20 | 0 | 0,0 | 19,1 | 46—50 | 2 | 9,5 | 85,7 |
| 21—25 | 0 | 0,0 | 19,1 | 51—55 | 3 | 14,3 | 100,0 |
| 26—30 | 1 | 4,8 | 23,9 | | | | |

N = 21

Не краще стоїть справа і з формулою (В) проф. Ненько. В табл. 9 (див. додаток IX) наведено обчислення стоку за формулою (В) і (Д), а результати характеризуються табл. 10.

Таблиця 10

Дніпро коло Києва
(Формули (В) і (Д), весняний стік)

| Границі | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % | Границі | Число похибок | % до загального числа спостережень | Суми % |
|---------|---------------|------------------------------------|--------|---------|---------------|------------------------------------|--------|
| 0—5 | 3 | 8,1 | 8,1 | 41—45 | 4 | 10,8 | 78,3 |
| 6—10 | 3 | 8,1 | 16,2 | 46—50 | 4 | 10,8 | 89,1 |
| 11—15 | 4 | 10,8 | 27,0 | 51—55 | 0 | 0,0 | 89,1 |
| 16—20 | 3 | 8,1 | 35,1 | 56—60 | 1 | 2,7 | 91,8 |
| 21—25 | 3 | 8,1 | 43,2 | 61—65 | 0 | 0,0 | 91,8 |
| 26—30 | 0 | 0,0 | 43,2 | 71—75 | 1 | 2,7 | 94,5 |
| 31—35 | 5 | 13,5 | 56,7 | 100—150 | 1 | 2,7 | 97,2 |
| 36—40 | 4 | 10,8 | 67,0 | 200 | 1 | 2,7 | 100,0 |

N = 37

При застосуванні формули (В) одержуються похибки, які перевищують 100% дійсного стоку, чого не було жодного разу в попередніх випадках. Для інших пунктів цю формулу не застосовуємо тому, що а priori вже можна судити про можливі негативні результати.

В наведені вище дані не ввійшли роки виключно низьких поведій, як 1921 і 1925, зважаючи на відсутність відповідних кліматичних елементів. Можливо, що для цих виключних років похибки були б ще значніші.

Усі наведені результати вказують на неможливість застосування формули проф. Я. Т. Ненько для водозборів не того району, для якого знайдені їх параметри. Загальний же закон залежності річного і весняного стоку від опадів і температур зимового півріччя для наших широт нічого нового не являє і треба багато ще зробити, щоб знайти формулу, яка враховує річний вплив зимових опадів і температур для різних кліматичних умов; навряд чи така формула обмежиться постійними параметрами і сумами опадів і температур за тверді календарні місяці, як це припустив проф. Я. Т. Ненько при виводі сталих у формулі (Д).

§ 5. Загальний висновок

Виведені в § 2 і 3 формули весняного і літнього стоку Дніпра коло Києва дають набагато кращі результати, ніж усі інші. Якщо навіть порівнювати результати запропонованих формул з одержуваними результатами за формулами інших авторів, при застосуванні цих формул до рік, для яких вони виведені, то в цьому випадку перевагу мають знову пропонувані, тому що для весняного періоду нові формули не дають похибок, більших за 40% (1 випадок), тим часом як для формул інших авторів нерідко бувають похибки в 50% і більше при значно меншому ряді спостережень.

Наведені вище рівняння можуть служити не тільки для обчислення стоку, але й для завбачень його, що й було основною метою цієї роботи.

Ряд гідростанцій на Середньому та Нижньому Дніпрі, що намічаються схемами проблеми „Великого Дніпра“, і існуючий „Дніпрогес“ будуть інтересувати питання довгострокових завбачень сезонних значень стоку. Вважало, що пропонувані формули не позбавлені щодо цього інтересу. Якщо мати на увазі, як уже відзначалося, що для р. Дніпра коло Києва ще раніше проф. А. В. Огізвським була виведена формула для сезонного зимового стоку, то лишаються ще не розробленими питання гідрометорологічних залежностей для осіннього стоку, що повинно бути предметом дальших досліджень.

Обчислення весняного стоку р. Дніпра коло Києва за формулою

$$h = 0,771 N_s - 4,86 t + 0,18 N \text{ попер. року} - 107,3$$

| Рік | Опади за грудень — березень (якщо температура грудня вища за $-1,5^\circ$, то опади грудня в обрахунки не входять) | Середня температура повітря в басейні за грудень — лютий (якщо температура грудня вища за $-1,5^\circ$, то її не вводять) | Опади попереднього року за квітень — листопад (якщо температура грудня вища за $-1,5^\circ$, то її опади грудня) | 0,771 N_s | — 4,86 t | + 0,18 N попер. року | Теоретичний стік | Дійсний стік | Похибки | |
|------|---|--|---|-------------|------------|------------------------|------------------|--------------|---------|--------|
| | | | | | | | | | абс. | в % |
| 1884 | 113 | — 3,0 | 488 | 87,1 | 14,6 | 78,8 | 73,2 | 74,9 | — 1,7 | — 2,3 |
| 1885 | 50 | — 4,8 | 443 | 38,6 | 23,3 | 79,7 | 34,3 | 58,1 | — 23,8 | — 40,9 |
| 1886 | 99 | — 6,0 | 471 | 76,3 | 29,2 | 84,8 | 83,0 | 85,5 | — 2,5 | — 2,9 |
| 1887 | 74 | — 5,1 | 429 | 57,1 | 24,8 | 77,2 | 51,8 | 59,9 | — 8,1 | — 13,5 |
| 1888 | 139 | — 6,8 | 491 | 107,2 | 33,0 | 88,4 | 121,3 | 119,6 | + 1,7 | 1,4 |
| 1889 | 117 | — 7,3 | 378 | 90,2 | 35,5 | 68,0 | 86,4 | 104,6 | — 18,2 | — 17,4 |
| 1890 | 72 | — 5,4 | 506 | 55,5 | 26,2 | 91,1 | 65,5 | 69,0 | — 3,5 | — 5,7 |
| 1891 | 87 | — 9,1 | 448 | 67,1 | 44,2 | 80,6 | 84,6 | 88,4 | — 3,8 | — 4,3 |
| 1892 | 96 | — 5,0 | 405 | 74,0 | 24,3 | 72,9 | 63,9 | 67,7 | — 3,8 | — 5,6 |
| 1893 | 122 | — 10,2 | 372 | 94,1 | 49,6 | 67,0 | 103,4 | 86,1 | + 17,3 | 20,1 |
| 1894 | 70 | — 4,8 | 505 | 54,0 | 23,3 | 90,9 | 60,9 | 62,0 | — 1,1 | — 1,8 |
| 1895 | 159 | — 5,6 | 493 | 122,6 | 27,2 | 88,7 | 131,2 | 127,9 | + 3,3 | 2,6 |
| 1896 | 122 | — 8,3 | 439 | 94,1 | 40,3 | 79,0 | 106,1 | 109,8 | — 3,7 | — 3,4 |
| 1897 | 138 | — 6,0 | 451 | 106,4 | 29,2 | 81,2 | 109,5 | 99,7 | + 9,8 | 9,8 |
| 1898 | 108 | — 4,5 | 383 | 83,3 | 21,9 | 68,9 | 66,8 | 63,6 | + 3,2 | 5,0 |
| 1899 | 92 | — 3,2 | 387 | 70,9 | 15,6 | 69,7 | 48,9 | 52,9 | — 4,0 | — 7,6 |
| 1900 | 122 | — 6,8 | 512 | 94,1 | 33,0 | 92,2 | 112,0 | 99,7 | + 12,3 | 12,3 |
| 1901 | 123 | — 5,4 | 356 | 94,8 | 26,2 | 64,1 | 77,8 | 71,8 | + 6,0 | 8,4 |
| 1902 | 137 | — 3,3 | 436 | 105,6 | 16,0 | 78,5 | 92,8 | 87,2 | + 5,6 | 6,4 |
| 1903 | 89 | — 3,9 | 491 | 68,6 | 19,0 | 88,4 | 68,7 | 72,1 | — 3,4 | — 4,7 |
| 1904 | 72 | — 4,5 | 536 | 55,5 | 21,9 | 96,5 | 66,6 | 51,0 | + 15,6 | 30,6 |
| 1905 | 99 | — 5,5 | 369 | 76,3 | 26,7 | 66,4 | 62,1 | 88,7 | — 26,6 | — 30,0 |
| 1906 | 124 | — 4,6 | 565 | 95,6 | 22,4 | 101,7 | 112,4 | 99,6 | + 12,8 | 12,8 |
| 1907 | 128 | — 7,6 | 544 | 98,7 | 36,9 | 97,9 | 126,2 | 112,1 | + 14,1 | 12,6 |
| 1908 | 159 | — 6,0 | 393 | 122,6 | 29,2 | 70,7 | 115,2 | 127,8 | — 12,6 | — 9,9 |
| 1909 | 96 | — 8,7 | 461 | 74,0 | 42,3 | 83,0 | 92,0 | 90,9 | + 1,1 | 1,2 |
| 1910 | 84 | — 3,4 | 466 | 64,8 | 16,5 | 83,9 | 57,9 | 56,2 | + 1,7 | 3,2 |
| 1911 | 64 | — 8,9 | 597 | 49,3 | 43,3 | 91,3 | 76,6 | 68,9 | + 7,7 | 11,2 |
| 1912 | 139 | — 7,5 | 385 | 107,2 | 36,5 | 69,3 | 105,7 | 95,8 | + 9,9 | 10,3 |
| 1913 | 53 | — 5,6 | 556 | 40,9 | 27,2 | 100,1 | 60,9 | 68,8 | — 7,9 | — 10,7 |
| 1914 | 91 | — 3,3 | 576 | 70,2 | 16,0 | 103,7 | 82,6 | 86,3 | — 3,7 | — 4,3 |
| 1915 | 151 | — 3,3 | 391 | 116,4 | 16,0 | 70,4 | 95,5 | 100,4 | — 4,9 | — 4,9 |
| 1916 | 180 | — 3,7 | 409 | 138,8 | 18,0 | 73,6 | 123,1 | 102,9 | + 20,2 | 19,9 |
| 1917 | 141 | — 8,9 | 510 | 108,7 | 43,3 | 91,8 | 136,5 | 129,4 | + 7,1 | 5,5 |
| 1918 | 92 | (— 3,0)* | 457 | 70,9 | 14,6 | 82,3 | 60,5 | 60,0 | + 0,5 | 0,8 |
| 1919 | 124 | (— 4,2) | 465 | 95,6 | 20,4 | 83,7 | 92,4 | 99,4 | — 7,0 | — 7,1 |
| 1920 | 114 | (— 4,4) | 463 | 87,9 | 21,4 | 83,3 | 85,3 | 79,2 | + 6,1 | 7,7 |
| 1921 | 81 | (— 4,3) | 295 | 62,5 | 20,9 | 53,1 | 39,2 | 33,9 | — 4,7 | — 13,9 |
| 1922 | 134 | (— 6,5) | 350 | 103,3 | 31,6 | 63,9 | 90,6 | 95,4 | — 4,8 | — 5,0 |
| 1923 | 64 | (— 4,1) | 465 | 49,3 | 20,0 | 83,7 | 45,7 | 74,0 | — 28,3 | — 38,2 |
| 1924 | 128 | — 8,6 | 518 | 98,7 | 41,8 | 93,2 | 136,4 | 105,1 | + 21,3 | 20,2 |
| 1925 | нема | — 0,7 | нема | нема | — | — | — | 28,5 | — | — |
| 1926 | 117 | — 6,0 | 502 | 90,2 | 29,2 | 90,4 | 102,5 | 89,2 | + 13,3 | 14,9 |
| 1927 | 107 | — 6,9 | 454 | 82,5 | 33,5 | 81,7 | 90,4 | 96,8 | — 6,4 | — 6,4 |
| 1928 | 86 | — 8,0 | 517 | 66,3 | 38,9 | 93,1 | 91,0 | 74,5 | + 16,5 | 22,1 |
| 1929 | 104 | — 9,5 | 485 | 79,4 | 46,2 | 87,3 | 105,6 | 102,9 | + 2,7 | 2,6 |

* Температури взято по Києву і, очевидно, вони є перебільшені для басейну.

Обчислення весняного стоку р. Дніпра коло Києва за формулою

$$h = 1,83 H + 0,667 N + 0,053 q - 22,2$$

| Рік | Максимум снігу до третьої декади лютого | Опади за березень (якщо максимум снігу був у січні або лютому, то опади + січень або лютий) | Найменша витрата коло Києва за зиму | 1,83 H | 0,667 N | 0,053 q | Теоретичний стік — 22,2 | Дійсний стік | Похибки | Похибки у % до дійсного стоку |
|------|---|---|-------------------------------------|--------|---------|---------|-------------------------|--------------|---------|-------------------------------|
| 1892 | 22 | 24 | 550 | 40,26 | 16,01 | + 29,15 | 63,2 | 67,7 | - 4,5 | - 6,6 |
| 1893 | 52 | 30 | 360 | 95,16 | 20,01 | + 19,08 | 112,1 | 86,1 | + 26,0 | + 30,2 |
| 1894 | 4 | 49 | 660 | 7,32 | 32,68 | + 34,98 | 52,8 | 62,0 | - 9,2 | - 14,8 |
| 1895 | 42 | 43 | 900 | 76,86 | 28,68 | + 47,70 | 131,0 | 127,9 | + 3,1 | + 2,4 |
| 1896 | 28 | 71 | 500 | 51,24 | 47,36 | + 29,15 | 105,6 | 109,8 | - 4,2 | - 3,8 |
| 1897 | 37 | 37 | 440 | 67,71 | 24,68 | + 23,32 | 93,5 | 99,7 | - 6,2 | - 6,2 |
| 1898 | 25 | 24 | 450 | 45,75 | 16,01 | + 23,85 | 63,4 | 63,6 | - 0,2 | - 0,3 |
| 1899 | 11 | 26 | 810 | 20,13 | 17,34 | + 42,93 | 58,2 | 52,9 | + 5,3 | + 10,0 |
| 1900 | 37 | 28 | 510 | 67,71 | 18,68 | + 27,03 | 91,2 | 99,7 | - 8,5 | - 8,5 |
| 1901 | 34 | 31 | 410 | 62,22 | 20,68 | + 21,73 | 82,4 | 71,8 | + 10,6 | + 14,8 |
| 1902 | 14 | 34 | 1000 | 25,62 | 22,68 | + 53,00 | 79,1 | 87,2 | - 8,1 | - 9,3 |
| 1903 | 16 | 70 | 400 | 29,28 | 46,69 | + 21,20 | 75,0 | 72,1 | + 2,9 | + 4,0 |
| 1904 | 7 | 45 | 550 | 12,81 | 30,02 | + 29,15 | 49,8 | 51,0 | - 1,2 | - 2,4 |
| 1905 | 28 | 30 | 580 | 51,24 | 20,01 | + 30,74 | 79,8 | 88,7 | - 8,9 | + 10,0 |
| 1906 | 26 | 46 | 900 | 47,58 | 30,68 | + 47,70 | 103,8 | 99,6 | + 4,2 | + 4,2 |
| 1907 | 41 | 19 | 860 | 75,03 | 12,67 | + 45,58 | 111,1 | 112,1 | - 1,0 | - 0,8 |
| 1908 | 48 | 23 | 440 | 87,84 | 15,34 | + 23,32 | 104,3 | 127,8 | - 23,5 | - 18,4 |
| 1909 | 36 | 36 | 350 | 65,88 | 24,01 | + 18,55 | 86,2 | 90,9 | - 4,7 | - 5,2 |
| 1910 | 16 | 16 | 480 | 29,28 | 10,67 | + 25,44 | 43,2 | 56,2 | - 13,0 | - 23,2 |
| 1911 | 28 | 13 | 770 | 51,24 | 8,67 | + 40,81 | 78,5 | 68,9 | + 9,6 | + 13,9 |
| 1912 | 32 | 53 | 320 | 58,56 | 35,35 | + 16,96 | 88,7 | 95,8 | - 7,1 | - 7,4 |
| 1913 | 14 | 36 | 750 | 25,62 | 24,01 | + 39,75 | 67,2 | 68,8 | - 1,6 | - 2,3 |
| 1914 | 24 | 66 | 460 | 43,92 | 44,02 | + 24,38 | 90,1 | 86,3 | + 4,8 | + 5,6 |
| 1915 | 34 | 66 | 580 | 62,22 | 44,02 | + 30,74 | 114,8 | 100,4 | + 14,4 | + 14,4 |
| 1916 | 39 | 28 | 650 | 71,37 | 18,68 | + 34,45 | 102,3 | 102,9 | - 0,6 | - 0,6 |
| 1917 | 56 | 37 | 670 | 102,48 | 24,68 | + 35,51 | 140,5 | 129,4 | + 11,1 | + 8,6 |
| 1924 | 42 | 34 | 590 | 76,86 | 22,68 | + 31,27 | 108,6 | 105,1 | + 3,5 | + 3,3 |
| 1925 | 3 | 35 | 310 | 5,49 | 23,35 | + 16,43 | 23,1 | 28,5 | - 5,4 | - 18,9 |
| 1926 | 31 | 25 | 650 | 56,73 | 16,68 | + 34,45 | 85,7 | 89,2 | - 3,5 | - 3,9 |
| 1927 | 31 | 31 | 600 | 56,73 | 20,68 | + 31,80 | 87,0 | 96,8 | - 9,8 | - 10,1 |
| 1928 | 30 | 11 | 590 | 54,90 | 7,33 | + 31,27 | 71,3 | 74,5 | - 3,2 | - 4,3 |
| 1929 | 37 | 17 | 460 | 67,71 | 11,34 | + 24,38 | 81,2 | 102,9 | - 21,7 | - 21,1 |

Обчислення стоку р. Дніпра коло Києва за літній період за формулою

$$h = 0,15 (N_5 + N_7) + 0,1 N_6 - 10,5$$

| Рік | $N_5 + N_7$ | N_6 | $0,15 (N_5 + N_7)$ | $0,1 N_6$ | Теоретичний стік — 10,5 | Дійсний стік | Похибки | Похибки у % |
|------|-------------|-------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------|---------|-------------|
| 1884 | 116 | 70 | 17,4 | 7,0 | 13,9 | 16,0 | -2,1 | -13,1 |
| 1885 | 147 | 38 | 22,1 | 3,8 | 15,4 | 12,9 | +2,5 | 19,4 |
| 1886 | 127 | 88 | 19,1 | 8,8 | 17,4 | 15,7 | +1,7 | 10,8 |
| 1887 | 110 | 88 | 16,5 | 8,8 | 14,8 | 15,7 | -0,9 | -5,7 |
| 1888 | 143 | 46 | 21,5 | 4,6 | 15,6 | 16,1 | -0,5 | -3,1 |
| 1889 | 121 | 52 | 18,2 | 5,2 | 12,9 | 11,9 | +1,0 | 8,4 |
| 1890 | 117 | 112 | 17,6 | 11,2 | 18,3 | 16,5 | +1,8 | 10,9 |
| 1891 | 114 | 84 | 17,1 | 8,4 | 15,0 | 17,5 | -2,5 | -14,3 |
| 1892 | 130 | 54 | 19,5 | 5,4 | 14,4 | 12,3 | +2,1 | 17,1 |
| 1893 | 151 | 81 | 22,7 | 8,1 | 20,3 | 24,4 | -4,1 | -16,8 |
| 1894 | 153 | 101 | 23,0 | 10,1 | 22,6 | 21,5 | +1,1 | 5,2 |
| 1895 | 122 | 74 | 18,3 | 7,4 | 15,2 | 19,3 | -4,1 | -21,2 |
| 1896 | 141 | 66 | 21,2 | 6,6 | 17,3 | 21,6 | -4,3 | -19,8 |
| 1897 | 145 | 55 | 21,8 | 5,5 | 16,8 | 12,7 | +4,1 | 32,3 |
| 1898 | 157 | 78 | 23,6 | 7,8 | 20,9 | 16,7 | +4,2 | 25,2 |
| 1899 | 123 | 102 | 18,5 | 10,2 | 18,2 | 20,7 | -2,5 | -12,1 |
| 1900 | 113 | 74 | 17,0 | 7,4 | 13,9 | 13,3 | +0,6 | 4,5 |
| 1901 | 125 | 85 | 18,8 | 8,5 | 16,3 | 14,3 | +2,5 | 17,5 |
| 1902 | 184 | 81 | 27,6 | 8,1 | 25,2 | 29,1 | -3,9 | -13,4 |
| 1903 | 189 | 116 | 28,4 | 11,6 | 29,5 | 27,9 | +1,6 | 5,7 |
| 1904 | 87 | 64 | 13,1 | 6,4 | 9,0 | 11,4 | -2,4 | -21,1 |
| 1905 | 139 | 56 | 20,9 | 5,6 | 16,0 | 12,7 | +3,3 | 26,0 |

| Рік | $N_6 + N_7$ | N_6 | $0,15 (N_6 + N_7)$ | $0,1 N_6$ | Теоретичний стік — 10,5 | Дійсний стік | Похибки | Похибки у % |
|------|-------------|-------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------|---------|-------------|
| 1906 | 186 | 84 | 27,9 | 8,4 | 25,8 | 22,1 | + 3,7 | 16,8 |
| 1907 | 174 | 69 | 26,1 | 6,9 | 22,5 | 26,6 | - 4,1 | - 15,4 |
| 1908 | 133 | 80 | 20,0 | 8,0 | 17,5 | 18,7 | - 1,2 | - 6,4 |
| 1909 | 147 | 91 | 22,1 | 9,1 | 20,7 | 26,8 | - 6,1 | - 22,8 |
| 1910 | 147 | 39 | 22,1 | 3,9 | 15,5 | 14,8 | + 0,7 | 4,7 |
| 1911 | 103 | 86 | 15,5 | 8,6 | 13,6 | 14,2 | - 0,6 | - 4,2 |
| 1912 | 132 | 65 | 19,8 | 6,5 | 15,8 | 19,7 | - 3,9 | - 19,8 |
| 1913 | 186 | 85 | 27,9 | 8,5 | 25,9 | 30,0 | - 4,1 | - 13,7 |
| 1914 | 127 | 54 | 19,1 | 5,4 | 14,0 | 14,1 | - 0,1 | - 0,7 |
| 1915 | 128 | 43 | 19,2 | 4,3 | 13,0 | 13,3 | - 0,3 | - 2,2 |
| 1916 | 155 | 87 | 23,3 | 8,7 | 21,5 | 19,2 | + 2,3 | 12,0 |
| 1917 | 126 | 48 | 18,9 | 4,8 | 13,2 | 16,9 | - 3,7 | - 21,8 |
| 1918 | 160 | 81 | 24,0 | 8,1 | 21,6 | 19,5 | + 2,1 | 10,8 |
| 1919 | 134 | 107 | 20,1 | 10,7 | 20,3 | 23,9 | - 3,6 | - 15,0 |
| 1920 | 79 | 65 | 11,9 | 6,5 | 7,9 | 10,8 | - 2,9 | - 26,9 |
| 1921 | 97 | 86 | 14,6 | 8,6 | 12,7 | 9,8 | + 2,9 | 29,6 |
| 1922 | 123 | 76 | 18,5 | 7,6 | 15,6 | 14,1 | + 1,5 | 10,6 |
| 1923 | 145 | 79 | 21,8 | 7,9 | 19,2 | 19,5 | - 0,3 | - 1,5 |
| 1924 | 129 | 69 | 19,4 | 6,9 | 15,8 | 16,8 | - 1,0 | - 6,0 |
| 1925 | 114 | 93 | 17,1 | 9,3 | 15,9 | 11,7 | + 4,2 | 35,9 |
| 1926 | 135 | 82 | 20,3 | 8,2 | 18,0 | 17,2 | + 0,8 | 4,7 |
| 1927 | 165 | 64 | 24,8 | 6,4 | 20,7 | 23,3 | - 2,6 | - 11,2 |
| 1928 | 121 | 85 | 18,2 | 8,5 | 16,2 | 22,1 | - 5,9 | - 26,7 |
| 1929 | 134 | 58 | 20,1 | 5,8 | 15,4 | 16,1 | - 0,7 | - 4,4 |

Кореляційна таблиця зв'язку літнього стоку з метеорологічними факторами
(р. Дніпро коло Києва)

| Рік | Стік за літо в м.ч. | | | | Опади | | | | Опади травня | Опади червня | Опади липня | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | $\Delta 4$ | $\Delta 1^2$ | $\Delta 2^2$ | $\Delta 3^2$ | $\Delta 4^2$ | $\Delta 1 \Delta 2$ | $\Delta 1 \Delta 3$ | $\Delta 1 \Delta 4$ | $\Delta 2 \Delta 3$ | $\Delta 2 \Delta 4$ | $\Delta 3 \Delta 4$ |
|------|---------------------|----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1884 | 16,0 | 44 | 70 | 72 | -1,9 | -7 | -5 | -13 | 3,61 | 49 | 25 | 169 | +13,3 | +9,5 | +24,7 | +35 | +91 | +65 | | | | | | | |
| 1885 | 17,9 | 71 | 38 | 76 | -5,0 | +20 | -37 | -9 | 25,00 | 400 | 1369 | 81 | -100,0 | +185,0 | +45,0 | -740 | +180 | +333 | | | | | | | |
| 1886 | 15,7 | 54 | 88 | 73 | -2,2 | +3 | +13 | -12 | 4,84 | 9 | 169 | 144 | -6,6 | -28,6 | +26,4 | +39 | -36 | -156 | | | | | | | |
| 1887 | 15,7 | 70 | 88 | 40 | -2,2 | +19 | +13 | -45 | 4,84 | 361 | 169 | 2025 | -41,8 | -28,6 | +99,0 | +247 | -855 | -585 | | | | | | | |
| 1888 | 16,1 | 29 | 46 | 114 | -1,8 | -22 | -29 | +29 | 3,24 | 484 | 841 | 841 | +39,6 | +52,2 | -52,2 | +638 | -638 | -841 | | | | | | | |
| 1889 | 11,9 | 28 | 52 | 93 | -6,0 | -23 | -23 | +8 | 36,00 | 529 | 64 | 64 | +138,0 | +138,0 | -48,0 | +529 | -184 | -184 | | | | | | | |
| 1890 | 16,5 | 41 | 112 | 76 | -1,4 | -10 | +37 | -9 | 1,96 | 100 | 1369 | 81 | +14,0 | +138,0 | +12,6 | -370 | +90 | -333 | | | | | | | |
| 1891 | 17,5 | 88 | 84 | 76 | -0,4 | -13 | +9 | -9 | 0,16 | 169 | 81 | 81 | +5,2 | -3,6 | +3,6 | -117 | +117 | -81 | | | | | | | |
| 1892 | 12,3 | 50 | 54 | 80 | -5,6 | -1 | -21 | -5 | 31,36 | 1 | 441 | 25 | +5,6 | +117,6 | +28,0 | +21 | +5 | +105 | | | | | | | |
| 1893 | 24,4 | 41 | 81 | 110 | +6,5 | -10 | +6 | +25 | 42,25 | 100 | 36 | 625 | -65,0 | +39,0 | +162,5 | -60 | -250 | +150 | | | | | | | |
| 1894 | 21,5 | 78 | 101 | 75 | +3,5 | +27 | +26 | -10 | 12,96 | 729 | 676 | 100 | +97,2 | +93,6 | -36,0 | +702 | -270 | -260 | | | | | | | |
| 1895 | 19,3 | 44 | 74 | 78 | +1,4 | -7 | -1 | -7 | 1,96 | 49 | 1 | 49 | -9,8 | -1,4 | -9,8 | -17 | +49 | +7 | | | | | | | |
| 1896 | 21,6 | 54 | 60 | 87 | +3,7 | +3 | -9 | +2 | 13,69 | 9 | 81 | 4 | +11,1 | -33,3 | -7,4 | -27 | +18 | -18 | | | | | | | |
| 1897 | 12,7 | 54 | 65 | 91 | -5,2 | +3 | -20 | -6 | 27,04 | 9 | 400 | 36 | -15,6 | +104,0 | -31,2 | -60 | +18 | -120 | | | | | | | |
| 1898 | 16,7 | 47 | 78 | 110 | -1,2 | -4 | +3 | +25 | 1,44 | 16 | 9 | 625 | +4,8 | -3,6 | -30,0 | -12 | -100 | +75 | | | | | | | |
| 1899 | 20,7 | 63 | 102 | 71 | +2,8 | +1 | +27 | -14 | 7,84 | 1 | 729 | 196 | +2,8 | +75,6 | -39,2 | -27 | -14 | -378 | | | | | | | |
| 1900 | 13,3 | 90 | 74 | 77 | -4,6 | -15 | -1 | -8 | 21,16 | 225 | 1 | 64 | +69,0 | +4,6 | +36,8 | +15 | +120 | +6 | | | | | | | |
| 1901 | 14,3 | 60 | 85 | 75 | -3,6 | -1 | +10 | -10 | 12,96 | 1 | 100 | 100 | +3,6 | -36,0 | +36,0 | -10 | +10 | -100 | | | | | | | |
| 1902 | 29,1 | 81 | 81 | 103 | +11,2 | +30 | +6 | +18 | 125,44 | 900 | 36 | 324 | +336,0 | +67,2 | +201,6 | +180 | +540 | +108 | | | | | | | |
| 1903 | 27,9 | 70 | 116 | 119 | +10,0 | +19 | +41 | +34 | 100,00 | 361 | 1681 | 1156 | +45,5 | +410,0 | +340,0 | +779 | +646 | +1394 | | | | | | | |
| 1904 | 11,4 | 44 | 64 | 43 | -6,5 | -7 | -11 | -42 | 42,25 | 49 | 121 | 1764 | +45,5 | +71,5 | +273,0 | +77 | +294 | +462 | | | | | | | |
| 1905 | 12,7 | 69 | 66 | 80 | -5,2 | +8 | -19 | -5 | 27,04 | 64 | 361 | 25 | -41,6 | -98,8 | +26,0 | -152 | -40 | +95 | | | | | | | |
| 1906 | 22,1 | 60 | 84 | 117 | +4,2 | +18 | +9 | +32 | 17,64 | 324 | 81 | 1024 | +75,6 | +37,8 | +134,4 | +162 | +576 | +288 | | | | | | | |
| 1907 | 26,6 | 41 | 60 | 133 | +8,7 | -10 | -6 | +48 | 75,69 | 100 | 36 | 2304 | -87,0 | -52,2 | +417,6 | +60 | -480 | -288 | | | | | | | |
| 1908 | 18,7 | 56 | 80 | 77 | +0,8 | +5 | -5 | -8 | 0,64 | 25 | 36 | 64 | +4,0 | -4,0 | +6,4 | +25 | -40 | -40 | | | | | | | |
| 1909 | 26,8 | 62 | 91 | 85 | +8,9 | +11 | +16 | 0 | 79,21 | 121 | 256 | 0 | +97,9 | +142,1 | 0 | +176 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 1910 | 14,8 | 38 | 39 | 109 | -3,1 | -13 | -36 | +24 | 9,61 | 169 | 1296 | 576 | -40,3 | +111,6 | -74,4 | +468 | -312 | -864 | | | | | | | |
| 1911 | 14,2 | 44 | 86 | 59 | -3,7 | -7 | +11 | -26 | 13,69 | 49 | 121 | 676 | +25,9 | -40,7 | +96,2 | -77 | +182 | -286 | | | | | | | |
| 1912 | 19,7 | 69 | 65 | 63 | +1,8 | +18 | -10 | -22 | 3,24 | 324 | 100 | 484 | +32,4 | -18,0 | -39,6 | -180 | -396 | +220 | | | | | | | |
| 1913 | 30,0 | 57 | 85 | 129 | +12,1 | +6 | +10 | +44 | 145,00 | 36 | 100 | 1936 | +72,6 | +121,0 | +532,4 | +60 | +264 | +440 | | | | | | | |
| 1914 | 14,1 | 50 | 54 | 77 | -3,8 | -1 | -21 | -8 | 14,44 | 1 | 441 | 64 | +3,8 | +79,8 | -30,4 | +21 | -8 | +168 | | | | | | | |
| 1915 | 13,3 | 35 | 43 | 93 | -4,6 | -10 | -32 | +8 | 21,16 | 256 | 1024 | 64 | +73,6 | +147,2 | +36,8 | +512 | -128 | -256 | | | | | | | |
| 1916 | 19,2 | 49 | 87 | 106 | +1,3 | -2 | +12 | +21 | 1,69 | 4 | 144 | 441 | -2,6 | +15,6 | +27,3 | -24 | -42 | +252 | | | | | | | |
| 1917 | 16,9 | 21 | 48 | 105 | -1,0 | -30 | -27 | +20 | 1,00 | 900 | 729 | 400 | +30,0 | +27,0 | -20,0 | +810 | -600 | +540 | | | | | | | |
| 1918 | 19,5 | 27 | 81 | 133 | +1,6 | -24 | +6 | +48 | 2,56 | 576 | 36 | 2304 | -38,4 | +9,6 | +76,8 | +144 | -1152 | +288 | | | | | | | |
| 1919 | 23,9 | 44 | 107 | 90 | +6,0 | -7 | +32 | +5 | 36,00 | 49 | 1024 | 25 | -42,0 | +192,0 | +30,0 | -224 | -35 | +160 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|----|----|----|------|-----|-----|-----|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 1920 | 10,8 | 44 | 65 | 85 | -7,1 | -7 | -10 | -50 | 50,41 | 40 | 100 | 2500 | +49,7 | +71,0 | +355,0 | +70 | +350 | +500 |
| 1921 | 9,8 | 58 | 86 | 30 | -8,1 | -7 | +11 | -46 | 65,61 | 40 | 121 | 2116 | -50,7 | -89,1 | -372,6 | +77 | -322 | -506 |
| 1922 | 14,1 | 53 | 70 | 70 | -3,8 | -3 | -1 | -15 | 14,44 | 4 | 1 | 325 | -7,0 | -3,8 | +57,0 | -2 | -30 | -15 |
| 1923 | 19,5 | 73 | 70 | 73 | +1,6 | +23 | -4 | -13 | 2,56 | 484 | 16 | 100 | +35,3 | +0,4 | -20,8 | +88 | -286 | -52 |
| 1924 | 16,8 | 38 | 60 | 01 | 1,1 | -13 | -6 | +6 | 1,21 | 169 | 36 | 36 | +14,3 | +0,6 | -6,6 | +78 | -78 | -36 |
| 1925 | 11,7 | 38 | 00 | 76 | -0,3 | -13 | +18 | -9 | 38,44 | 169 | 324 | 81 | -80,0 | -111,0 | +55,8 | -234 | +117 | -162 |
| 1926 | 17,3 | 03 | 03 | 03 | -0,7 | +2 | +7 | -3 | 0,49 | 4 | 49 | 9 | -1,4 | -4,9 | +2,1 | +14 | -6 | -21 |
| 1927 | 23,3 | 01 | 04 | 74 | +5,4 | +40 | -11 | -11 | 29,16 | 1600 | 121 | 121 | +216,0 | -59,4 | -59,4 | +440 | -440 | +121 |
| 1928 | 22,1 | 77 | 85 | 44 | +4,2 | +26 | +10 | -41 | 17,64 | 676 | 100 | 1681 | +109,2 | +42,0 | -172,2 | +260 | -1066 | -410 |
| 1929 | 16,1 | 48 | 58 | 86 | -1,8 | -3 | -17 | +1 | 3,24 | 9 | 289 | 1 | +1,8 | +5,4 | -30,0 | +51 | -3 | -17 |
| Средние | 17,9 | 51 | 75 | 85 | - | - | - | - | 1191,81 | 10762 | 15795 | 25880 | +1422,5 | +1919,4 | +2797,0 | +3350 | -4500 | -1310 |
| Сума | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

$$r_{12} = \frac{1422,5}{\sqrt{1191,81 \times 10762}} = \frac{1422,5}{\sqrt{12826259,22}} = +0,397;$$

$$r_{13} = \frac{1919,4}{\sqrt{1191,81 \times 15795}} = \frac{1919,4}{\sqrt{18824638,95}} = +0,442;$$

$$r_{14} = \frac{2797}{\sqrt{1191,81 \times 25880}} = \frac{2797}{\sqrt{30844042,80}} = +0,504;$$

$$r_{15} = \frac{3359}{\sqrt{10762 \times 15795}} = \frac{3359}{\sqrt{169985790}} = +0,258;$$

$$r_{16} = \frac{-4500}{\sqrt{10762 \times 25880}} = \frac{-4500}{\sqrt{278520560}} = -0,270;$$

$$r_{17} = \frac{-1310}{\sqrt{15795 \times 25880}} = \frac{-1310}{\sqrt{405774600}} = -0,095;$$

$$s_1 = \frac{1191,81}{46} = \sqrt{25,9089} = 5,09;$$

$$s_2 = \frac{10762}{46} = \sqrt{233,95} = 15,29$$

$$s_3 = \frac{15795}{46} = \sqrt{343,37} = 18,53;$$

$$s_4 = \sqrt{\frac{25880}{46}} = \sqrt{562,61} = 23,72$$

$$R_{11} = 1 - 0,0666 - 0,0729 - 0,0042 + 0,0091 = 0,865$$

$$R_{12} = - [0,3970, 9958] - 0,1140 + 0,1361 - 0,065 (-0,1193 + 0,1300)]$$

$$R_{12} = -0,417$$

$$R_{13} = - [0,442, 0,9271 - 0,1024 + 0,0328 - 0,27 (-0,0258 + 0,1900)]$$

$$R_{13} = -0,312$$

$$R_{14} = - [0,504, 0,9334 + 0,1072 + 0,0287 + 0,258 (-0,0258 - 0,1193)]$$

$$R_{14} = -0,5689$$

$$x - 17,9 = - \frac{0,417 \times 5,09}{0,865 \times 15,29} (y - 51) - \frac{0,312 \times 5,09}{0,865 \times 18,53} (z - 75) -$$

$$- \frac{0,5689 \times 5,09}{0,865 \times 23,72} (u - 85)$$

$$x = 17,9 = \frac{2,1225}{13,2259} (y - 51) + \frac{1,5881}{16,0285} (z - 75) + \frac{2,8962}{20,5178} (u - 85)$$

$$x = 17,9 = 0,160 (y - 51) + 0,099 (z - 75) + 0,141 (u - 85)$$

$$x = 0,16 y - 8,16 + 0,099 z - 7,42 + 0,141 u - 11,90 + 17,9$$

$$x = 0,160 y + 0,099 z + 0,141 u - 9,67$$

$$R = 0,865 - 0,165 - 0,138 - 285 = 0,277$$

$$R_{1234} = \sqrt{\frac{0,277}{1 - 0,865}} = 0,824$$

Обчислення літнього стоку р. Дніпра коло Києва за формулою, виведеною за допомогою кореляції

$$h = 0,160 N_5 + 0,099 N_6 + 0,141 N_7 - 9,67$$

| Рік | 0,160 N травня | 0,099 N червня | 0,141 N липня | Теорет. стік -9,67 | Дійсн. стік | Похибки | Похибки у % |
|------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------|----------------|---------|----------------|
| 1884 | 7,0 | 6,9 | 10,2 | 14,4 | 16,0 | -1,6 | -10,0 |
| 1885 | 11,4 | 3,8 | 10,7 | 16,2 | 12,9 | +3,3 | 25,6 |
| 1886 | 8,6 | 8,7 | 10,3 | 17,9 | 15,7 | +2,2 | 14,0 |
| 1887 | 11,2 | 8,7 | 5,6 | 15,8 | 15,7 | +0,1 | 0,1 |
| 1888 | 4,6 | 4,6 | 16,0 | 15,5 | 16,1 | -0,6 | -4,0 |
| 1889 | 4,5 | 5,1 | 13,1 | 13,0 | 11,9 | +1,1 | 9,9 |
| 1890 | 6,6 | 11,1 | 10,7 | 18,7 | 16,5 | +2,2 | 13,3 |
| 1891 | 6,1 | 8,3 | 10,7 | 15,4 | 17,5 | -2,1 | -12,0 |
| 1892 | 8,0 | 5,3 | 11,3 | 14,9 | 12,3 | +2,6 | 21,1 |
| 1893 | 6,6 | 8,0 | 15,5 | 20,4 | 24,4 | -4,0 | -16,4 |
| 1894 | 12,5 | 10,0 | 10,6 | 23,4 | 21,5 | +1,9 | 8,7 |
| 1895 | 7,0 | 7,3 | 11,0 | 15,6 | 19,3 | -3,7 | -19,2 |
| 1896 | 8,6 | 6,5 | 12,3 | 17,7 | 21,6 | -3,9 | -18,1 |
| 1897 | 8,6 | 5,4 | 12,8 | 17,1 | 12,7 | +4,4 | 34,6 |
| 1898 | 7,5 | 7,7 | 15,5 | 21,0 | 16,7 | +4,3 | 25,8 |
| 1899 | 8,3 | 10,1 | 10,0 | 18,7 | 20,7 | -2,0 | -9,6 |
| 1900 | 5,8 | 7,3 | 10,9 | 14,3 | 13,3 | +1,0 | 7,5 |
| 1901 | 8,0 | 8,4 | 10,6 | 17,3 | 14,3 | +3,0 | 21,0 |
| 1902 | 13,0 | 8,0 | 14,4 | 25,7 | 29,1 | -3,4 | -11,7 |
| 1903 | 11,2 | 11,5 | 16,7 | 29,7 | 27,9 | +1,8 | 6,5 |
| 1904 | 7,0 | 6,3 | 6,1 | 9,7 | 11,4 | -1,7 | -14,9 |
| 1905 | 9,4 | 5,5 | 11,3 | 16,5 | 12,7 | +3,8 | 29,9 |
| 1906 | 11,0 | 8,3 | 16,4 | 26,0 | 22,1 | +3,9 | 17,7 |
| 1907 | 6,6 | 6,8 | 18,6 | 22,3 | 26,6 | -4,3 | -16,2 |
| 1908 | 9,0 | 7,9 | 10,9 | 18,1 | 18,7 | -0,6 | -0,3 |
| 1909 | 9,9 | 9,0 | 12,0 | 21,2 | 26,8 | -5,6 | -20,9 |
| 1910 | 6,1 | 3,9 | 15,3 | 15,6 | 14,8 | +0,8 | 5,4 |
| 1911 | 7,0 | 8,5 | 8,3 | 14,1 | 14,2 | -0,1 | -0,7 |
| 1912 | 11,0 | 6,4 | 8,9 | 16,6 | 19,7 | -3,1 | -15,7 |
| 1913 | 9,1 | 8,4 | 18,1 | 25,9 | 30,0 | -4,1 | -13,7 |
| 1914 | 8,0 | 5,3 | 10,9 | 14,5 | 14,1 | +0,4 | 28,4 |
| 1915 | 5,6 | 4,3 | 13,1 | 13,3 | 13,3 | 0 | 0,0 |
| 1916 | 7,8 | 8,6 | 14,8 | 21,5 | 19,2 | +2,3 | 12,0 |
| 1917 | 3,4 | 4,8 | 14,7 | 13,2 | 16,9 | -3,7 | -21,9 |
| 1918 | 4,3 | 8,0 | 18,6 | 21,2 | 19,5 | +1,6 | 8,2 |
| 1919 | 7,0 | 10,6 | 12,7 | 20,6 | 23,9 | -3,3 | -13,8 |
| 1920 | 7,0 | 6,4 | 4,9 | 8,6 | 10,8 | -2,2 | -20,4 |
| 1921 | 9,3 | 8,5 | 5,5 | 13,6 | 9,8 | +3,8 | 38,8 |
| 1922 | 8,5 | 7,5 | 9,9 | 16,2 | 14,1 | +2,1 | 14,9 |
| 1923 | 11,7 | 7,8 | 10,2 | 20,0 | 19,5 | +0,5 | 2,5 |
| 1924 | 6,1 | 6,8 | 12,8 | 16,0 | 16,8 | -0,8 | -4,8 |
| 1925 | 6,1 | 9,2 | 10,7 | 16,3 | 11,7 | +4,6 | 39,3 |
| 1926 | 8,5 | 8,1 | 11,6 | 18,5 | 17,2 | +1,3 | 7,6 |
| 1927 | 14,6 | 6,3 | 10,4 | 21,6 | 23,3 | -1,7 | -7,3 |
| 1928 | 12,3 | 8,4 | 6,2 | 17,2 | 22,1 | -4,9 | -22,2 |
| 1929 | 7,7 | 5,7 | 12,1 | 15,8 | 16,1 | -0,3 | -1,9 |

Формули А і D проф. Ненько
(басейн р. Дніпра до Києва)

| Рік | $\pm 20t_0$ | $304 + 20t_0$ | $100 + 20t_0$ | $\frac{304 + 20t_0}{100 + 20t_0}$ | $\alpha / g \frac{1}{10}$ | N | Теорет. стік | $0,25 a_0$ | $\pm 7,5t_0$ | K | Весняний теорет. стік | Весн. дійсний стік | Похибки | Похибки у % дійсного стоку |
|------|-------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------|-------|--------------|------------|--------------|------|-----------------------|--------------------|---------|----------------------------|
| 1885 | -15,0 | 288 | 348 | 0,827 | 1,173 | 0,149 | 83,0 | 47,0 | + 6,0 | 48,0 | 39,8 | 58,1 | -18,3 | -31,5 |
| 1886 | -52 | 252 | 352 | 0,716 | 1,284 | 0,192 | 94,5 | 48,0 | +19,5 | 62,5 | 59,0 | 85,5 | -26,5 | -31,0 |
| 1887 | -14 | 290 | 367 | 0,790 | 1,210 | 0,162 | 99,7 | 51,8 | + 5,3 | 52,1 | 51,9 | 59,9 | - 8,0 | -13,3 |
| 1888 | -80 | 244 | 394 | 0,620 | 1,380 | 0,239 | 116,8 | 58,5 | +22,5 | 76,0 | 88,7 | 119,8 | -31,1 | -25,9 |
| 1889 | -72 | 232 | 357 | 0,650 | 1,350 | 0,224 | 138,5 | 49,3 | +27,0 | 71,3 | 98,7 | 104,6 | - 5,9 | - 5,6 |
| 1890 | -10 | 294 | 357 | 0,824 | 1,176 | 0,150 | 77,0 | 49,3 | + 3,8 | 48,1 | 37,0 | 68,9 | -31,9 | -46,4 |
| 1891 | -76 | 228 | 355 | 0,642 | 1,358 | 0,228 | 114,8 | 48,8 | +28,5 | 72,3 | 83,0 | 88,1 | - 5,1 | - 5,8 |
| 1892 | -44 | 260 | 315 | 0,825 | 1,175 | 0,150 | 73,0 | 38,8 | +16,5 | 50,3 | 36,7 | 67,7 | -31,0 | -45,7 |
| 1893 | -92 | 212 | 378 | 0,561 | 1,439 | 0,275 | 165,0 | 54,5 | +34,5 | 84,0 | 138,6 | 86,1 | -52,5 | +61,1 |
| 1894 | -14 | 290 | 327 | 0,888 | 1,112 | 0,129 | 75,3 | 41,8 | + 5,3 | 42,1 | 31,7 | 62,0 | -30,3 | -48,8 |
| 1895 | -44 | 260 | 397 | 0,656 | 1,344 | 0,221 | 131,9 | 59,3 | +16,5 | 70,8 | 93,4 | 127,9 | -34,5 | -26,9 |
| 1896 | -56 | 248 | 396 | 0,626 | 1,374 | 0,237 | 138,1 | 59,0 | +21,0 | 75,0 | 103,7 | 109,9 | - 6,2 | - 5,6 |
| 1897 | -32 | 272 | 343 | 0,794 | 1,206 | 0,161 | 80,9 | 45,8 | +12,0 | 52,8 | 42,7 | 103,7 | -61,0 | -59,0 |
| 1898 | -44 | 260 | 329 | 0,790 | 1,210 | 0,162 | 81,5 | 42,3 | +16,5 | 53,8 | 43,8 | 63,6 | -19,8 | -31,2 |
| 1899 | - 8 | 296 | 340 | 0,871 | 1,129 | 0,135 | 81,6 | 45,0 | + 3,0 | 43,0 | 35,1 | 53,0 | -17,9 | -33,8 |
| 1900 | -48 | 256 | 370 | 0,692 | 1,308 | 0,203 | 102,2 | 52,5 | +18,0 | 65,5 | 67,0 | 99,7 | -32,7 | -32,7 |
| 1901 | -34 | 270 | 355 | 0,761 | 1,239 | 0,173 | 97,4 | 48,8 | +12,8 | 56,6 | 55,1 | 71,8 | -16,7 | -23,3 |
| 1902 | -12 | 292 | 371 | 0,788 | 1,212 | 0,163 | 98,1 | 52,8 | + 4,5 | 52,3 | 51,4 | 87,2 | -35,8 | -41,1 |
| 1903 | -38 | 266 | 307 | 0,867 | 1,133 | 0,136 | 83,9 | 36,8 | +14,3 | 46,1 | 38,7 | 72,1 | -33,4 | -46,3 |
| 1904 | -36 | 268 | 345 | 0,778 | 1,222 | 0,167 | 79,7 | 46,3 | +13,5 | 54,8 | 43,7 | 51,0 | - 7,3 | -14,3 |
| 1905 | -38 | 266 | 352 | 0,755 | 1,245 | 0,175 | 113,1 | 48,0 | +14,3 | 57,3 | 64,8 | 83,2 | -18,4 | -22,1 |
| 1906 | -20 | 284 | 447 | 0,635 | 1,365 | 0,232 | 162,4 | 71,8 | + 7,5 | 74,3 | 120,7 | 99,6 | +21,1 | +21,2 |
| 1907 | -58 | 246 | 387 | 0,636 | 1,364 | 0,231 | 118,3 | 56,8 | +21,8 | 73,6 | 87,0 | 112,1 | -25,1 | -22,4 |
| 1908 | -50 | 254 | 361 | 0,705 | 1,295 | 0,197 | 115,5 | 50,3 | +18,8 | 64,1 | 74,3 | 127,8 | -53,5 | -41,8 |
| 1909 | -94 | 210 | 304 | 0,691 | 1,309 | 0,203 | 110,3 | 36,0 | +35,3 | 66,3 | 73,2 | 90,9 | -17,7 | -19,4 |
| 1910 | + 4 | 308 | 355 | 0,869 | 1,131 | 0,135 | 79,8 | 48,8 | - 1,5 | 42,3 | 33,7 | 56,3 | -22,6 | -40,2 |
| 1911 | -52 | 252 | 351 | 0,718 | 1,282 | 0,191 | 89,3 | 47,8 | +19,5 | 62,3 | 55,6 | 68,9 | -13,3 | -19,3 |
| 1912 | -40 | 264 | 361 | 0,731 | 1,269 | 0,186 | 126,0 | 50,3 | +15,0 | 60,3 | 76,0 | 95,8 | -19,8 | -20,7 |
| 1913 | -24 | 280 | 325 | 0,863 | 1,137 | 0,137 | 86,3 | 41,3 | + 9,0 | 45,3 | 39,2 | 68,8 | -29,6 | -43,1 |
| 1914 | -10 | 294 | 381 | 0,772 | 1,228 | 0,169 | 84,4 | 55,3 | + 3,8 | 54,1 | 45,7 | 86,3 | -40,6 | -47,2 |
| 1915 | -44 | 260 | 369 | 0,668 | 1,332 | 0,215 | 131,5 | 57,3 | +16,5 | 68,8 | 90,5 | 100,4 | - 9,9 | - 9,9 |
| 1916 | -28 | 276 | 411 | 0,672 | 1,323 | 0,213 | 143,0 | 62,8 | +10,5 | 68,3 | 97,6 | 102,9 | - 5,3 | - 5,2 |
| 1917 | -88 | 216 | 399 | 0,541 | 1,459 | 0,288 | 165,4 | 59,8 | +33,0 | 87,8 | 145,0 | 123,3 | +21,7 | +17,6 |
| 1925 | +16 | 320 | | | | | н | е | м | а | | | | |
| 1926 | -52 | 252 | 371 | 0,679 | 1,321 | 0,209 | 119,8 | 52,8 | +19,5 | 67,3 | 80,5 | 89,2 | - 8,7 | - 9,7 |
| 1927 | -30 | 274 | 359 | 0,763 | 1,237 | 0,173 | 105,0 | 49,8 | +11,3 | 56,1 | 58,9 | 96,8 | -37,9 | -39,1 |
| 1928 | -76 | 228 | 338 | 0,675 | 1,325 | 0,211 | 124,5 | 44,5 | +28,5 | 68,0 | 84,6 | 89,4 | - 4,8 | - 5,4 |
| 1929 | -80 | 224 | 364 | 0,615 | 1,385 | 0,243 | 111,8 | 51,0 | +30,0 | 76,0 | 85,0 | 102,9 | -17,9 | -17,9 |

Формули А і D проф. Ненько
(басейн р. Прип'яті до Мозиря)

| Рік | $\pm 20 t_6$ | $304 \pm 20 t_6$ | $160 + x_6$ | $304 \pm 20 t_6 = \alpha$ $160 + x_6$ | $\alpha / \beta / 10$ | N | Теоретичн. річний стік | 0,25 x_6 | - 7,5 t_6 | K | Весняний теоретич. стік | Весняний дійсн. стік | Похибки | Похибки у % |
|------|--------------|------------------|-------------|--|-----------------------|-------|------------------------|------------|-------------|------|-------------------------|----------------------|---------|-------------|
| 1885 | -2,0 | 302 | 357 | 0,846 | 1,154 | 0,142 | 82,2 | 49,3 | + 0,8 | 45,1 | 37,0 | 42,6 | - 5,6 | -13,1 |
| 1886 | -32 | 272 | 350 | 0,777 | 1,223 | 0,167 | 79,5 | 47,5 | +12,0 | 54,5 | 43,4 | 97,5 | -54,1 | -55,5 |
| 1887 | 0 | 304 | 375 | 0,812 | 1,188 | 0,154 | 98,0 | 53,8 | 0,0 | 48,8 | 47,8 | 43,5 | + 4,3 | + 9,9 |
| 1888 | -42 | 262 | 374 | 0,700 | 1,300 | 0,200 | 92,0 | 53,5 | +15,8 | 64,3 | 59,2 | 123,5 | -64,3 | -52,1 |
| 1889 | -54 | 250 | 371 | 0,675 | 1,325 | 0,211 | 140,5 | 52,8 | +20,3 | 68,1 | 95,7 | 98,1 | - 2,4 | - 2,4 |
| 1890 | + 2 | 306 | 397 | 0,772 | 1,228 | 0,169 | 89,6 | 59,3 | - 0,8 | 53,5 | 47,9 | 74,4 | -26,5 | -35,6 |
| 1891 | -48 | 206 | 373 | 0,553 | 1,447 | 0,280 | 163,2 | 53,3 | +18,0 | 66,3 | 108,0 | 75,8 | +32,2 | +42,4 |
| 1892 | -24 | 280 | 310 | 0,904 | 1,096 | 0,125 | 60,7 | 37,5 | + 9,0 | 41,5 | 25,2 | 54,3 | - 29,1 | -53,7 |
| 1893 | -64 | 240 | 349 | 0,678 | 1,322 | 0,210 | 139,0 | 47,3 | +24,0 | 66,3 | 92,2 | 54,7 | +37,5 | +68,5 |
| 1894 | + 6 | 310 | 317 | 0,978 | 1,022 | 0,105 | 63,5 | 39,3 | - 2,3 | 32,0 | 20,4 | 55,6 | -35,2 | -63,4 |
| 1895 | -22 | 282 | 391 | 0,722 | 1,278 | 0,190 | 109,3 | 57,8 | + 8,3 | 61,1 | 66,7 | 128,2 | -61,5 | -48,0 |
| 1896 | -24 | 280 | 377 | 0,743 | 1,257 | 0,181 | 106,3 | 54,3 | + 9,0 | 58,3 | 61,9 | 80,0 | -18,1 | -22,6 |
| 1897 | -10 | 294 | 321 | 0,917 | 1,083 | 0,121 | 69,7 | 40,3 | + 3,8 | 39,1 | 27,2 | 84,5 | -57,3 | -65,4 |
| 1898 | -16 | 288 | 352 | 0,818 | 1,182 | 0,152 | 77,0 | 48,0 | + 6,0 | 49,0 | 37,7 | 51,2 | -13,5 | -26,3 |
| 1899 | +24 | 328 | 334 | 0,983 | 1,013 | 0,103 | 64,0 | 43,5 | - 9,0 | 29,5 | 18,9 | 41,6 | -22,7 | -54,5 |
| 1900 | -18 | 286 | 354 | 0,807 | 1,193 | 0,156 | 77,3 | 48,5 | + 6,8 | 50,3 | 38,8 | 94,9 | -56,1 | -59,2 |
| 1901 | -10 | 294 | 303 | 0,970 | 1,030 | 0,106 | 60,6 | 35,8 | + 3,8 | 34,6 | 21,0 | 27,3 | - 6,3 | -23,1 |
| 1902 | +12 | 316 | 364 | 0,868 | 1,132 | 0,136 | 77,5 | 51,0 | - 4,5 | 41,5 | 32,1 | 74,3 | -42,2 | -56,8 |
| 1903 | -22 | 282 | 803 | 0,932 | 1,068 | 0,117 | 72,5 | 35,8 | + 8,3 | 39,1 | 28,4 | 66,4 | -38,0 | -57,3 |
| 1904 | -14 | 290 | 322 | 0,901 | 1,099 | 0,126 | 59,3 | 40,5 | + 5,3 | 40,8 | 24,2 | 35,8 | -11,6 | -32,4 |
| 1905 | -14 | 290 | 346 | 0,838 | 1,162 | 0,145 | 86,5 | 46,5 | + 5,3 | 46,8 | 40,5 | 56,9 | -16,4 | -28,8 |
| 1906 | - 4 | 300 | 429 | 0,700 | 1,300 | 0,200 | 147,2 | 67,3 | + 1,5 | 63,8 | 94,0 | 82,7 | +11,3 | +13,7 |
| 1907 | -40 | 264 | 381 | 0,693 | 1,307 | 0,203 | 106,5 | 55,3 | +15,0 | 65,3 | 69,5 | 106,8 | -37,3 | -35,0 |
| 1908 | -12 | 292 | 341 | 0,855 | 1,145 | 0,140 | 88,8 | 45,3 | + 4,5 | 44,8 | 39,8 | 91,3 | -51,5 | -56,5 |
| 1909 | -70 | 234 | 294 | 0,796 | 1,304 | 0,160 | 83,5 | 33,5 | +26,3 | 54,8 | 45,7 | 88,9 | -43,2 | -48,7 |
| 1910 | +26 | 330 | 329 | 1, 05 | 2,950 | 0,089 | 50,3 | 42,3 | + 9,8 | 27,5 | 13,9 | 45,1 | -31,2 | -69,2 |
| 1911 | -20 | 284 | 358 | 0,794 | 1,206 | 0,161 | 78,6 | 49,5 | + 7,5 | 52,0 | 40,3 | 68,1 | -27,3 | -40,1 |
| 1912 | -10 | 294 | 362 | 0,812 | 1,188 | 0,154 | 107,0 | 50,5 | + 6,5 | 49,5 | 52,7 | 104,8 | -52,1 | -49,7 |
| 1913 | + 2 | 306 | 333 | 0,918 | 1,082 | 0,121 | 81,5 | 43,3 | - 0,8 | 37,5 | 30,6 | 76,2 | -45,6 | -59,9 |
| 1914 | +36 | 340 | 363 | 0,837 | 1,063 | 0,115 | 60,3 | 50,8 | -13,5 | 32,3 | 19,5 | 100,9 | -81,4 | -81,3 |
| 1915 | -24 | 280 | 362 | 0,773 | 1,227 | 0,169 | 97,7 | 50,5 | + 9,0 | 54,5 | 53,2 | 66,3 | -13,1 | -19,8 |
| 1916 | - 4 | 300 | 421 | 0,713 | 1,287 | 0,194 | 130,7 | 65,3 | + 1,5 | 61,8 | 80,7 | 74,9 | + 5,8 | + 7,7 |
| 1917 | -64 | 240 | 378 | 0,685 | 1,365 | 0,232 | 137,2 | 54,5 | +24,0 | 73,5 | 100,5 | 84,5 | +16,0 | +18,9 |
| 1926 | -34 | 270 | 358 | 0,754 | 1,246 | 0,176 | 103,8 | 49,5 | +12,8 | 57,3 | 59,5 | 80,8 | -21,3 | -26,4 |
| 1927 | -12 | 292 | 341 | 0,856 | 1,144 | 0,139 | 79,4 | 45,3 | + 4,5 | 44,8 | 35,6 | 93,5 | -57,9 | -62,1 |
| 1928 | -62 | 242 | 309 | 0,784 | 1,216 | 0,164 | 94,0 | 37,3 | +23,3 | 55,6 | 52,3 | 77,1 | -24,8 | -32,2 |
| 1929 | -74 | 230 | 359 | 0,641 | 1,359 | 0,229 | 107,5 | 49,8 | +27,8 | 72,6 | 78,2 | 69,3 | + 8,9 | +12,8 |

Формули А і D проф. Я. Т. Ненько
(басейн р. Десни до Чернігова)

Додаток VIII

| Рік | $\pm 20 t_0$ | $304 \pm 20 t_0$ | $160 \pm x_0$ | $304 \pm 20 t_0$ $\cdot \frac{1}{160 \pm x_0} = \alpha$ | $\alpha \lg \frac{1}{10}$ | N | Теорет. річний стік | $0,25 x_0$ | $-7,5 t_0$ | K | Висн. теорет. стік | Висн. дійсн. стік | Похибки | Похибки у % |
|---------|--------------|------------------|---------------|--|---------------------------|-------|---------------------|------------|------------|-------|--------------------|-------------------|---------|-------------|
| 1885/86 | - 58 | 246 | 342 | 0,720 | 1,230 | 0,191 | 92,1 | 45,5 | +21,8 | 62,3 | 57,4 | 63,9 | - 6,5 | 10,1 |
| 1886/87 | - 18 | 286 | 355 | 0,805 | 1,195 | 0,157 | 98,8 | 48,8 | + 6,8 | 50,6 | 50,0 | 53,8 | - 3,8 | 7,1 |
| 1887/88 | - 54 | 250 | 451 | 0,555 | 1,445 | 0,279 | 161,0 | 72,8 | +20,3 | 88,1 | 142,0 | - | - | - |
| 1888/89 | - 78 | 226 | 349 | 0,648 | 1,352 | 0,225 | 138,9 | 47,3 | +29,3 | 71,6 | 100,0 | - | - | - |
| 1889/90 | - 24 | 280 | 342 | 0,818 | 1,182 | 0,152 | 68,4 | 45,5 | + 9,0 | 49,5 | 34,2 | - | - | - |
| 1890/91 | -102 | 202 | 326 | 0,620 | 1,330 | 0,240 | 97,5 | 41,5 | +38,3 | 74,8 | 73,1 | - | - | - |
| 1891/92 | - 54 | 250 | 320 | 0,782 | 1,218 | 0,165 | 79,8 | 40,0 | +20,3 | 55,3 | 43,9 | - | - | - |
| 1892/93 | -116 | 188 | 418 | 0,450 | 1,550 | 0,355 | 200,0 | 64,5 | +43,5 | 103,0 | 206,0 | - | - | - |
| 1893/94 | - 32 | 272 | 320 | 0,850 | 1,150 | 0,141 | 80,7 | 40,0 | +12,0 | 47,0 | 37,9 | - | - | - |
| 1894/95 | - 58 | 246 | 423 | 0,582 | 1,418 | 0,262 | 149,9 | 65,8 | +21,8 | 82,6 | 123,9 | 168,6 | - 44,7 | 26,4 |
| 1895/96 | - 86 | 218 | 381 | 0,572 | 1,428 | 0,268 | 142,2 | 55,3 | +32,3 | 82,6 | 117,8 | 101,9 | + 15,9 | 15,6 |
| 1896/97 | - 50 | 254 | 342 | 0,743 | 1,257 | 0,181 | 72,2 | 45,5 | +18,8 | 59,3 | 42,6 | 100,3 | - 57,7 | 57,7 |
| 1897/98 | - 76 | 228 | 295 | 0,773 | 1,227 | 0,169 | 80,7 | 33,8 | +28,5 | 57,3 | 46,0 | 52,7 | - 6,7 | 12,7 |
| 1898/99 | - 24 | 280 | 324 | 0,865 | 1,135 | 0,136 | 76,1 | 41,0 | + 9,0 | 45,0 | 34,2 | 52,7 | - 18,5 | 35,1 |
| 1899/00 | - 68 | 236 | 373 | 0,633 | 1,367 | 0,233 | 121,0 | 53,3 | +25,5 | 73,8 | 89,5 | 98,1 | - 8,6 | 8,8 |
| 1900/01 | - 46 | 258 | 408 | 0,632 | 1,368 | 0,233 | 132,2 | 62,0 | +17,3 | 74,3 | 97,7 | 101,0 | - 3,3 | 3,1 |
| 1901/02 | - 22 | 282 | 370 | 0,762 | 1,238 | 0,173 | 101,0 | 52,5 | + 8,3 | 55,8 | 56,6 | 83,8 | - 27,2 | 32,4 |
| 1902/03 | - 66 | 238 | 305 | 0,780 | 1,220 | 0,166 | 100,9 | 36,3 | +24,8 | 56,1 | 56,6 | 71,5 | - 14,0 | 20,8 |
| 1903/04 | - 52 | 252 | 377 | 0,669 | 1,331 | 0,214 | 97,1 | 54,3 | +19,5 | 68,8 | 66,9 | 58,3 | + 8,6 | 14,7 |
| 1904/05 | - 54 | 250 | 361 | 0,693 | 1,307 | 0,203 | 142,0 | 50,3 | +20,3 | 65,6 | 93,0 | 107,4 | - 14,4 | 13,4 |
| 1905/06 | - 28 | 276 | 463 | 0,596 | 1,404 | 0,254 | 168,9 | 75,8 | +10,5 | 81,3 | 136,9 | 95,7 | + 41,2 | 43,0 |
| 1906/07 | - 72 | 232 | 392 | 0,593 | 1,407 | 0,255 | 125,0 | 58,0 | +27,0 | 80,0 | 100,0 | 114,6 | - 14,6 | 12,8 |
| 1907/08 | - 74 | 230 | 380 | 0,590 | 1,410 | 0,257 | 128,3 | 55,0 | +27,8 | 77,8 | 99,8 | 159,9 | - 61,1 | 37,6 |
| 1908/09 | -112 | 192 | 313 | 0,613 | 1,387 | 0,244 | 128,0 | 38,3 | +42,0 | 75,3 | 96,0 | 76,9 | + 19,1 | 24,8 |
| 1909/10 | - 18 | 286 | 353 | 0,810 | 1,190 | 0,155 | 89,9 | 48,3 | + 6,8 | 50,1 | 45,0 | 56,4 | - 11,4 | 20,2 |
| 1910/11 | - 84 | 220 | 326 | 0,675 | 1,325 | 0,211 | 88,3 | 41,5 | +31,5 | 63,0 | 60,0 | 60,0 | - 0,0 | 0,0 |
| 1911/12 | - 68 | 236 | 342 | 0,690 | 1,310 | 0,204 | 128,8 | 45,5 | +25,5 | 66,0 | 85,1 | 72,5 | + 12,6 | 17,4 |
| 1912/13 | - 36 | 268 | 307 | 0,874 | 1,126 | 0,134 | 82,3 | 36,8 | +13,5 | 45,3 | 37,0 | 54,5 | - 17,5 | 32,1 |
| 1913/13 | + 2 | 306 | 397 | 0,771 | 1,229 | 0,169 | 78,1 | 59,3 | + 0,8 | 53,5 | 41,7 | 75,7 | - 34,0 | 44,9 |
| 1914/15 | - 58 | 246 | 421 | 0,584 | 1,416 | 0,261 | 169,3 | 65,3 | +21,8 | 82,1 | 138,6 | 144,2 | - 5,6 | 3,5 |
| 1915/16 | - 38 | 266 | 399 | 0,666 | 1,333 | 0,215 | 134,0 | 59,8 | +14,3 | 69,1 | 92,5 | 112,7 | - 20,2 | 17,9 |
| 1916/17 | -104 | 200 | 397 | 0,504 | 1,496 | 0,313 | 165,7 | 59,3 | +39,6 | 93,3 | 154,0 | 167,4 | - 13,4 | 8,0 |
| 1925/26 | - 64 | 240 | 401 | 0,599 | 1,401 | 0,251 | 139,9 | 60,3 | +24,0 | 79,3 | 111,0 | 102,1 | + 8,6 | 8,7 |
| 1926/27 | - 48 | 256 | 359 | 0,712 | 1,288 | 0,194 | 113,3 | 49,8 | +18,0 | 62,8 | 71,2 | 93,5 | - 22,3 | 23,8 |
| 1927/28 | -100 | 204 | 363 | 0,562 | 1,438 | 0,274 | 157,1 | 50,8 | +37,5 | 83,3 | 130,3 | 105,3 | + 25,0 | 23,7 |
| 1928/29 | -110 | 204 | 361 | 0,565 | 1,435 | 0,272 | 125,7 | 50,3 | +37,5 | 82,8 | 104,0 | 125,1 | - 21,1 | 16,9 |

Формули В і D проф. Ненько
(Дніпро коло Києва)

| Рік | $55 + x_0$ | $\pm 300 t_0$ | $1869 \pm 300 t_0$ | $\frac{55 + x_0}{1869 \pm 300 t_0}$ | Річний теорет. стік | K | Весняний теорет. стік | Веснян. дійсн. стік | Похибки | Похибки у % |
|------|------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|------|-----------------------|---------------------|---------|-------------|
| 1885 | 243 | - 240 | 1629 | 0,149 | 82,9 | 48,0 | 39,7 | 58,1 | - 18,4 | - 31,6 |
| 1886 | 247 | - 780 | 1089 | 0,227 | 113,3 | 62,5 | 70,8 | 85,5 | - 14,7 | - 17,2 |
| 1887 | 262 | - 210 | 1659 | 0,158 | 97,3 | 52,1 | 50,6 | 59,9 | - 9,3 | - 15,5 |
| 1888 | 289 | - 900 | 969 | 0,298 | 145,6 | 76,0 | 110,8 | 119,8 | - 9,0 | - 7,5 |
| 1889 | 252 | -1080 | 789 | 0,319 | 197,3 | 71,3 | 140,2 | 104,6 | + 35,6 | + 34,1 |
| 1890 | 252 | - 150 | 1719 | 0,147 | 75,5 | 48,1 | 36,3 | 69,0 | - 32,7 | - 47,4 |
| 1891 | 250 | -1140 | 729 | 0,343 | 172,5 | 72,3 | 124,7 | 88,1 | + 36,6 | + 41,6 |
| 1892 | 210 | - 660 | 1209 | 0,174 | 84,6 | 50,3 | 42,6 | 67,7 | - 25,1 | - 37,1 |
| 1893 | 273 | -1380 | 489 | 0,558 | 334,3 | 84,0 | 280,2 | 86,1 | +196,1 | +228,0 |
| 1894 | 222 | - 210 | 1659 | 0,134 | 78,4 | 42,1 | 32,9 | 62,0 | - 29,1 | - 46,8 |
| 1895 | 292 | - 660 | 1209 | 0,242 | 144,1 | 70,8 | 102,0 | 127,9 | - 25,9 | - 20,3 |
| 1896 | 291 | - 840 | 1029 | 0,283 | 165,0 | 75,0 | 123,8 | 109,9 | + 13,9 | + 12,7 |
| 1897 | 238 | - 480 | 1389 | 0,171 | 85,8 | 52,8 | 45,3 | 103,7 | - 58,4 | - 56,3 |
| 1898 | 224 | - 660 | 1209 | 0,186 | 93,6 | 53,8 | 50,4 | 63,6 | - 13,2 | - 20,8 |
| 1899 | 235 | - 120 | 1749 | 0,134 | 81,0 | 43,0 | 34,8 | 53,0 | - 18,2 | - 34,3 |
| 1900 | 265 | - 720 | 1149 | 0,231 | 116,6 | 65,5 | 76,0 | 99,7 | - 23,7 | - 23,7 |
| 1901 | 250 | - 510 | 1359 | 0,184 | 103,8 | 56,6 | 58,8 | 71,8 | - 13,0 | - 18,1 |
| 1902 | 266 | - 180 | 1689 | 0,158 | 95,0 | 52,3 | 49,4 | 87,2 | - 37,8 | - 43,3 |
| 1903 | 202 | - 570 | 1299 | 0,155 | 95,5 | 46,1 | 44,0 | 72,1 | - 28,1 | - 38,9 |
| 1904 | 240 | - 540 | 1329 | 0,181 | 86,4 | 54,8 | 47,3 | 51,0 | - 3,7 | - 7,3 |
| 1905 | 237 | - 570 | 1299 | 0,183 | 118,3 | 57,3 | 67,8 | 83,2 | - 15,4 | - 18,5 |
| 1906 | 342 | - 300 | 1569 | 0,218 | 152,6 | 74,3 | 113,3 | 99,6 | + 13,7 | + 13,7 |
| 1907 | 282 | - 870 | 999 | 0,282 | 144,4 | 73,6 | 106,2 | 112,1 | - 5,9 | - 5,3 |
| 1908 | 256 | - 750 | 1119 | 0,229 | 134,1 | 64,1 | 85,8 | 127,8 | - 42,0 | - 32,9 |
| 1909 | 199 | -1410 | 459 | 0,434 | 236,0 | 66,3 | 156,2 | 90,9 | + 65,3 | + 71,9 |
| 1910 | 250 | + 60 | 1929 | 0,130 | 76,8 | 42,3 | 32,5 | 56,3 | - 23,8 | - 42,3 |
| 1911 | 246 | - 780 | 1089 | 0,226 | 105,2 | 62,3 | 65,6 | 68,9 | - 3,3 | - 47,8 |
| 1912 | 256 | - 600 | 1269 | 0,202 | 136,5 | 60,3 | 82,4 | 95,8 | - 13,4 | - 14,0 |
| 1913 | 220 | - 360 | 1509 | 0,146 | 92,0 | 45,3 | 41,7 | 68,8 | - 27,1 | - 39,4 |
| 1914 | 276 | - 150 | 1719 | 0,161 | 80,5 | 54,1 | 43,5 | 86,3 | - 42,8 | - 49,6 |
| 1915 | 284 | - 660 | 1209 | 0,235 | 143,9 | 68,8 | 98,9 | 100,4 | - 1,4 | - 1,4 |
| 1916 | 306 | - 420 | 1449 | 0,212 | 142,1 | 68,3 | 97,9 | 102,4 | - 5,9 | - 5,7 |
| 1917 | 294 | -1320 | 549 | 0,536 | 307,9 | 87,8 | 270,0 | 123,3 | +146,7 | +118,7 |
| 1926 | 266 | - 780 | 1089 | 0,244 | 139,9 | 67,3 | 94,0 | 89,2 | + 4,8 | + 5,4 |
| 1927 | 254 | - 450 | 1419 | 0,179 | 108,8 | 56,1 | 61,2 | 96,8 | - 35,6 | - 36,8 |
| 1928 | 233 | -1140 | 729 | 0,320 | 189,0 | 68,0 | 128,6 | 89,4 | + 39,2 | + 43,9 |
| 1929 | 259 | -1200 | 669 | 0,387 | 178,0 | 76,0 | 135,2 | 102,9 | + 32,3 | + 31,0 |

Инж. А. И. Прядченко

Гидрометеорологические зависимости для вычисления сезонного стока (для р. Днепра до Киева)

Резюме

Работа состоит из двух частей: в первой части приводятся вновь выведенные формулы гидрометеорологических зависимостей для целей долгосрочных прогнозов среднесезонных значений стока Днепра у Киева; во второй части рассматриваются равнее предложенные формулы для вычисления сезонного стока и сравниваются результаты применения вновь выведенных и прежних формул в условиях Днепра.

Для определения весеннего стока получена формула, применимая как для вычисления стока, так и предсказаний его. Формула эта имеет такой вид:

$$h = 0,771 N_3 - 4,86 t + 0,18 N_{\text{пр. года}} - 107,3 \quad (3)$$

где:

h — сток в мм за март — июнь у Киева;
 N_3 — зимние осадки за декабрь — март;
 t — средняя температура за декабрь — февраль;

N и t берутся по бассейну Днепра до Киева; если температура декабря выше $-1,5^\circ\text{C}$, то осадки и температура декабря в расчет не вводятся;

$N_{\text{пр. года}}$ — осадки предыдущего года за апрель — ноябрь, если температура декабря выше $-1,5^\circ\text{C}$, то в расчет принимаются и осадки декабря.

При применении этой формулы для периода в 45 лет 80% всех ошибок не превышает 15% весеннего стока и только 2 находятся в пределах 30—40% сезонного стока.

Кроме этой формулы, исключительно для целей предсказаний весеннего стока, составлена другая формула такого вида:

$$h = 1,83 H + 0,667 N + 0,053 q - 22,2,$$

где:

h — весенний сток у Киева в мм;
 H — средне-декадный максимум снега в бассейне Днепра до Киева, взятый до 3-й декады февраля включительно;
 N — осадки по дождемерам за март; если максимум снега был в первую декаду месяца, то берутся осадки этого и последующего месяца по март включительно;
 q — наименьший расход за зиму у Киева в $\text{м}^3/\text{сек}$, взятый в период установившегося ледостава.

Ошибки по этой формуле не превышают 26—30% сезонного стока для периода в 32 года, а в 90% всех случаев ошибки заключаются в пределах 16—20% сезонного стока.

Для определения и предсказания летнего стока выведена формула:

$$h = 0,15 (N_5 + N_7) + 0,1 N_6 - 10,5$$

где:

h — летний сток у Киева в мм за период июль — сентябрь,
 N — сумма месячных осадков в бассейне Днепра до Киева в месяцы, соответствующие поставленным индексам.

Ошибки при применении этой формулы не превышают 36% летнего стока (2 случая), а 76% всех ошибок находятся в пределах 16—20% летнего стока для периода в 46 лет.

Во второй части рассмотрены формулы весеннего стока акад. Е. В. Оппокова для Днепра у Киева и проф. Я. Т. Ненько для Киева, Мозира, Чернигова, Речицы. Формулы акад. Оппокова дают ошибки до 60% сезонного стока и в 50% общего числа лет ошибки находятся в пределах 16—20% стока.

Применение формулы проф. Я. Т. Ненько дало в ряде случаев явно ошибочные значения коэффициента „К“ для определения величины весеннего стока, когда $K=1$, а также значительные ошибки для всех пунктов, доходящие до 100% сезонного стока.

Вновь предложенные формулы в общем правильно отражают колебания сезонных значений стока и дают результаты, лучшие, чем по иным предложенным формулам.

Dipl.-Ing. A. I. Prjadschenko

Über die hydrometeorologischen Abhängigkeiten zur Berechnung des jahreszeitlichen Wasserabflusses (für den Dnieprstrom nächst Kiew)

Zusammenfassung

Der Verfasser vorliegender Arbeit berichtet über die Resultate der von ihm angestellten Untersuchungen zur Festlegung der Abhängigkeiten zwischen den jahreszeitlichen Abflussmengen des Dnieprstromes nächst Kiew und den hydrometeorologischen Faktoren im Bereiche des Stromgebiets.

Bei Durchführung einer eingehenden Analyse der Wechselbeziehungen zwischen Abfluss und den Faktoren des letzteren, gewann Verf. recht zufriedenstellende Abhängigkeiten verschiedener Art für die frühjährliche und die sommerliche Jahreszeit. Diese Abhängigkeiten spiegeln viel besser die Wirklichkeit wieder, als die schon vorhandenen, früher aufgezeigten. Die festgestellten Abhängigkeiten können vor allem für hydrologische Prognose ausgewertet werden. Abgesehen hiervon sind die vom Verfasser abgeleiteten Abhängigkeiten von Interesse im Sinne einer Klärung der Genese des Abflusses während der von ihm besprochenen Jahreszeiten.

Abschliessend prüft Verf. die Anwendbarkeit einiger Formeln sonstiger Autoren insbesondere die des Prof. J. Nenko unter den Verhältnissen des Dnieprstromes sowie dessen grösserer Zuflüsse nach, und zeigt, dass diese Formeln unter den Bedingungen der vorgenommenen Prüfung durchaus unbefriedigende Resultate ergeben haben.

Инж. М. В. Мялковський

Про можливість зарегулювання весняного стоку р. Дніпра водосховищами¹⁾

§ 1. Підходи до питання про можливість зарегулювання весняного стоку р. Дніпра та прийнята схема розрахунків

Питанню про можливість зарегулювання весняного стоку р. Дніпра водосховищами з метою запобігання катастрофічним повеням до цього часу майже ніхто не приділяв належної уваги.

Щодо цього можна вказати лиш на досить наближені підрахунки, або вірніше „прикидки“, що їх зробив проф. М. В. Терпугов у своїй доповіді Водному комітету У. Е. С.²⁾ В цій доповіді проф. Терпугов поряд з іншими заходами щодо захисту населених пунктів та підприємств від повеней на р. Дніпрі, не виключає можливості боротьби з ними регулюванням повідневого стоку водосховищами. Для цього він вважав необхідним затримувати у верхів'ях р. Дніпра у відповідних водосховищах близько 20 млрд. м³ води, себто близько половини весняного сумарного стоку р. Дніпра вище Києва для року з максимальною по висоті повіддю. Нагадаємо, що сумарний весняний стік р. Дніпра вище Києва для 1931 р., себто року з історично найвищим весняним гребенем, — становить близько 45 млрд. м³.

Акад. Є. В. Оппоков, розглядаючи це питання³⁾, цілком відкидає можливість зарегулювання весняного стоку р. Дніпра з метою запобігання високим повеням, посилаючись на приклади виконаних обчислень та здійснених заходів на інших ріках за кордоном (р. Міссісіпі та ін).

У зв'язку з проблемою Великого Дніпра, як відомо, передбачається збудування в системі р. Дніпра цілого ряду великих водосховищ з метою гідроенергетичного використання вод Дніпра, поліпшення судноплавних умов тощо; ці водосховища можна буде також використати як повеневі, себто з метою боротьби з великими поводами. Маючи на увазі, що ні проф. М. В. Терпугов, ні акад. Є. В. Оппоков, розглядаючи питання боротьби з поводами на р. Дніпрі через зарегулювання весняного стоку водосховищами, детальних підрахунків щодо цього не виконували і базували свої висновки лиш на грубих прикидках, автор цієї статті виконав деякі дослідження та детальні підрахунки в напрямі з'ясування питання про можливість зарегулювання весняного

¹⁾ Ця робота виконано ще в 1933 р. як частину дослідження про весняні поводи р. Дніпра; це останнє дослідження виконувалося під керівництвом проф. А. В. Огієвського на завдання Укрдипроводу.

²⁾ Проф. Н. В. Терпугов, Мероприяття по боротьбі с наводненнями (доклад на засіданні Водного комітета).

³⁾ Акад. Є. В. Оппоков, О рациональных мерах борьбы с наводнениями в бассейне р. Днепра и об использовании его высоких весенних вод в интересах с. х., Вісті Н.-д. і-ту в. г. У, Т. IV, ч. 2, Київ, 1931.

стоку р. Дніпра та впливу зарегулювання ріки на формування максимальних витрат та рівнів по довжині ріки.

Щоб з'ясувати можливість зарегулювання весняного стоку р. Дніпра та визначити необхідні регуляційні об'єми водосховищ для різних градацій зарегулювання і встановити примірне розміщення цих водосховищ, прийнято таку схему розрахунків.

За основні розрахункові пункти взято м. Київ, як замикаючий створ для стоку з головних приток, м. Чернігів на р. Десні, Мозир — на р. Прип'яті, Гомель на р. Сожі та Речиця у верхів'ї р. Дніпра, по яких є оброблені багатолітні характеристики стоку¹⁾.

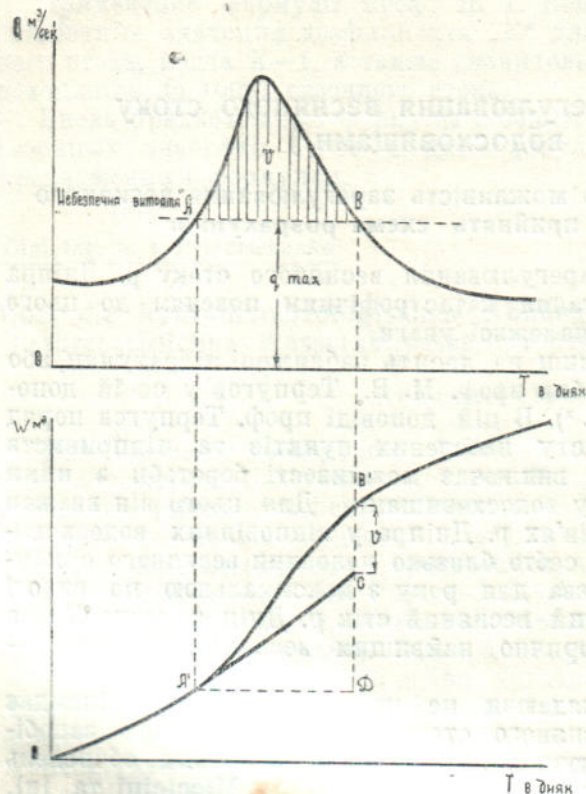


Рис. 1. Схема визначення регуляційного об'єму методом сумарних кривих.

Для дослідження можливості зарегулювання весняного стоку р. Дніпра взято п'ять весняних поведій, спостережених на р. Дніпрі біля Києва і характерних по висоті та ймовірності їх настання в багатолітній перспективі, а саме:

- 1) найвища повідь за весь період спостережень біля Києва, що була в 1931 р., ймовірність настання якої можна оцінити приблизно один раз на 100 років;
- 2) наступна по висоті повідь в 1917 р. з повторюваністю один раз на 50 років;
- 3) повідь 1908 р. з повторюваністю один раз в 20—25 років;
- 4) повідь, яка може повторюватися один раз в 10 років, якою для дослідження прийнято повідь, спостережену в 1915 р. і

5) повідь, що може траплятися кожних 5 років, а саме — спостережена в 1916 р.

Поставлене завдання найзручніше розв'язувати графічним методом. Для цього для цих характерних п'яти поведій будемо графіки припливу води в часі, тобто гідрографи, для пунктів, прийнятих вище за розрахункові: Києва, Чернігова, Мозиря, Гомеля та Речиці. При цьому Київ вважаємо основним замикаючим пунктом. Для зручності графічних підрахунків суміщаємо гідрографи по Чернігову, Гомелю, Мозирю та Речиці з Києвом за строками добігання води від цих пунктів до Києва.

Відповідні строки добігання від кожного пункта до Києва прийнято такі:

| | Число днів |
|--------------------|------------|
| Чернігів | 4 |
| Мозир | 5 |
| Гомель | 7 |
| Речиця | 7 |

¹⁾ Проф. А. В. Огневский, Режим стока верхнего и среднего Днепра, Киев, 1932.

На тому ж рисунку під гідрографами з тією ж віссю часу (в календарі) будемо сумарні криві припливу для відповідних пунктів, для важкої розрахункової поводи (див. рис. 3—7 наприкінці статті).

Користуючись виконаними побудованнями, установлюємо залежність для Києва між q_{\max} , себто максимальною витратою при зарегулюванні ріки і необхідним для цього сумарним регуляційним об'ємом водосховищ V .

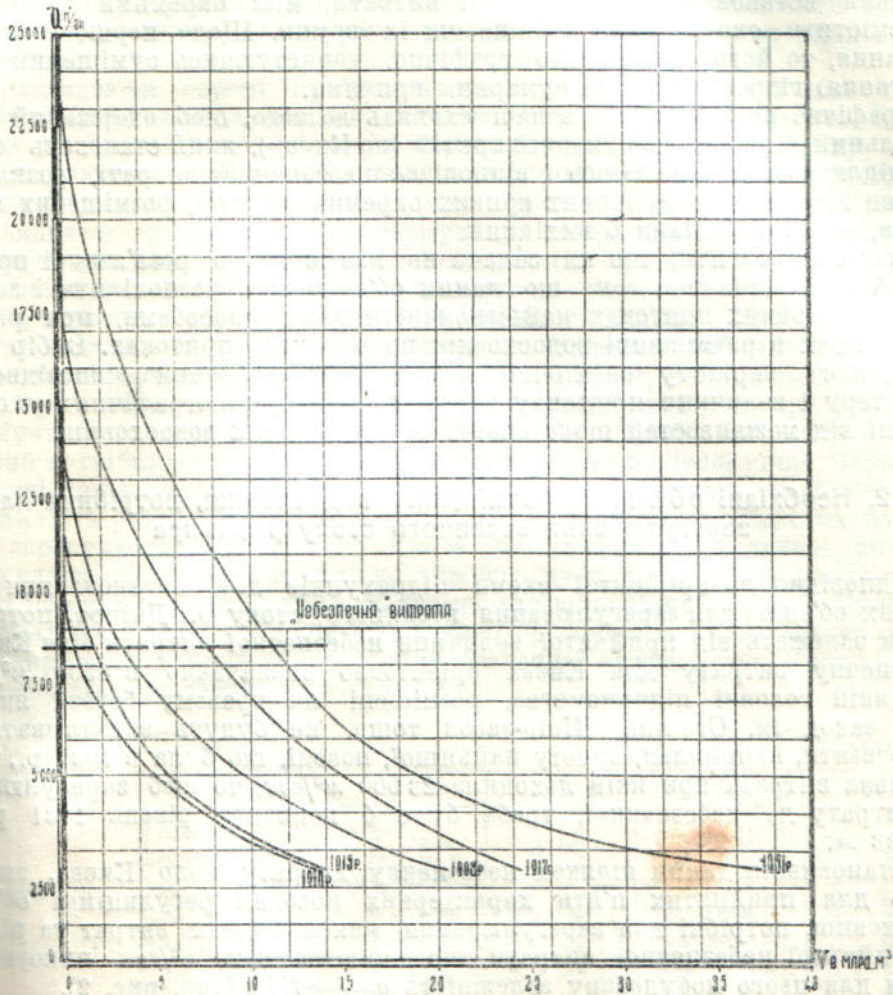


Рис. 2. Залежності зарегульованих максимумів біля Києва від сумарних регуляційних об'ємів вище Києва.

Залежність $q_{\max} = f(V)$ установлюємо з такого припущення: якщо ми зрівнюємо графік припливу по Києву на будь якій висоті горизонтальною лінією, то площа частини гідрографа, що міститься вище лінії зрізу, дорівнюватиме об'ємові води, яку потрібно затримати вище Києва, щоб максимальна витрата при цьому відповідала лінії зрізу. Схематично це показано на рис. 1 (див. верхню частину цього рисунка).

Зрівнюючи гідрограф на різних висотах, одержуємо ряд значень q_{\max} та V , за яким будемо графіки $q_{\max} = f(V)$ для п'яти характерних поведій; ці графіки вміщуємо на одному рисунку (див. рис. 2).

Будуючи графіки $q_{\max} = f(V)$, для уникнення зайвого планіметрування площ застосовуємо метод сумарних кривих, як це схематично показано на рис. 1. Установивши потім небезпечну витрату біля Києва, проводимо на рис. 2 лінію „небезпечної“ витрати, що дає змогу визначити необхідні об'єми для зарегулювання даної витрати для прийнятих п'яти характерних поведій. Дальша задача підрахунків сходиться до того, щоб розподілити одержані сумарні регуляційні об'єми, потрібні для зарегулювання встановленої небезпечної витрати, між окремими притоками і розмістити окремі водосховища чи їх групи. Щодо першої частини завдання, то його розв'язуємо графічно, користуючись суміщеними (на добігання) гідрографами та сумарним кривими.

Графічне розв'язування задачі сходиться до того, щоб одержаний вертикальний відрізок на сумарній кривій (по Києву), який становить об'єм, що підлягає зарегулюванню і відповідає небезпечній витраті, розкласти на ряд відрізків по сумарних кривих окремих пунктів, розміщених вище Києва, які в сумі дали б вихідний.

Треба відзначити, що ця задача не має єдиного розв'язку і припускає багато варіантів, тому що даний об'єм можна розподілити і затримати на окремих притоках найрізноманітнішими способами, при різних комбінаціях в розміщенні водосховищ по окремих притоках. Вибір найвигіднішого варіанту остаточно може бути зроблений відповідно до характеру і величини припливу окремих приток, топографічних умов та взагалі від можливостей щодо спорудження великих водосховищ.

§ 2. Необхідні об'єми та розміщення водосховищ, потрібних для зарегулювання весняного стоку р. Дніпра

Відповідно до прийнятої схеми підрахунків для встановлення потрібних об'ємів для зарегулювання весняного стоку р. Дніпра, потрібні об'єми залежать від прийнятої величини небезпечної витрати біля Києва. Небезпечну витрату для Києва орієнтовно визначаємо в $8500 \text{ м}^3/\text{сек}$, при якій головні підприємства, розміщені на правому березі, як от ЦЕС, завод ім. Сталіна, Шкір-завод тощо, не будуть затоплюватися. Якщо взяти, наприклад, висоту найвищої, поведі, що була в 1931 р., максимальна витрата при якій доходила $23000 \text{ м}^3/\text{сек}$, то щоб зарегулювати цю витрату до небезпечної, треба було б понизити рівень 1931 року на 2,33 м.

Встановивши таким шляхом небезпечну витрату коло Києва, визначаємо для прийнятих п'яти характерних поведій регуляційні об'єми водосховищ, потрібні для зарегулювання максимальних витрат та рівнів до прийнятої небезпечної витрати, що дорівнює $8500 \text{ м}^3/\text{сек}$, використовуючи для цього побудовану залежність $q_{\max} = f(V)$ (див. рис. 2).

Одержані результати зводимо в табл. 1.

Таблиця 1

| Календарний рік поведі коло Києва | Максимальна витрата Q_{\max} в $\text{м}^3/\text{сек}$ | Максимальний рівень H_{\max} над „0“ графіка в см | Ймовірн. настання в % | Потрібні регуляційні об'єми в мільярдах м^3 | Характеристика повторюваності максимуму (на скільки років 1 раз) |
|-----------------------------------|--|---|-----------------------|--|--|
| 1931 | 23000 | 640 | 1 | 11,500 | 100 |
| 1917 | 17500 | 573 | 2 | 7,600 | 50 |
| 1908 | 13390 | 506 | 4 | 3,200 | 25 |
| 1915 | 11485 | 474 | 10 | 1,500 | 10 |
| 1916 | 9462 | 433 | 20 | 0,500 | 5 |

З наведеної таблиці видно, що для зарегулювання найвищої поводи, яка була в 1931 р., потрібно затримати вище Києва 11,5 млрд. м³ весняної води. Як бачимо, ця величина потрібного регуляційного об'єму майже вдвоє менша за цифру, що її дав проф. Терпугов¹⁾ і майже в 1,30 раза менша, ніж сумарний регуляційний об'єм водосховищ першої черги першого варіанту запроєктованих Укрдіпроводом на Верхньому Дніпрі в зв'язку з проблемою Великого Дніпра (який складає 14,5 млрд. м³). Розміщення одержаних регуляційних об'ємів можна здійснити різними способами, бо задача ця, як уже зазначалося вище, не має єдиного розв'язання.

Розглядаючи окремі притоки з погляду їх придатності для збудування великих водосховищ, виключаємо перш за все р. Прип'ять. Виключення р. Прип'яті від участі в зарегулюванні весняного стоку можна обґрунтувати, з одного боку, незадовільними для цієї мети топографічними умовами, а з другого — своєрідним гідрологічним режимом р. Прип'яті. Розглядаючи та аналізуючи формування максимальних гребенів коло Києва, можна констатувати незбігання гребенів Прип'яті з проходом гребенів поводи коло Києва. А через це р. Прип'ять на максимальну висоту коло Києва, а також всього Середнього та Нижнього Дніпра значно не впливає.

Розглядаючи гідрографи, суміщені за строками добігання води, для п'яти характерних пунктів: Київ, Чернігів, Гомель, Речиця та Мозир (див. рис. 3—7), бачимо, що майже для всіх високих поведій, гребень Києва формується за рахунок Чернігова, Речиці та Гомеля. Виходячи з цього, будемо потрібні регуляційні об'єми розміщати на р. Десні вище Чернігова, р. Сожі вище Гомеля та Верхньому Дніпрі вище Речиці. Щоб з'ясувати можливість затримування потрібних об'ємів води вище згаданих пунктів для зарегулювання Q_{\max} коло Києва до прийнятої безпечної витрати, порівняємо сумарний приплив до кожного пункту за період регулювання з потрібними регуляційними об'ємами для відповідної поводи. Сумарний приплив до окремих пунктів визначаємо графічно за відповідними сумарними кривими припливу в межах небезпечної витрати по Києву. Одержані результати зводимо до табл. 2.

Таблиця 2

| Пункт | 1931 р. | | 1917 р. | | 1908 р. | | 1915 р. | | 1916 р. | | |
|--------------|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| | Сумарний приплив за період регулювання в млрд. м ³ | Потрібний регуляційний об'єм в млрд. м ³ | Сумарн. приплив за період регулювання в млрд. м ³ | Потрібний регуляційний об'єм в млрд. м ³ | Сумарний приплив в млрд. м ³ | Потрібний регуляційний об'єм в млрд. м ³ | Сумарний приплив в млрд. м ³ | Потрібний регуляційний об'єм в млрд. м ³ | Сумарний приплив в млрд. м ³ | Потрібний регуляційний об'єм в млрд. м ³ | |
| Київ . . . | 7,5 | 11,5 | 7,9 | 7,6 | 7,4 | 3,2 | 3,2 | 1,5 | 5,6 | — | |
| Гомель . . . | 5,2 | | 4,5 | | 4,2 | | 2,9 | | | | 1,8 |
| Речиця . . . | 6,2 | | 3,1 | | 3,7 | | 3,0 | | | | 2,3 |
| Разом . . . | 18,5 | — | 15,5 | — | 15,3 | — | 9,1 | — | — | — | |

Як видно з табл. 2, сумарний приплив за період регулювання в усіх випадках з лишком перебільшує потрібні регуляційні об'єми.

¹⁾ Н. В. Терпугов, Мероприяття по боротьбі з наводненнями.

Як зазначалося, одержані регуляційні об'єми можуть бути розміщені порівному, залежно від різних міркувань. Виходячи з чисто гідрологічних міркувань, розподілімо їх пропорціонально процентному співвідношенню сумарного стоку з відповідних частин басейнів приток коло відповідних пунктів, до всього регульованого сумарного стоку з басейну (Гомель + Чернігів + Речиця). Результати підрахунків зводимо в табл. 3.

Таблиця 3

| № | Пункт | Сумарний приплив за період регулювання в млн м ³ | % від сумарного припливу | Прийняті об'єми зарегулювання в млн м ³ |
|----------|--------------------|---|--------------------------|--|
| 1931 рік | | | | |
| 1 | Речиця | 6200 | 33 | 3770 |
| 2 | Чернігів | 7500 | 40 | 4600 |
| 3 | Гомель | 5200 | 27 | 3130 |
| | Разом | 18 900 | 100 | 11 500 |
| 1917 рік | | | | |
| 1 | Речиця | 3100 | 20 | 1520 |
| 2 | Чернігів | 7900 | 51 | 3800 |
| 3 | Гомель | 4500 | 29 | 3130 |
| | Разом | 15 500 | 100 | 7600 |
| 1908 рік | | | | |
| 1 | Речиця | 3700 | 24 | 770 |
| 2 | Чернігів | 7400 | 50 | 1600 |
| 3 | Гомель | 4200 | 26 | 830 |
| | Разом | 15 300 | 100 | 3200 |
| 1915 рік | | | | |
| 1 | Речиця | 3000 | 33 | 500 |
| 2 | Чернігів | 3300 | 35 | 530 |
| 3 | Гомель | 2900 | 32 | 470 |
| | Разом | 9200 | 100 | 1500 |
| 1916 рік | | | | |
| 1 | Речиця | 2300 | 41 | 200 |
| 2 | Чернігів | 1500 | 27 | 140 |
| 3 | Гомель | 1800 | 32 | 160 |
| | Разом | 5600 | 100 | 500 |

Одержавши таким способом розподіл регуляційних об'ємів між головними притоками р. Дніпра, себто по Десні, Сожу та Верхньому Дніпру вище Речиці, далі треба було б розмістити окремі водосховища та побуду-

вати графіки їх роботи так, щоб вони в наслідок своєї паралельної роботи зарегулювали відповідні максимуми до таких, що не перевищували б небезпечні.

Зазначмо, що окремі водосховища можна розміщати залежно від багатьох міркувань, як от: топографічних, геологічних, господарсько-економічних та значною мірою гідрологічних умов.

Щодо гідрологічних умов, то можна відзначити, що невдало запроектовані водосховища інколи можуть в кращому випадку зовсім не впливати на хід поводи в нижче розміщених пунктах ріки, а в окремих випадках навіть і збільшувати висоту повідневих вод.

Отже розміщення окремих водосховищ та проектування графіка роботи цілої системи повідневих водосховищ становить досить складне завдання, при розв'язанні якого слід брати на увагу: характер стоку з окремих частин басейну, проходження та збіг гребенів поводи з різних приток, строки добігання повідневих хвиль від різних частин басейну до даного пункта тощо.

Це завдання ще більше ускладнюється відсутністю багатолітніх гідрометричних спостережень для верхніх пунктів р. Дніпра та його приток, що примушує робити деякі припущення та приймати шлях теоретичного визначення деяких відсутніх даних.

Щоб одержати коло Києва задане зниження максимальних витрат, себто, щоб останні не перевищували встановленої небезпечної витрати, що дорівнює 8500 м³/сек, роботу всієї системи водосховищ побудуємо так:

Розіб'ємо всю систему водосховищ вище Києва на три групи: 1) Десенську групу — вище Чернігова; 2) Сожську групу — вище Гомеля та 3) Верхньодніпровську — вище Речиці. Вислідні графіки роботи окремих груп водосховищ для п'яти прийнятих поводи одержуємо графічно (див. рис. 3—7). На гідрографах для Києва проводимо горизонтальні лінії небезпечної витрати.

Точки перетину лінії небезпечної витрати з гідрографом визначають тривалість періоду регулювання для відповідного паводка, а площа частини гідрографа, розміщена вище лінії небезпечної витрати, дає потрібний регуляційний об'єм.

Проектуючи точки початку та кінця періоду регулювання графіка припливу по Києву на суміщені за строками добігання повідневої хвилі гідрографи по Чернігову, Гомелю та Речиці, одержуємо початок та кінець періодів регулювання для цих пунктів.

Ординати вище лінії зрізки по Києву, що підлягають зарегулюванню, розкладаємо відповідно на Чернігів, Гомель та Речицю, пропорціонально ординатам припливу до цих пунктів.

Так, наприклад, ординату, що підлягає зарегулюванню вище Чернігова, одержимо за таким рівнянням:

$$Q_r = Q_k \frac{Q_r}{Q_r + Q_G + Q_P},$$

де:
 Q_r — ордината, що підлягає зарегулюванню вище Чернігова;
 Q_k — витрата коло Чернігова, що відповідає даному моментові часу;
 Q_G та Q_P — відповідні витрати коло Гомеля і Речиці;
 Q_k — витрата, що підлягає зарегулюванню вище Києва.

Одержані таким способом ординати, що підлягають зарегулюванню для відповідного пункту, відкладаємо від точок на гідрографах цих пунктів вниз і кінці їх сполучаємо плавними лініями (див. рис. 3—7 наприкінці статті), які й становитимуть собою результуючі графіки роботи окремих груп водосховищ. Для перевірки правильності виконаних побудовань може

служити рівність суми площ, що містяться між лініями припливу та лініями скиду для відповідних пунктів (які становлять не що інше, як зарегульовані об'єми) з відповідною площею вище лінії зрізки по Києву.

Побудувавши таким способом графіки роботи окремих груп водосховищ, можна перейти до встановлення роботи кожного водосховища зокрема, виходячи вже з результуючого графіка роботи відповідної групи водосховищ.

Маючи на увазі, що споруджувати водосховища виключно повідневі недоцільно, а доцільно поєднувати їх з водосховищами іншого призначення, займатися конкретним розміщенням окремих водосховищ вище зазначених вихідних пунктів ми не будемо.

Виконані підрахунки дозволяють зробити висновок, що зарегулювання весняного стоку р. Дніпра з гідрологічного погляду, безперечно, здійснимо, а тому при дальшій розробці проблеми Великого Дніпра це питання ні в якому разі обминати не слід.

При зарегулюванні максимальної витрати по Києву до $8\,500\text{ м}^3/\text{сек}$, небезпека від катастрофічних поведій по Києву (не рахуючи Труханова острова) зникає. Цій витраті відповідає рівень 410 см (над „0“ графіка). За гідрографами, графіками роботи відповідних груп водосховищ та кривими зв'язку відповідних рівнів визначаємо відповідні максимальні зарегульовані рівні для деяких інших пунктів р. Дніпра, виходячи з поведі, що була в 1931 р. Результати подаємо в табл. 4.

Таблиця 4

| Пункт | Спостережений рівень H_{max} в см над 0 графіка | Зарегульований рівень h в см | Зниження в см |
|--------------------------|--|--------------------------------|---------------|
| Чернігів | 785 | 662 | 123 |
| Гомель | 685 | 510 | 175 |
| Речиця | 566 | 493 | 73 |
| Київ | 640 | 410 | 230 |
| Черкаси | 525 | 352 | 173 |
| Кременчук | 701 | 468 | 233 |
| Лоцм. Кам'янка | 678 | 345 | 333 |

Як бачимо з наведеної таблиці, майже для всіх головних пунктів р. Дніпра виключається небезпека шкідливого впливу високих весняних вод.

§ 3. Питання про вплив на формування максимальних витрат водосховищ першої черги за схемою Великого Дніпра

Розгляньмо питання про вплив зарегулювання р. Дніпра на формування максимальних витрат стосовно до водогосподарської схеми Великого Дніпра, а саме: з'ясуємо питання, як вплинуть запроєктовані бувшим Укрдніпроводом водосховища першої черги на хід поведі взагалі і зокрема на зниження максимумів коло головних пунктів р. Дніпра. Розміщення водосховищ першої черги показано на рис. 8. Головні характеристики водосховищ, запроєктованих вище Києва, наводимо в табл. 5.

Таблиця 5

| № | Водосховище | Площа басейну в км ² | Регуляц. об'єм в млн. м ³ | Мертвий об'єм в млн. м ³ | Повний об'єм в млн. м ³ |
|-----------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Дорогобузьке . . . | 6 800 | 1 430 | 100 | 1 530 |
| 2 | Смоленське | 17 700 | 4 700 | 100 | 4 800 |
| 3 | Оршинське | 17 394 | 1 000 | 100 | 1 100 |
| 4 | Березинське | 729 | 500 | 60 | 560 |
| 5 | Сожське | 5 170 | 840 | 50 | 890 |
| 6 | Вороне | 3 930 | 850 | 50 | 900 |
| 7 | Пісочне | 1 500 | 300 | 50 | 350 |
| 8 | Брянське | 12 224 | 1 350 | 100 | 1 450 |
| 9 | Трубчевське | 18 845 | 1 850 | 100 | 1 950 |
| 10 | Льговське | 9 640 | 1 330 | 100 | 1 430 |
| Разом | | | 14 500 | 8 10 | 15 310 |

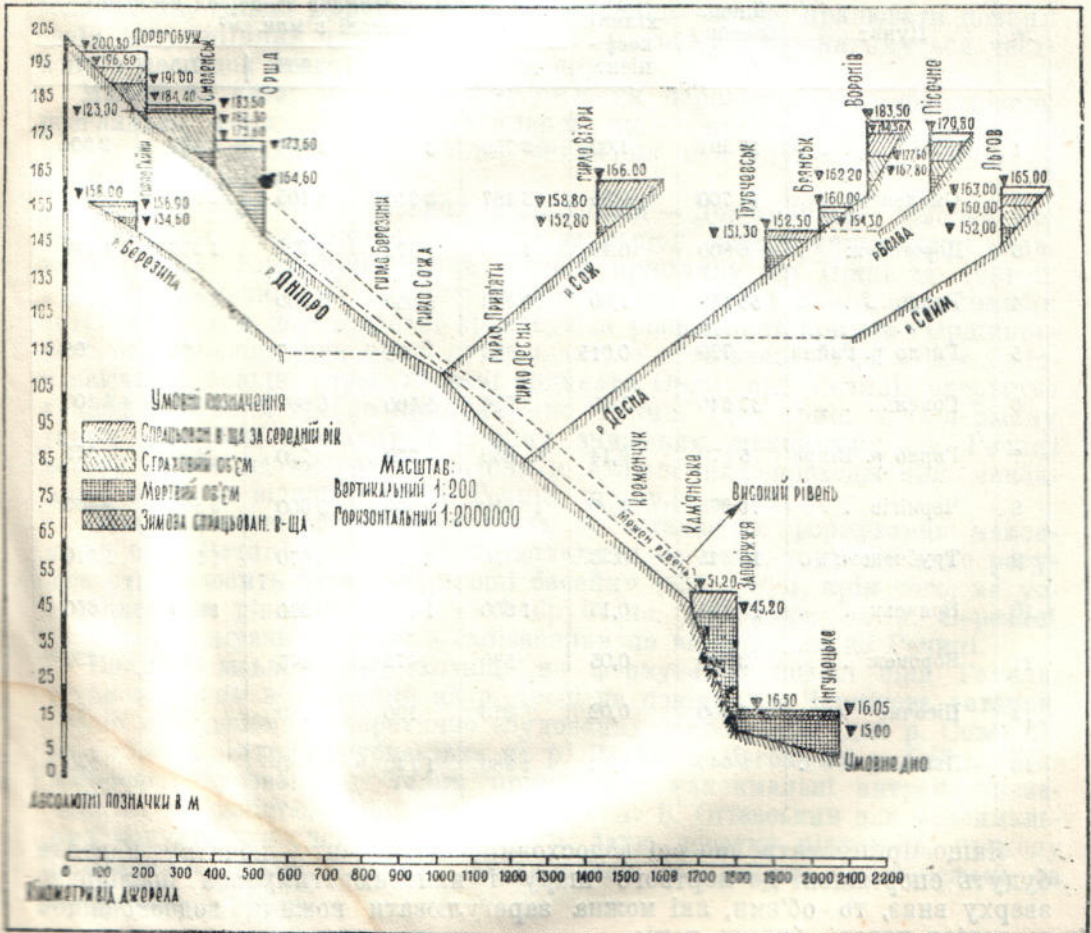


Рис. 8. Схема розташування водосховищ першої черги на р. Дніпрі за Укрдипроводом.

Щоб з'ясувати вплив запроєктованих водосховищ на формування максимальних витрат, розглядатимемо хід поводи та її трансформацію в окремі календарні роки. Для цього візьмемо ті ж самі п'ять років: 1931, 1917, 1908, 1915 та 1916, з характерними поводами.

Для врахування впливу на хід поводи кожного водосховища зокрема треба знати характер припливу до відповідного водосховища. Але в наслідок відсутності гідрометричних спостережень біля пунктів запроєктованих водосховищ (крім Орші), характер припливу до них можна було б приблизно встановити лиш теоретичним шляхом, не досить надійним. Для спрощення зробимо припущення, що сумарний весняний приплив до кожного з вищевказаних водосховищ пропорціональний тій площі басейну, яка відповідає кожному з водосховищ.

Тоді сумарний приплив до намічених водосховищ за період весняної поводи можна визначити, користуючись наявними даними: по Орші — для верхніх трьох водосховищ: Дорогобузького, Смоленського та Оршинського; по Речиці — для Березинського (гирло р. Гайни); по Гомелю — для Сожського (гирло р. Віхри), та по Чернігову — для групи десенських водосховищ. Загальний сумарний приплив до окремих водосховищ наводимо в табл. 6.

Таблиця 6

| № | Пункт | Площа басейну в км ² | Перехідний коефіцієнт | Сумарний приплив за період весняної поводи в млн. м ³ | | | | |
|----|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1931 | 1917 | 1908 | 1915 | 1916 |
| 1 | Орша | 17 394 | 1,00 | 3 750 | 3 930 | 4 830 | 3 425 | 2 990 |
| 2 | Смоленськ . . . | 14 700 | 0,85 | 3 187 | 3 340 | 4 105 | 2 911 | 2 542 |
| 3 | Дорогобуж . . . | 6 800 | 0,40 | 1 500 | 1 572 | 1 932 | 1 370 | 1 196 |
| 4 | Речиця | 55 149 | 1,00 | 10 400 | 5 000 | 5 800 | 5 000 | 6 500 |
| 5 | Гирло р. Гайни | 729 | 0,015 | 156 | 75 | 87 | 75 | 98 |
| 6 | Гомель | 37 540 | 1,00 | 5 950 | 5 500 | 5 500 | 4 200 | 4 100 |
| 7 | Гирло р. Віхри | 5 170 | 0,14 | 830 | 770 | 770 | 590 | 575 |
| 8 | Чернігів | 79 373 | 1,00 | 10 650 | 9 500 | 9 000 | 6 800 | 4 400 |
| 9 | Трубчевськ . . . | 18 845 | 0,23 | 2 450 | 2 175 | 2 070 | 1 560 | 1 010 |
| 10 | Брянськ | 12 224 | 0,15 | 1 600 | 1 420 | 1 350 | 1 020 | 660 |
| 11 | Воронеж | 3 930 | 0,05 | 530 | 475 | 475 | 340 | 220 |
| 13 | Пісочне | 1 500 | 0,02 | 215 | 190 | 180 | 136 | 88 |
| 13 | Льгов | 9 640 | 0,12 | 1 280 | 1 140 | 1 080 | 820 | 530 |

Якщо припустити, що всі водосховища до моменту початку паводка будуть спорожнені до мертвого шару і наповнюватимуться послідовно зверху вниз, то об'єми, які можна зарегулювати кожним водосховищем за період поводи, будуть такі:

Таблиця 7

| Водосховища | Об'єми в млн. м ³ | | | | |
|------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1931 | 1917 | 1908 | 1915 | 1916 |
| Дорогобузьке | 1 430 | 1 430 | 1 430 | 1 370 | 1 196 |
| Смоленське | 1 757 | 1 910 | 2 675 | 1 541 | 1 346 |
| Оршинське | 563 | 590 | 725 | 514 | 448 |
| Березинське | 156 | 75 | 87 | 75 | 98 |
| Сожське | 830 | 770 | 770 | 590 | 575 |
| Вороне | 530 | 475 | 450 | 340 | 220 |
| Брянське | 1 070 | 475 | 900 | 680 | 440 |
| Пісочне | 213 | 190 | 180 | 136 | 88 |
| Трубчевське | 637 | 565 | 540 | 414 | 262 |
| Льговське | 1 280 | 1 140 | 1 080 | 820 | 530 |

Порівнюючи дані табл. 7 і табл. 5, бачимо що при такому розміщенні водосховищ тільки Дорогобузьке водосховище зможе працювати повним своїм регуляційним об'ємом, решта ж водосховищ наповнитимуться частково в наслідок недостатнього припливу.

Маючи на увазі спільну роботу системи першочергових водосховищ, розгляньмо формування максимальної щодо висоти поводи, яка була в 1931 р. і підрахуємо відповідні зниження максимумів коло головних пунктів р. Дніпра.

Група верхньо-дніпровських водосховищ — Дорогобузьке, Смоленське та Оршинське, — затримує весь стік за період поводи вище Орші (див. табл. 6 і 7). Тому, сумістивши графік припливу по Орші за 1931 р. з графіком Речиці за строком добігання повідневої хвилі, прийнявши останній рівним шести добам, враховуючи рівномірний попуск з Оршинського водосховища для цілей судноплавства в кількості 88,5 м³/сек і віднімаючи відповідні зарегульовані ординати Орші від Речиці, одержимо трансформований графік припливу по Речиці (див. рис. 3). Одержано таким способом незначну величину зниження максимуму по Речиці всього на 500 м³/сек можна пояснити запізненням проходження максимуму Орші по відношенню до Речиці, що було в 1931 р.

Щодо березинського водосховища, то останнє на формування максимуму біля Речиці значною мірою вплинути не може, тому що воно регулює стік з досить незначної площі басейну (729 км²) і, крім того, як установлено за рівнями коло м. Бобруйська, максимум на р. Березині 1931 р. сформувався також з запізненням по відношенню до Речиці.

Вплив Сожського водосховища на формування поводи біля Гомеля, а також групи водосховищ на р. Десні на повідь біля Чернігова, встановлено при допомозі теоретично збудованих гідрографів для р. Сожа біля гирла р. Віхри, Трубчевська на р. Десні та Льгова на р. Сеймі. Гідрографи побудовано за таким принципом: максимальні витрати визначено за залежністю, побудованою проф. А. В. Огівським для максимальних модулів для системи р. Дніпра¹⁾; дати початку піднесення, проходження максимумів і кінців спадів установлено за даними спостережень за

¹⁾ Проф. А. В. Огівський, Формування максимумів р. Дніпра, 1933 (рукопис).

рівнями відповідно по Трубчевську, Пропойську для гирла р. Віхри, Мутино на р. Сейм для Льгова.

Зміщуючи теоретичні гідрографи на строки добігання відповідно до Гомеля і Чернігова для 1931 р. і маючи на увазі, що Сожське водосховище затримує весь весняний стік (див. табл. 6 і 7) за розрахунковий період, віднімаємо зарегульовані ординати од відповідних ординат Гомеля й одержуємо трансформований графік припливу біля Гомеля.

Таким же способом, але враховуючи постійний попуск з Трубчевського водосховища розміром $102 \text{ м}^3/\text{сек}^1$), віднімаємо суму зарегульованих ординат Трубчевська плюс Льгова з ординат гідрографа по Чернігову й одержуємо трансформацію хвилі поводі біля Чернігова.

Трансформацію хвилі поводі та зниження максимуму біля Києва одержимо графічно із суміщених за строками добігання гідрографів, віднімаючи суму зарегульованих ординат по Чернігову, Гомелю та Речиці від відповідних ординат на гідрографі по Києву. Для інших пунктів відповідні зниження максимумів визначаємо за кривими зв'язку відповідних рівнів. Одержані результати впливу водосховищ першої черги на таку повідь, яка була в 1931 р. зводимо в табл. 8.

Таблиця 8

| Пункт | У природному стані | | При регулюванні | | Зниження витрат $Q - q$ $\text{м}^3/\text{сек}$ | Зниження рівнів $H - h$ см |
|-------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---|
| | Q_{max} $\text{м}^3/\text{сек}$ | H_{max} см | q_{max} $\text{м}^3/\text{сек}$ | h_{max} см | | |
| Могилів | — | 745 | — | 81 | — | 664 |
| Речиця | 7 700 | 566 | 7 450 | — | 250 | — |
| Гомель | 5 880 | 685 | 4 880 | 632 | 1 000 | 53 |
| Чернігів | 7 910 | 788 | 4 000 | 652 | 3 910 | 136 |
| Київ | 23 000 | 640 | 18 600 | 587 | 4 400 | 53 |
| Черкаси | — | 525 | — | 512 | — | 13 |
| Кременчук | — | 701 | — | 666 | — | 35 |
| В.-Дніпровськ | — | 788 | — | 745 | — | 43 |
| Л. Кам'янка | — | 678 | — | 630 | — | 48 |

Як видно з табл. 8 водосховища першої черги при взятому їх розміщенні цілком усувають поводі біля Могилева та значно знижують біля Чернігова. Регулюючий вплив їх на нижче розміщені пункти зовсім незначний. Виконані підрахунки також показують, як значно зменшується регулюючий вплив водосховищ вниз по течії ріки.

У табл. 9 подаємо вплив окремих водосховищ та груп водосховищ на формування біля Києва поводі, яка була в 1931 р.

¹⁾ Дані про попуски взято із схеми Великого Дніпра Укрдніпроводу.

Таблиця 9

| Водосховища | Регуляційний об'єм водосховищ у млн. м ³ | Ефективний об'єм водосховищ в млн. м ³ | % використан. водосховищ | Зниж. витрат біля Києва в м ³ /сек | % ефективн. окремих водосховищ |
|------------------------|---|---|--------------------------|---|--------------------------------|
| Дорогобузьке | 1 430 | 1 430 | 100 | 500 | 11 |
| Смоленське | 4 700 | 1 757 | 37 | | |
| Оршинське | 1 000 | 234 | 23 | 0 | 0 |
| Березинське | 500 | 156 | 31 | | |
| Сожське | 840 | 830 | 99 | 1 000 | 21 |
| Брянське | 1 450 | 1 070 | 74 | 3 200 | 68 |
| Пісочне | 350 | 213 | 61 | | |
| Трубчевське | 1 950 | 282 | 14 | | |
| Льговське | 1 330 | 1 280 | 96 | | |
| Вороне | 850 | 830 | 97 | | |
| Разом | 14 400 | 7 782 | — | 4700 | 100% |

У цій таблиці ефективні об'єми водосховищ взято як фактичні регуляційні об'єми, які одержуємо, враховуючи сумарний приплив за період поводи 1931 р. до відповідних пунктів та рівномірні попуски із Оршинського та Трубчевського водосховищ в розмірі відповідно 88,5 м³/сек та 102,5 м³/сек. Процент використання окремих водосховищ визначено з порівняння одержаних відповідних ефективних об'ємів з регуляційними об'ємами, запроєктованими Укрдипроводом ¹⁾.

Зниження максимальної витрати біля Києва за рахунок окремих водосховищ та груп водосховищ визначено графічно (див. рис. 3). Процент ефективності окремих водосховищ та їх груп визначено з відношення величин зниження максимальної витрати біля Києва відповідним водосховищем (або групою їх) до загального зниження біля Києва.

Табл. 9 показує, що регулюючий вплив групи водосховищ, розміщених у верхів'ях р. Дніпра вище Речиці, на формування максимальної витрати біля Києва зовсім незначний. Це можна пояснити тим, що формування весняної поводи у верхів'ях р. Дніпра та Березини в 1931 р. відбулося з деяким запізненням проти низових пунктів та інших великих приток р. Дніпра. Найбільший регулюючий вплив дає група десенських водосховищ (процент ефективності їх дорівнює 68).

Але взагалі всі водосховища першої черги, як це видно з виконаних підрахунків, на зниження максимумів біля головних пунктів р. Дніпра значною мірою не вплинуть. Такий незначний регулюючий вплив водосховищ, запроєктованих Укрдипроводом, як першочергові, можна пояснити невеликим розміщенням цих водосховищ з погляду роботи їх як повідних. Ефект був би значно більший, коли б ці водосховища були розміщені нижче, себто коли була б можливість регулювання весняного стоку з більших площ басейнів.

Щоб з'ясувати, яку велику вагу має розміщення водосховищ на формування максимумів у низових пунктах, нижче подаємо підрахунки по зниженню максимумів для п'яти характерних поведій, що були в 1931, 1917, 1908, 1915 та 1916 рр., в припущенні іншого розміщення водосховищ.

Щоб порівняти одержаний від цього ефект з попереднім варіантом розміщення водосховищ (схема Укрдипроводу) візьмімо ті ж самі ефективні

¹⁾ Схема Великого Дніпра.

регуляційні об'єми водосховищ, але припустимо, що вони будуть розміщені значно нижче. Приймавши, що відповідні групи водосховищ будуть розміщені досить близько біля пунктів Речиці, Гомеля та Чернігова, будемо мати можливість регулювати стік із значно більших басейнів. Тоді, припустивши, що наростання скидних витрат відповідно біля Речиці, Гомеля та Чернігова відбуватиметься прямолінійно, одержимо для цих пунктів трансформовані графіки припливу, за якими таким же способом, як і в попередньому варіанті, одержимо відповідні величини зниження максимумів для низових пунктів; графічні побудовання до цих підрахунків наведено на рис. 3—7. Графіки скидних витрат біля пунктів Речиця, Гомель та Чернігів побудовано шляхом підбору так, щоб площа між прямою скидних витрат та графіком припливу дорівнювала відповідному ефективному регуляційному об'ємові. Одержані результати зниження максимумів для головних пунктів р. Дніпра для п'яти розрахункових поведій наводимо в табл. 10.

Таблиця 10

| Пункт | У природному стані | | При регулюванні | | Знижен. | Знижен. | Примітка |
|------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|--|--|--------------------------------|---|
| | Q_{\max} м ³ /сек | H_{\max} в с.м над "0" гра- фіка | q_{\max} м ³ /сек | h_{\max} в с.м над "0" графіка | витрат $Q_m - q_m$ м ³ /сек | рівнів $H_m - h_m$ в с.м | |
| Для поведі 1931 р. | | | | | | | |
| Могилів | — | 745 | — | 81 | — | 664 | |
| Речиця | 7 700 | 566 | 4 200 | 505 | 3 500 | 61 | |
| Гомель | 5 880 | 685 | 4 750 | 626 | 5 130 | 59 | |
| Чернігів | 7 910 | 783 | 5 500 | 702 | 2 410 | 81 | |
| Київ | 22 300 | 640 | 13 300 | 505 | 9 000 | 135 | |
| Черкаси | — | 525 | — | 450 | — | 75 | |
| Кременчук | — | 701 | — | 588 | — | 113 | |
| В.-Дніпровськ. | — | 788 | — | 662 | — | 126 | |
| Л. Кам'янка | 23 511 | 673 | — | 528 | — | 150 | Підпір від Запорізької ДЕС не взя- то на увагу |
| Кічкас | — | — | — | 680 | — | — | |
| Для поведі 1917 р. | | | | | | | |
| Могилів | — | 689 | — | 81 | — | 608 | |
| Речиця | 4 644 | 508 | 2 300 | 450 | 2 444 | 58 | |
| Гомель | 5 128 | 646 | 4 400 | 608 | 728 | 38 | |
| Чернігів | 8 030 | 785 | 4 600 | 674 | 3 430 | 111 | |
| Київ | 17 500 | 572 | 9 650 | 437 | 7 850 | 135 | |
| Черкаси | — | 503 | — | 370 | — | 133 | |
| Кременчук | — | 650 | — | 490 | — | 160 | |
| В.-Дніпровськ. | — | — | — | 550 | — | — | |
| Л. Кам'янка | — | 614 | — | 378 | — | 236 | |
| Кічкас | — | — | — | 570 | — | — | |

| Пункт | У природному стані | | При регулюванні | | Знижен. | Знижен. | Примітка |
|-------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|--|--------------------------------|----------|
| | Q_{\max} м ³ /сек | H_{\max} в с.м над 0 ^а гра фіка | q_{\max} м ³ /сек | h_{\max} в с.м над 0 ^а графіка | витрат $Q_m - q_m$ м ³ /сек | рівнів $H_m - h_m$ в с.м | |
| Для повіді 1908 р. | | | | | | | |
| Могилів | — | 721 | — | 81 | — | 640 | |
| Речиця | 3 825 | 54 | 2 000 | 441 | 1 825 | 495 | |
| Гомель | 5 018 | 640 | 4 250 | 600 | 768 | 40 | |
| Чернігів | 6 830 | 747 | 4 000 | 652 | 2 830 | 95 | |
| Київ | 13 390 | 506 | 8 000 | 395 | 5 390 | 111 | |
| Черкаси | — | 450 | — | 340 | — | 110 | |
| Кременчук | — | 597 | — | 452 | — | 145 | |
| В.-Дніпровськ. | — | — | — | 510 | — | — | |
| Л. Кам'янка | — | 527 | — | 328 | — | 199 | |
| Кічкас | — | — | — | 530 | — | — | |
| Для повіді 1915 р. | | | | | | | |
| Могилів | — | 661 | — | 81 | — | 580 | |
| Речиця | 4 184 | 504 | 1 500 | 417 | 2 674 | 87 | |
| Гомель | 4 834 | 629 | 4 250 | 600 | 584 | 29 | |
| Чернігів | 4 986 | 687 | 2 750 | 606 | 2 236 | 81 | |
| Київ | 11 485 | 474 | 5 900 | 323 | 5 585 | 151 | |
| Черкаси | — | 424 | — | 277 | — | 147 | |
| Кременчук | — | 546 | — | 372 | — | 174 | |
| В.-Дніпровськ | — | — | — | 410 | — | — | |
| Л. Кам'янка | — | 448 | — | 235 | — | 213 | |
| Кічкас | — | — | — | 430 | — | — | |
| Для повіді 1916 р. | | | | | | | |
| Могилів | — | 667 | — | 81 | — | 586 | |
| Речиця | 4 607 | 514 | 2 650 | 465 | 1 957 | 49 | |
| Гомель | 3 711 | 572 | 3 150 | 544 | 561 | 28 | |
| Чернігів | 3 136 | 623 | 2 300 | 584 | 836 | 39 | |
| Київ | 9 462 | 433 | 6 000 | 327 | 3 462 | 106 | |
| Черкаси | — | 375 | — | 282 | — | 93 | |
| Кременчук | — | 492 | — | 379 | — | 113 | |
| В.-Дніпровськ | — | — | — | 420 | — | — | |
| Л. Кам'янка | — | 388 | — | 240 | — | 148 | |
| Кічкас | — | — | — | 434 | — | — | |

Виконані обчислення, як видно з табл. 10 показують, що при прийнятому розміщенні водосховищ їх регулюючий вплив на зниження максимумів у низових пунктів значно більший, ніж за вищевказаною схемою Укрдипроводу (перший варіант). Якщо взяти на увагу, що при такому розміщенні водосховищ можна було б використати значно більші регуляційні об'єми, ніж прийняті нами, то можна було б одержати ще більші величини зниження максимумів і цілком запобігти катастрофічним поведом для головних пунктів Дніпра.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Потапов, Регулирование стока, Москва, 1933.
2. М. В. Потапов, К вопросу о расчете водосбросных сооружений при плотинах, „Вестник ирригации“, 1926, № 9.
3. М. В. Потапов, Графический расчет водохранилища при зависимости расхода от наполнения, „Труды Института гидротехники и мелиорации, т. VIII, 1925.
4. Акад. Е. В. Опшюков, О рациональных мерах борьбы с наводнениями в бассейне р. Днепра и об использовании его высоких весенних вод в интересах с.-х., „Вісті НДІВГУ“, т. IV, ч. 2, 1929—1930, Киев, 1931.
5. Проф. В. Н. Кандыба, Регулирование рек, Ленинград, 1927.
6. Грюневальд, Экономический расчет гидравлических силовых установок (пер. с нем.), М., 1929.
7. Инж. Королев, Метод регулирования стока при учете вредных потерь, „Материалы по гидролог., гидрограф. и водн. силам СССР“, вып. XII, М.-Л., 1932.
8. Д. И. Кочерин, Вопросы инженерной гидрологии, Москва, 1932.
9. Г. Д. Смарагдов, Речной сток, его регулирование для лесосплава, Москва, 1933.
10. Проф. В. І. Дейч, Загальна гідротехніка, Харків, 1930.
11. Проф. Н. В. Терпугов, Мероприятия по борьбе с наводнениями (Доклад на заседании водного комитета), 1929.
12. Проф. А. В. Огиевский, Режим стока верхнего и среднего Днепра, Киев, 1932.
13. Проф. Я. Т. Ненъко, Работа поймищ, „Вісті НДІВГУ“, т. V, ч. 1, 1930.
14. Докт. инж. Шоклитш, Графическая гидравлика, Москва, 1927.

Инж. М. В. Мялковский

О возможности зарегулирования весеннего стока р. Днепра водохранилищами

Резюме

В настоящей работе рассмотрен вопрос о возможности зарегулирования весеннего стока р. Днепра водохранилищами с целью предотвращения катастрофических наводнений. Для исследования возможности зарегулирования весеннего стока р. Днепра принято пять весенних половодий, характерных по высоте и вероятности их наступления, наблюдавшихся в 1931, 1917, 1908, 1915 и 1916 годах.

В результате выполненных автором исследований установлено, что для зарегулирования до безопасных размеров такого весеннего половодья (исторически наивысшего), которое имело место в 1931 г. на р. Днепре у Киева, необходимо задержать в водохранилищах системы р. Днепра выше Киева около 11,5 млрд. м³ весенней воды, что составляет почти четвертую часть суммарного весеннего стока р. Днепра выше Киева для 1931 г., как это видно из рис. 2 и табл. 1. Эта величина суммарного регуляционного объема, необходимая для зарегулирования самого высокого наблюдавшегося половодья, т. е. 11,5 млрд. м³, оказывается меньше суммарного регуляционного объема группы водохранилищ, запроектированных Укрдипроводом на Верхнем Днепре выше Киева как первооче-

редных в связи с проблемой Большого Днепра; этот последний объем составляет, как это видно из табл. 5, 14,5 млрд. м³.

Путем детальных подсчетов, имевших целью установить влияние водохранилищ на формирование и снижение весенних максимумов на р. Днестре, показано, какое огромное влияние имеет расположение водохранилищ по длине реки.

В частности, выяснено, что регулирующее влияние водохранилищ, запроектированных Укргипрводом как первоочередных (схематическое расположение их приведено на рис. 8), на максимумы весеннего половодья в среднем и нижнем течении р. Днестра совсем незначительно; так, например, влияние этих водохранилищ на формирование половодья, имевшего место в 1931 г., сказывается снижением наивысшего горизонта у Киева всего на 0,53 м (см. рис. 3). Такое незначительное влияние первоочередных водохранилищ на снижение весенних максимумов на р. Днестре объясняется неудачным расположением этих водохранилищ с точки зрения их работы, как паводочных водохранилищ, т. е. в результате того, что эти водохранилища расположены таким образом, что они могут регулировать весенний сток со сравнительно незначительных площадей бассейнов и поэтому не могут даже использовать полностью запроектированных регулиционных объемов. Значительно больший эффект был бы для снижения весенних максимумов в среднем и нижнем течении р. Днестра, если бы эти водохранилища, даже с теми же эффективными регулиционными объемами, расположить ниже по течению. Выполненные подсчеты снижения максимумов при ином расположении водохранилищ, но с теми же эффективными регулиционными объемами, целиком это подтверждают; результаты указанных подсчетов представлены на рис. 3—7 и в табл. 10.

Выполненное исследование и детальные подсчеты приводят автора к заключению, что зарегулирование весеннего стока р. Днестра водохранилищами с целью борьбы с наводнениями с гидрологической и технической точек зрения вполне возможно, и поэтому при дальнейшей разработке проблемы Большого Днестра этот вопрос ни в коем случае не должен быть обойден.

Киев

1. IV 1935

Dipl.-Ing. M. W. Mialkowski

Über die Möglichkeit der Regulierung des frühjährlichen Wasserabflusses des Dnieprstromes mittels Talsperren

Zusammenfassung

In vorliegender Arbeit wird die Frage über die Möglichkeit der Regulierung des Frühjahrsabflusses des Dniepr mittels Talsperren, zwecks Vorbeugung katastrophischer Überschwemmungen, behandelt. Für die Erforschung vorerwähnter Frage wurden fünf Frühlingshochwässer gewählt, die in den Jahren 1931, 1917, 1908, 1915 und 1916 zur Beobachtung gelangten, und die charakteristisch waren im Sinne ihrer Höhe und ihres wahrscheinlichen Auftretens.

Als Endresultat der vom Verf. angestellten Untersuchungen hat sich ergeben, dass für die Regulierung des im Jahre 1931 im Dniepr, nächst Kiew, stattgehabten (historisch höchsten) Frühjahrschhwassers bis zu dessen Unschädlichkeit, gegen 11,5 Milliarden m³ Frühjahrswasser in Wasserreservoirs innerhalb des Stromgebiets des Dniepr oberhalb Kiews aufzuhalten

gewesen wären, d. i. ein Betrag, der nahezu dem vierten Teil des gesamten Frühlingsabflusses des Dniepr oberhalb Kiews im Jahre 1931 gleichkommt, wie dies aus Fig. 2 und Tabelle I ersichtlich ist. Die Grösse des für den Rückhalt des höchstbeobachteten Hochwassers benötigten Summationsvolumens, nämlich, wie schon erwähnt, von 11,5 Milliarden m^3 , steht immerhin nach dem Gesamtrauminhalt zu 14,5 Milliarden m^3 (cf. Tab. 5) einer Gruppe von Wasserbehältern für Regulierungszwecke, die vom UkrGiprovd (Ukrainisches Staatsinstitut für das Projektieren von Wasseranlagen), im Zusammenhang mit dem Problem des Gross-Dniepr, am Oberdniepr oberhalb Kiews, projektiert worden und in erster Linie auszuführen ist.

Mit Hilfe eingehender Berechnungen, die darauf hiezieten, den Einfluss der Talsperren auf Formierung und Absinken des frühjährlichen Höchstwassers im Dniepr festzulegen, wurde die enorme Bedeutung der Situation der Talsperren längs dem Fluss aufgezeigt.

Insbesondere ist klargelegt worden, dass die regulierende Wirkung der vom UkrGiprovd in erster Linie projektierten Talsperren (schematisch wird deren Anordnung in Fig. 8 gezeigt) auf die frühjährlichen Höchstwasser im Mittel- und im Unterlauf des Dniepr durchaus unbedeutend ist. So sollte sich, beispielsweise, der Einfluss besagter Talsperren auf die Formierung des Hochwassers von 1931 bloss in einem Absinken des höchsten Wasserstandes bei Kiew im Betrage von 0,93 m^3 auswirken (s. Fig. 3). Ein so geringer Einfluss der in erster Linie zu errichtenden Talsperren auf das Absinken der Frühlingshöchststände des Dniepr lässt sich durch die für ihre Leistungsfähigkeit missliche Lage dieser Talsperren, als Hochwasserreservoirs, erklären. Sie sind nämlich in der Weise gelegen, dass sie den Frühlingsabfluss nur von verhältnismässig unbedeutlichen Flächen der Flussgebiete rückhalten können, weshalb die projektierten Regulationsvolumina nicht vollauf ausgenützt werden. Erheblich grösser wäre der Wirkungseffekt hinsichtlich einer Erniedrigung der Frühlingshöchstwasser im Dnieprmittel- und Unterlauf, falls man diese Talsperren, selbst bei gleichen für den Rückhalt wirksamen Rauminhalten derselben, stromabwärts anordnete. Vollauf wird dies erhärtet durch die vorgenommenen Berechnungen des Absinkens der Höchststände bei einer anderen Anordnung der Lage der Talsperren und gleich effektiven Volumina für den Rückhalt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tab. 10 enthalten.

Die ausgeführten Untersuchungen, sowie detaillierte Berechnungen, lassen Verf. zur Schlussfolgerung gelangen, dass eine Regulierung des frühjährlichen Wasserabflusses des Dniepr unter Zuhilfenahme von Wasserreservoirs, zwecks Bekämpfung der Überschwemmungen, vom hydrologischen und technischen Standpunkte aus betrachtet, durchaus möglich ist. Aus diesem Grunde sollte bei weiterer Ansarbeitung des Gross-Dniepr-Problems diese Frage durchaus nicht ausser Acht gelassen werden.

Q м³/сек

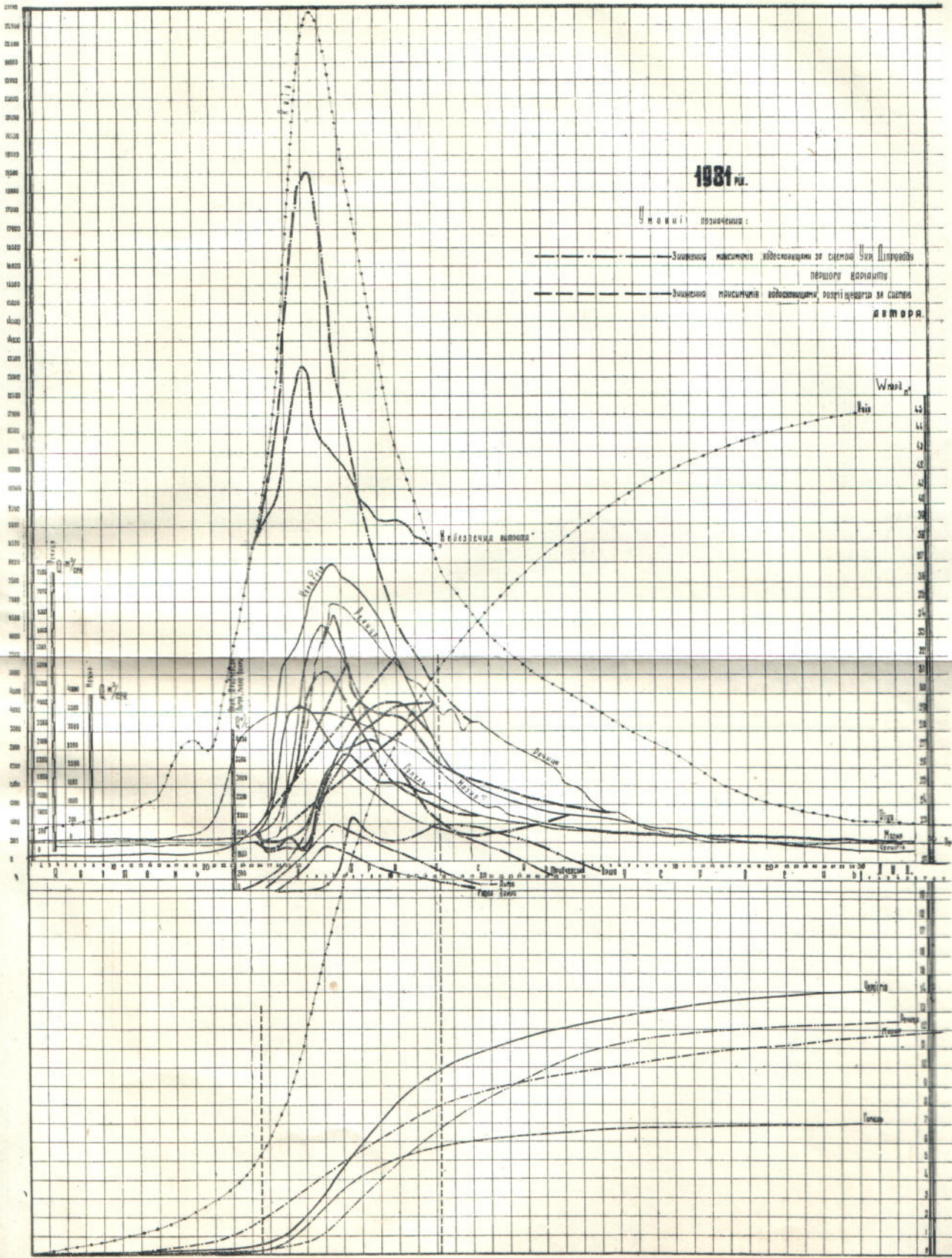


Рис. 3. Графічний розрахунок зниження максимумів на р. Дніпрі в-ми, розташованими за схемою укрідєну (кол. укріпроводу) та автора для поводи 1931 року.

Q^м/сек

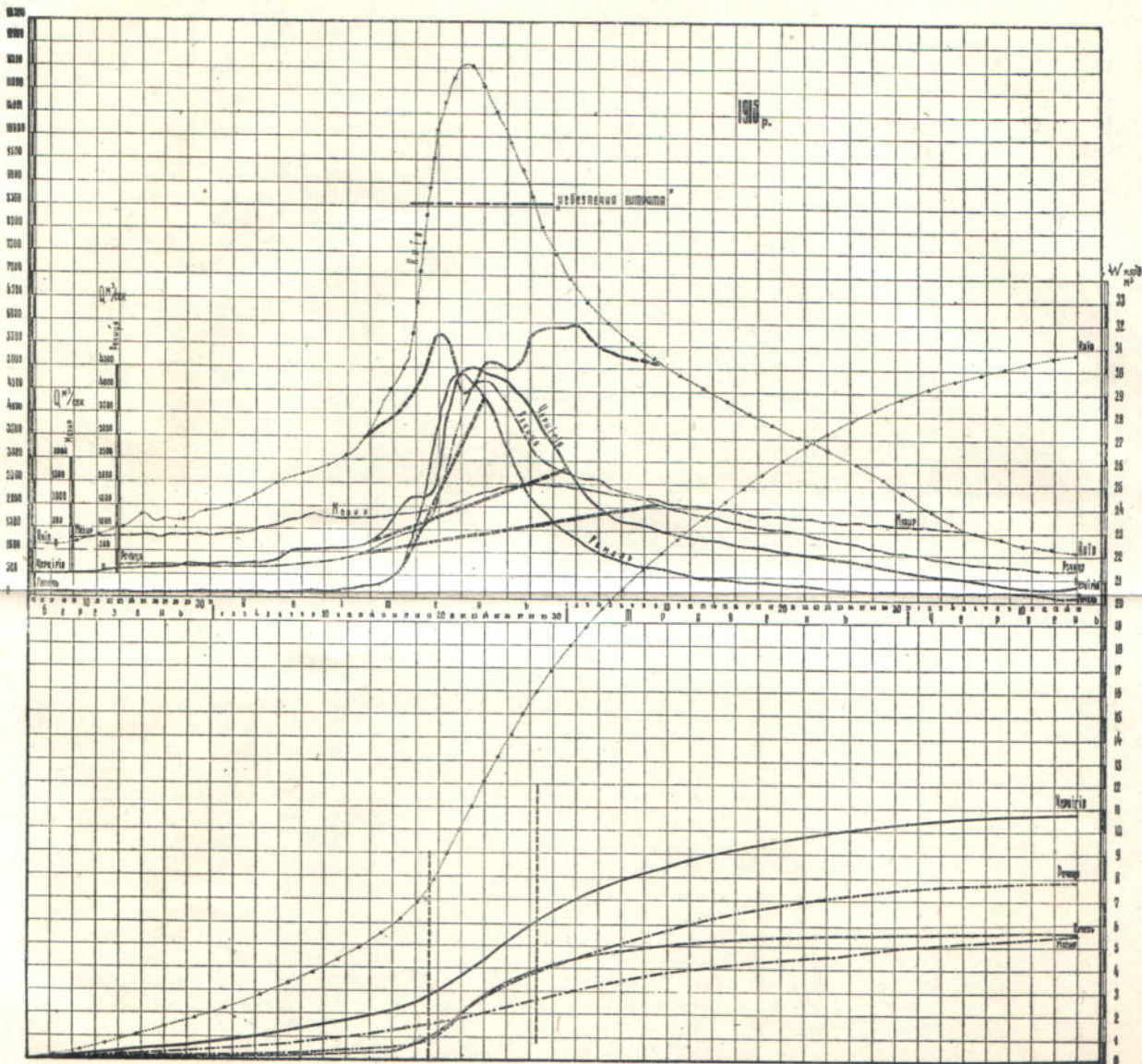


Рис 6. Графічний розрахунок зниження максимумів на р. Дніпрі водосховищами розташованими за схемою автора для повіді 1915 року.

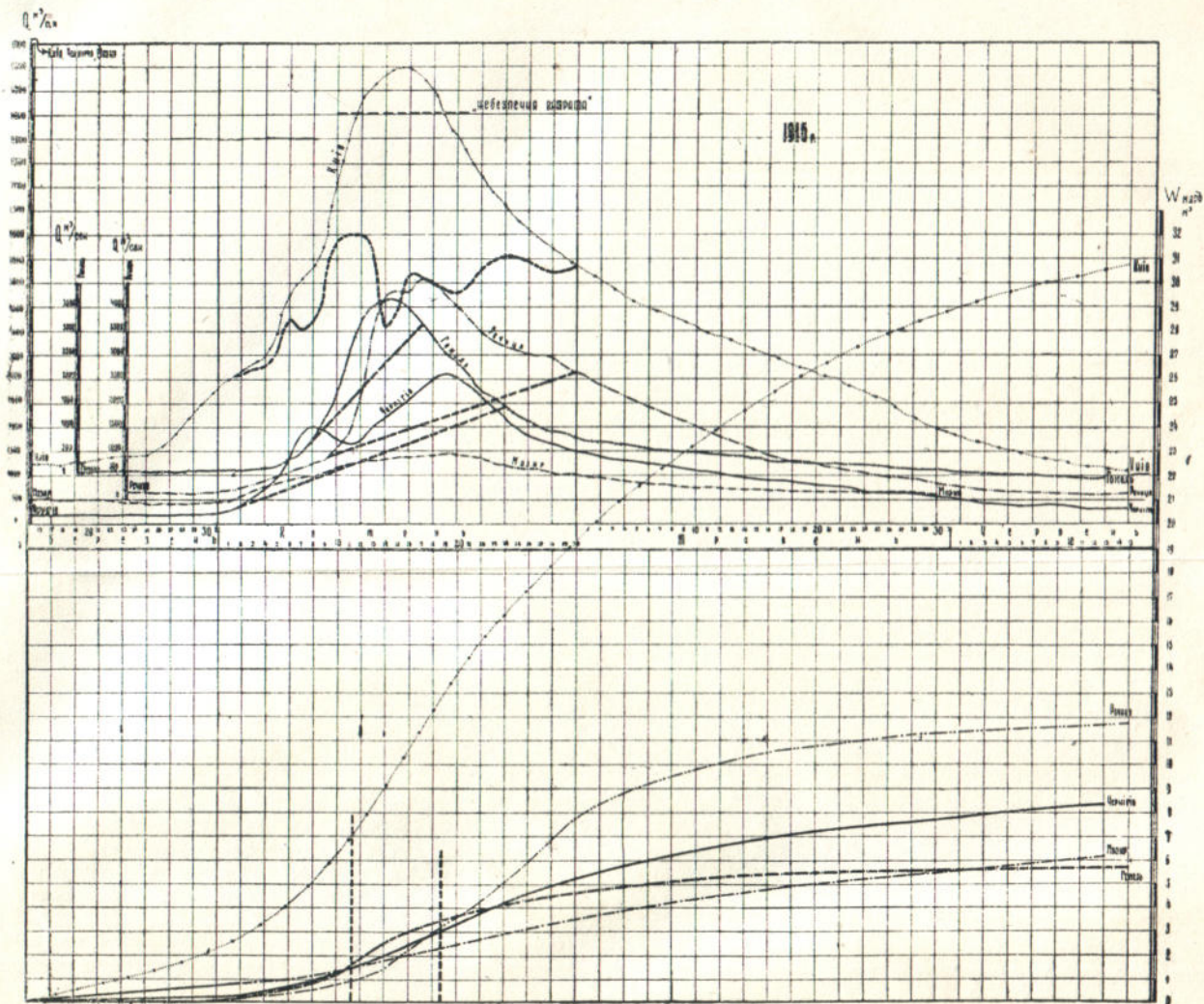


Рис. 7. Графічний розрахунок зниження максимумів на р. Дніпрі водосховищами, розташованими за схемою автора для поводи 1916 року.

Інж. М. В. Мялковський

До питання про застосування в гідрології кривої розподілу Шарльє

§ 1. Застосування в гідрології кривих розподілу

За останні роки в практиці гідрологічних досліджень для встановлення ймовірних відхилень річного та максимального стоку від норми досить широко почали застосовувати статистичні криві розподілу.

Вперше в гідрологічних дослідженнях криві розподілу застосували американські інженери Хазен [17]¹⁾ та Фостер [16]¹⁾. У Радянському Союзі ці криві особливо широко застосовуються в гідрологічній практиці з часу появи праці Д. Л. Соколовського „Применение кривых распределения к установлению вероятных колебаний годового стока рек Европейской части СРСР“ (Москва, 1930).

В математичній статистиці та в різних галузях прикладних наук застосовують той або інший тип кривої розподілу (яких існує чимала кількість), залежно від характеру і природи досліджуваних явищ. Для дослідження річкового стоку Фостер прийняв III тип кривої Пірсона. Цього ж типу кривої розподілу застосовують у практиці водного господарських розрахунків і в нас. Не зупиняючись на викладі цього типу кривої розподілу та порядку її практичного застосування, про що досить докладно сказано в працях Д. Л. Соколовського і Крицького та Менкеля [6], відзначмо, що застосування III типу кривої Пірсона в гідрологічних дослідженнях викликає деякі заперечення. Взагалі Пірсонові криві розподілу, про що слушно зазначає бригада авторів з Комакадемії під керівництвом Хотимського в праці „Статистика“ [7], є суто формальними і з методологічного боку навіть шкідливими. Зокрема III тип кривої Пірсона, що характеризується додатною асиметрією, нижньою межею якої є подвоєне значення коефіцієнта варіації, себто $C_s \geq 2C_v$, де C_s — коефіцієнт асиметрії, а C_v — коефіцієнт варіації, не охоплює всіх випадків розподілу, що можуть бути в сукупностях гідрологічних характеристик.

Безпосередні обчислення коефіцієнта асиметрії C_s для рік, по яких є багатолітні гідрометричні спостереження над стоком, показують, що в багатьох випадках коефіцієнти C_s бувають менші за нижню теоритичну межу для III типу кривої Пірсона, себто $C_s < 2C_v$. Обчислення коефіцієнтів асиметрії для розподілу річних модульних коефіцієнтів, виконані автором для п'ятнадцяти рік СРСР з багатолітніми спостереженнями над стоком показали, що майже в усіх випадках $C_s < 2C_v$. При чому для р. Дніпра біля Лоцманської Кам'янки (період спостережень — 53 роки) та для р. Прип'яті біля Мозиря (період спостережень — 53 роки) $C_s = 0$, а для р. Дніпра біля Києва (період спостережень — 54 роки) одержано від'ємну асиметрію, себто $C_s = -0,14$.

¹⁾ Див. список літератури наприкінці статті.

Це говорить про те, що розподіл річного стоку далеко не завжди вкладається в III тип кривої Пірсона, а тому застосовувати її у всіх випадках, як це рекомендують у своїх роботах Д. Л. Соколовський і Крицький та Менкель, виправдуючи це застосування лише простотою даного типу кривої нам здається не зовсім доцільно і з методологічного погляду невірною. Питання вибору відповідного типу кривої розподілу для дослідження гідрологічних характеристик не можна вважати на даному етапі розробки цього питання скількибудь задовільно розв'язаним.

Маючи на увазі вищезгадане, автор в порядку постановки ставить питання про заміну кривої розподілу Пірсона III типу кривою розподілу більш відповідного типу.

Вихідна думка щодо цього та, щоб для кожного конкретного розподілу гідрологічних характеристик підібрати таку криву розподілу, яка відповідала б даному фактичному матеріалові. З цього погляду найбільш придатним типом кривої розподілу для дослідження гідрологічних явищ, на наш погляд, буде крива розподілу, розроблена представником скандинавської школи математиків Charlier. Ця крива розподілу відрізняється, без сумніву, значно більшою гнучкістю і не має ознак догмативності, що є характерним моментом для теорії Пірсона. Як відомо, крива розподілу Шарльє з успіхом застосовується в лісовій справі, в зв'язку та в інших галузях прикладних наук, і має значну перевагу проти інших типів кривих розподілу, як придатна для будь-якого розподілу, що не дуже відхиляється від нормального.

§ 2. Вивід рівняння функції розподілу Шарльє

Нижче ми подаємо вивід рівняння розподілу Шарльє, запозичений у проф. С. Н. Бернштейна [9] та у проф. В. В. Голубева [8] з деякими змінами та спрощеннями, внесеними автором.

Нехай рівняння якогось розподілу буде $f(x)$, рівняння нормального розподілу буде

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \tag{1}$$

де

e — основа натуральних логарифмів,
 x — нормована величина ознаки.

Якщо даний розподіл $f(x)$ буде нормальний або досить близький до нормального, то:

$$\frac{f(x)}{\varphi(x)} = 1;$$

в загальному ж випадку можна написати:

$$\frac{f(x)}{\varphi(x)} = F(x) \tag{2}$$

Цю функцію $F(x)$ звать пертурбаційною функцією. Якщо її знайдено, то:

$$f(x) = F(x) \cdot \varphi(x) = \frac{F(x)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \tag{3}$$

$F(x)$ наближено можна добрати у вигляді полінома

$$P(x) = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + \dots + A_m x^m \tag{4}$$

Тоді наближено можна написати

$$f_1(x) = \frac{P(x)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (5)$$

Відхилення наближеної функції розподілу $f_1(x)$ від фактичного розподілу найкраще можна схарактеризувати коефіцієнтом дисперсії, або точності, що має вираз:

$$H = \frac{1}{q-1} \cdot \frac{(Y_1 - Y)^2}{Y}, \quad (6)$$

де

q — число інтервалів, на яке розбито даний ряд;

Y_1 — наявний фактичний розподіл — $f(x)$;

Y — теоретична функція того ж розподілу — $f_1(x)$

Отже коефіцієнт точності H можна записати:

$$H = \frac{n}{q-1} \sum \frac{\left\{ \int_{x_i}^{x_{i+1}} [f(x) - f_1(x)] dx \right\}^2}{\int_{x_i}^{x_{i+1}} f_1(x) dx} \quad (7)$$

Вважаючи, що інтервали (x_i, x_{i+1}) досить малі, можна кожен член останньої суми замінити на:

$$\frac{\left\{ \int_{x_i}^{x_{i+1}} [f(x) - f_1(x)] dx \right\}^2}{\int_{x_i}^{x_{i+1}} f_1(x) dx} = \frac{[f(x) - f_1(x)]^2 (x_{i+1} - x_i)^2}{f_1(x) (x_{i+1} - x_i)} = \frac{[f(x) - f_1(x)]^2 (x_{i+1} - x_i)}{f_1(x)} \quad (8)$$

Тоді

$$H = \frac{n}{q-1} \sum \frac{[f(x) - f_1(x)]^2 (x_{i+1} - x_i)}{f_1(x)} \quad (9)$$

Взявши число інтервалів, рівне числу значень змінної, себто $q = n$, при значному n , можна вважати дріб $\frac{n}{q-1}$ наближено за рівну одиниці. Крім того, замінюючи суму інтегралом, можна написати H у вигляді:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[f(x) - f_1(x)]^2 dx}{f_1(x)} \quad (10)$$

Тому що $f_1(x) = \frac{P(x)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$, підставляючи в (10) матимемо:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{f(x) - \frac{P(x)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}}{\frac{P(x)}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}} \right]^2 dx = \sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[f(x) - \frac{P(x) e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right]^2 \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{P(x)} dx \quad (11)$$

Коефіцієнти A_0, A_1, A_2, \dots полінома $P(x)$ підбираємо так, щоб останній інтеграл обернути в мінімум.

У дійсності відшукування мінімуму згаданого інтеграла, де $f_1(x)$ є дана функція, являє собою складну математичну задачу, що її без ніякої шкоди можна спростити, відкинувши знаменника $P(x)$ в підінтегральній функції. Міняючи в дужках порядок членів та відкидаючи знаменник $P(x)$ одержимо:

$$H_1 = \sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{(A_0 + A_1 x + \dots + A_m x^m) e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} - f(x) \right|^2 e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (12)$$

Для знаходження мінімуму за правилами диференціального числення треба від цього виразу взяти часткові похідні по A_0, A_1, \dots, A_m та прирівняти їх нулеві. Прирівнюючи нулеві похідну по будьякому A_h , одержимо:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{(A_0 + A_1 x + \dots + A_m x^m) e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} - f(x) \right] x^h dx = 0 \quad (13)$$

Надаючи тут $h = 0, 1, 2, \dots, m$, одержимо $m + 1$ рівнянь з $m + 1$ невідомими A_0, A_1, \dots, A_m . Розв'язуючи їх, знайдемо невідомі нам коефіцієнти пертурбаційного многочлена. Останнє рівняння (13) можна ще написати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{A_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^h e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} h x^{h+1} e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \dots + \frac{A_m}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^{m+h} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^h dx = a_h \end{aligned} \quad (14)$$

Права частина останнього рівняння являє собою загальний вираз для звичайних статистичних моментів довільного степеня h .

Можна довести, що при парному h :¹⁾

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^h e^{-\frac{x^2}{2}} dx = (h-1)(h-3) \dots 3 \cdot 1 \sqrt{2\pi} \quad (15)$$

При непарному h :

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^h e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 0 \quad (16)$$

При цьому зазначмо, що:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (17)$$

¹⁾ Вивід див. у В. В. Голубєва [8].

$$\int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = a_1 = 0 \quad (18)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx = 1 \quad (19)$$

Перше впливає з основної властивості функції розподілу, решта — з припущення, що наш розподіл нормований, себто, що центр міститься в початку координат і середній квадратичний відхил дорівнює одиниці.

Виходячи з цього, можна визначити коефіцієнти пертурбаційного многочлена, задаючи його степінь.

Почнімо з простішого випадку. Нехай степінь пертурбаційного полінома буде дорівнювати 2. Тоді пертурбаційний поліном матиме вигляд:

$$P_x = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 \quad (20)$$

А рівняння для визначення коефіцієнтів A_0 , A_1 і A_2 наберуть такого вигляду:

$$1) \frac{A_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \quad (21)$$

$$2) \frac{A_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^3 e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad (22)$$

$$3) \frac{A_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^3 e^{-\frac{x^2}{2}} dx + \frac{A_2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^4 e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx \quad (23)$$

Спростивши ці рівняння, матимемо:

$$A_0 + A_2 = 1; \quad A_1 = 0; \quad A_0 + 3A_2 = 1;$$

а звідси:

$$A_0 = 1; \quad A_1 = 0; \quad A_2 = 0;$$

інакше кажучи, коли поліном $P(x)$ брати не вищий, як другого степеня, тоді $P(x) = 1$; отже маємо випадок нормального розподілу, що здійснюється функцією

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

Розгляньмо ще випадок, коли $h = 4$, себто пертурбаційний многочлен має вигляд

$$P(x) = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + A_3 x^3 + A_4 x^4 \quad (24)$$

Тоді маємо п'ять рівнянь:

$$1) A_0 + A_2 + 3A_4 = 1;$$

$$2) A_1 + 3A_3 = 0;$$

$$3) A_0 + 3A_2 + 15A_4 = 1;$$

$$4) 3A_1 + 15A_3 = a_3;$$

$$5) 3A_0 + 15A_2 + 105A_4 = a_4$$

Розв'язуючи цю систему та покладаючи:

$$\frac{a_4 - 3}{8} = E \quad (25)$$

$$\frac{a_3}{2} = S \quad (26)$$

знаходимо:

$$A_0 = 1 + E; \quad A_1 = -S; \quad A_2 = -2E; \quad A_3 = \frac{S}{3}; \quad A_4 = \frac{E}{3},$$

де

$$E = \frac{a_4 - 3}{8} = \frac{1}{8} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^4 dx \right] \text{ зветься ексцесом, а } S = \frac{a_3}{2} = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^3 dx$$

— асиметрію. Підставляючи знайдені коефіцієнти у вираз пертурбаційного многочлена, одержимо:

$$P(x) = 1 + E - Sx - 2Ex^2 + \frac{S}{3}x^3 + \frac{E}{3}x^4 = 1 - S\left(x - \frac{x^3}{3}\right) + E\left(1 - 2x^2 + \frac{x^4}{3}\right) \quad (27)$$

Можна було б ще підвищити степінь полінома, але на практиці цього не роблять, бо похибка обчислень послідовних моментів за статистичними даними збільшується, коли росте h .

При невеличкому n обчислення третього та четвертого моментів, що характеризують асиметрію S і ексцес E , приводить уже до значних похибок. Функція розподілу, якщо поліном $P(x)$ взяти четвертого степеня ($h=4$), набере такого вигляду:

$$f_1(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \left[1 - S\left(x - \frac{x^3}{3}\right) + E\left(1 - 2x^2 + \frac{x^4}{3}\right) \right] \quad (28)$$

Останньому рівнянню можна надати ще іншого вигляду, в якому воно звичайно застосовується в обчисленнях. Послідовно беручи з виразу

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

похідні, одержимо:

$$\varphi'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} (-x); \quad (29)$$

$$\varphi''(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} (x^2 - 1); \quad (30)$$

$$\varphi'''(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} (3x - x^3) = \frac{3}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \left(x - \frac{x^3}{3}\right) \quad (31)$$

$$\varphi^{IV}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} (3 - 6x^2 + x^4) = \frac{3}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \left(1 - 2x^2 + \frac{x^4}{3}\right) \quad (32)$$

Звідси, користуючись виразом $\varphi'''(x)$ і $\varphi^{IV}(x)$, одержимо:

$$f_1(x) = \varphi(x) - \frac{S}{3} \varphi'''(x) + \frac{E}{3} f^{IV}(x) \quad (33)$$

Це і є в остаточному вигляді диференціальне рівняння функції розподілу Шарльє.

§ 3. Аналіз кривої розподілу Шарльє

Аналізуючи цю функцію, бачимо, що крива буде симетрична, коли $S=0$ і буде збігатися з нормальною кривою розподілу (Гауса), коли крім того, ексцес $E=0$.

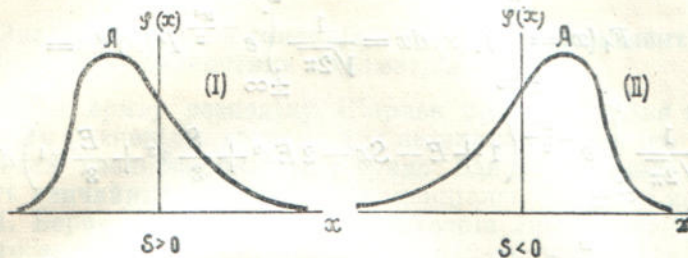


Рис. 1. Вплив асиметрії на вигляд кривої розподілу.

З вигляду функції $f_1(x)$ (33) видно, що коли $E > 0$, тоді центральна ордината кривої ($x=0$) дорівнює $\frac{1+E}{\sqrt{2\pi}}$, тобто перебільшує ординату відповідної нормальної кривої (цим пояснюється походження терміну „ексцес“),

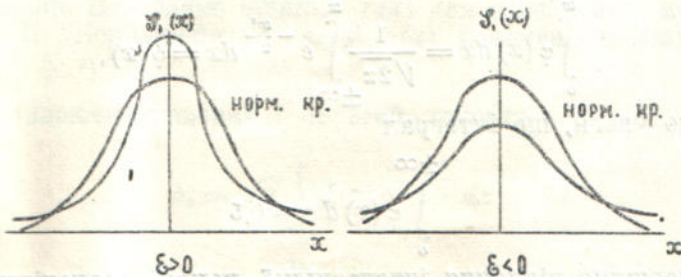


Рис. 2. Вплив ексцесу на вигляд кривої розподілу.

і навпаки, менша за останню, коли $E < 0$. Можна перекопатись (обмежувачись випадком $S=0$), що функція $f_1(x)$ не ставатиме від'ємною лише при умові, що $0 < E \leq \frac{1}{2}$; отже, коли $E > \frac{1}{2}$, то $f_1(x)$ стає від'ємною, що, очевидно, неможливо, бо функція розподілу своїм визначенням завжди додатна. Щодо від'ємних ексцесів, то взагалі ніколи не буває $E < -\frac{1}{4}$, бо $a_4 \geq a_3^2 + 1$; але коли $E < 0$, тоді $f_1(x)$ завжди стає від'ємною для великих значень (x); лише коли E дуже мале, тоді практично це не дуже

заважає; практично досить, щоб $E \ll \frac{1}{10}$, бо тоді $f_1(x)$ стає від'ємною, лиш коли $(x) \geq 3$.

Коли $S \geq 0$, тоді крива асиметрична; коли асиметрія додатна ($S > 0$), ординати близько центра спадають зліва направо; і навпаки, коли асиметрія від'ємна ($S < 0$), то крива близько центра зростає зліва направо (див. рис. 1 і 2).

У будьякому нормованому розподілі (себто, коли $\sigma = 1$), що не дуже відхиляється від нормального віддалення від центра до моди наближено дорівнює асиметрії S , при чому мода лежить ліворуч од центра, коли асиметрія додатна, і праворуч, коли від'ємна.

§ 4. Рівняння інтегральної функції розподілу Шарльє

Переходячи від диференціальної функції розподілу до інтегральної, знаходимо:

$$F_1(x) = \int_{\pm\infty}^x f_1(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\pm\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} P(x) dx = \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\pm\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} \left(1 + E - Sx - 2Ex^2 + \frac{S}{3}x^3 + \frac{E}{3}x^4 \right) dx,$$

або:

$$F_1(x) = \int_{\pm\infty}^x \left[\varphi(x) dx - \frac{S}{3} \varphi^{III}(x) dx + \frac{E}{3} \varphi^{IV}(x) dx \right] = \\ = \int_{\pm\infty}^x \varphi(x) dx - \frac{S}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{III}(x) dx + \frac{E}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{IV}(x) dx \quad (34)$$

Значивши:

$$\int_0^x \varphi(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\pm\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \psi(x), \quad (35)$$

та взявши до уваги, що інтеграл

$$\int_0^{\pm\infty} \varphi(x) dx = 0,5$$

остаточно одержимо рівняння інтегральної кривої розподілу, у вигляді, придатному для практичного застосування;

$$F_1(x) = \psi(x) - \frac{S}{3} \psi^{III}(x) + \frac{E}{3} \psi^{IV}(x) + 0,5 \quad (36)$$

Отже для збудування інтегральної кривої розподілу Шарльє треба знайти $\psi(x)$, $\psi^{III}(x)$, $\psi^{IV}(x)$ S та E , а для цього спочатку треба обчислити середньоарифметичні ознаки $M - M_0$ та середній квадратичний відхил $\sigma = \frac{\sqrt{\Sigma(M - M_0)^2}}{n - 1}$, тому що функцію розподілу $F_1(x)$ виведено при умові,

що розподіл нормований, себто $\omega = \frac{M - M_0}{\sigma}$

Для значень $\phi(x)$, $\phi'''(x)$ та $\phi^{IV}(x)$ в таблиці¹⁾ для різних значень x — від 0 до 4,0.

Для визначення параметрів асиметрії S та ексцесу E потрібно обчислити третій та четвертий звичайні моменти, a_3 та a_4 , тому що:

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{a_3}{\sigma^3} \quad (37)$$

$$E = \frac{1}{8} \cdot \frac{a_4 - 3}{\sigma^4} \quad (38)$$

Обчислення звичайних статистичних моментів третього та четвертого степеня при невеликому n , як відомо, може приводити до значних похибок, що треба мати на увазі особливо в гідрологічних дослідженнях, де нам доводиться мати справу з обмеженими рядами гідрометричних спостережень.

§ 5. Застосування експоненціально зважених моментів для визначення параметрів S та E

Щоб зробити криву розподілу Шарльє придатною для застосування її до будьякого розподілу, зокрема для невеликих рядів, що мають місце в гідрологічних дослідженнях, застосуємо для визначення параметрів S та E замість звичайних моментів експоненціально зважені моменти, як це зробив С. Н. Бернштейн у своїй праці „Теорія ймовірностей“.

Для цього замість звичайних моментів будемо розглядати моменти зважені. Загальний вираз для експоненціально зваженого момента довільного степеня h має вигляд:

$$b_h = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) x^h \rho(x) dx \quad (39)$$

де

b_h — експоненціально зважений момент довільного степеня h ;

$\rho(x)$ — вага, що її надаємо функції $f(x)$ для визначення моменту.

Проф. С. Н. Бернштейн за вагу $\rho(x)$ рекомендує взяти функцію

$$\rho(x) = \sqrt{2} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (40)$$

Далі, розглядаючи нульовий і перший моменти:

$$b_0 = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (41)$$

$$b_1 = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (42)$$

знаходимо ще два рівняння, що можуть замінити рівняння звичайних моментів 3-го й 4-го порядків. Використаємо експоненціальне зважування b_0 і b_1 , щоб обчислити пертурбаційний поліном $P(x)$ четвертого степеня, себто коли $h=4$. В даному разі 1-е, 2-е і 3-є рівняння (див. с. 208), з яких визначаємо A_0 , A_1 , A_2 , A_3 і A_4 лишаються незмінними, а замість 4-го й 5-го маємо відповідно:

¹⁾ Див. додаток I.

²⁾ Коефіцієнт $\sqrt{2}$ взято для того, щоб $b_0=1$, у випадку нормального розподілу.

$$A_0 + \frac{A_2}{2} + \frac{3A_4}{4} = b_0; \quad \frac{A_1}{2} + \frac{3A_3}{4} = b_1$$

Розв'язуючи останню систему рівнянь, знаходимо:

$$A_1 = 4b_1; \quad A_0 = 4b_0 - 3; \quad A_3 = \frac{4}{3}b_1; \quad A_2 = 8(1 - b_0); \quad A_4 = \frac{4}{3}(b_0 - 1)$$

Отже для ексцесу E і асиметрії S знаходимо нові значення:

$$E = 4(b_0 - 1) \quad (52); \quad S = -4b_1 \quad (43)$$

Зрозуміло, що ці значення взагалі не будуть збігатися з попередніми, якщо пертурбаційний множник не є поліном 4-го степеня.

Експоненціально зважені нульовий та перший моменти можна наближено визначати, замінивши інтеграли сумами:

$$\sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{x^2}{2}} dx \approx \sqrt{2} \sum y_i e^{-\frac{x_i^2}{2}} = b_0 \quad (44)$$

$$\sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) e^{-\frac{x^2}{2}} dx \approx \sqrt{2} \sum x_i y_i e^{-\frac{x_i^2}{2}} = b_1; \quad (45)$$

де y_i — відносні частоти по інтервалах. Значення $e^{-\frac{x^2}{2}}$ можна брати з таблиці, наведеної в кінці роботи в додатку II. У цій таблиці подано значення $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$, отже табличні значення для виразу b_0 і b_1 слід помножити на $\sqrt{2\pi}$, а тому остаточно, стосовно до згаданої таблиці, вирази для b_0 і b_1 , запишуться:

$$b_0 = 2\sqrt{\pi} \sum y_i \varphi(x) \quad (46)$$

$$b_1 = 2\sqrt{\pi} \sum x_i y_i \varphi(x) \quad (47)$$

Для випадку, коли n невелике, ряд на інтервали краще не розбивати, тоді нульовий та перший експоненціально зважені моменти слід визначати за формулами:

$$b_0 = \frac{2\sqrt{\pi}}{n} \sum \varphi(x) \quad (48)$$

$$b_1 = \frac{2\sqrt{\pi}}{n} \sum x_i \varphi(x) \quad (49)$$

§ 6. Стійкість параметрів S та E , обчислених за методом експоненціально зважених моментів

Обчислення ексцесу E та асиметрії S для річних значень стоку по двох пунктах на р. Дніпрі — для Лоцманської Кам'янки з періодом спостережень в 53 роки і для Орші з періодом спостережень в 50 років, виконані нами різними способами, себто методом звичайних моментів і методом моментів, експоненціально зважених. Результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1

| Метод обчислення | Назва ріки | Пункт | Період спостережень | S | E |
|--|------------|----------------|---------------------|--------|--------|
| За звичайними моментами | Дніпро | Лощи. Кам'янка | 53 | -0,04 | -0,03 |
| За експоненціально зваженими моментами | " | " | 53 | -0,001 | -0,03 |
| За звичайними моментами | " | Орша | 50 | 0,54 | -0,012 |
| За експоненціально зваженими моментами | " | " | 50 | 0,47 | 0,00 |

З наведеної таблиці бачимо, що для Лощманської Кам'янки асиметрія і ексцес, а для Орші ексцес практично можна вважати рівним нулеві, тому що обчислення цих параметрів зовсім різними способами дає величини, практично близькі до нуля¹⁾. Вище зазначалося, що безпосереднє обчислення звичайних моментів, вищих за другий ступінь, особливо при невеликому n , є мало надійним. З цього погляду цікаво було б з'ясувати надійність обчислення нульового та першого зважених моментів залежно від n , тобто від числа членів в ряду. Обчислення Фостера показали, що для надійного визначення третього звичайного моменту, для визначення C_3 , потрібно мати період спостережень близько 100 років, тоді як для обчислення першого та другого звичайних моментів (норма стоку і коефіцієнт варіації C_v), з достатньою для практичних цілей точністю, досить мати, як установлено, період спостережень в 10—15 років. Для того, щоб з'ясувати стійкість нульового та першого зважених моментів у залежності від n , себто від довжини періоду спостережень обчислено b_0 та b_1 , за даними річних значень стоку р. Дніпра біля Орші з періодом спостережень $n=50$ років. При цьому значення b_0 та b_1 обчислено спочатку для всього періоду при $n=50$, потім розбивши цей ряд на два при $n=25$, на три при $n=15$ та на 5 при $n=10$.

Результати обчислень зводимо в табл. 2.

Таблиця 2

| Число років | Календарний період | b_0 | b_1 | M_0 | $\sigma = \frac{C_v}{K}$ |
|-------------|--------------------|-------|--------|-------|--------------------------|
| 50 | 1881—193 | 1,00 | -0,116 | 7,15 | 0,26 |
| 25 | 1881—1906 | 1,01 | -0,106 | 7,03 | 0,22 |
| 25 | 1907—1931 | 0,97 | -0,118 | 7,27 | 0,31 |
| 15 | 1881—1896 | 0,99 | -0,090 | 6,84 | 0,23 |
| 15 | 1897—1911 | 1,03 | -0,152 | 7,79 | 0,27 |
| 15 | 1912—1926 | 1,04 | -0,111 | 6,58 | 0,28 |
| 10 | 1881—1891 | 0,99 | -0,012 | 6,46 | 0,20 |
| 10 | 1891—1901 | 1,02 | -0,01 | 7,39 | 0,21 |
| 10 | 1901—1911 | 0,99 | -0,100 | 8,09 | 0,30 |
| 10 | 1911—1921 | 1,04 | -0,106 | 6,80 | 0,33 |
| 10 | 1921—1931 | 0,96 | -0,100 | 7,01 | 0,31 |

¹⁾ Всі обчислення виконано на логарифмічній лінійці.

Як видно з наведеної таблиці, нульовий та перший зважені моменти мають певну стійкість залежно від n при $n > 10$. Звичайно цих даних не досить, щоб можна було зробити цілком обгрунтовані висновки і встановити, при якому n можна обчислювати значення b_0 та b_1 , з достатньою для практичних цілей точністю, а по них — ексцес і асиметрію, не допускаючи при цьому грубих похибок. Це питання потребує, очевидно, ще дальшого дослідження та вивчення. Цілком зрозуміло, що чим довший буде ряд, яким ми оперуватимемо, тим з більшою певністю можна підібрати необхідні параметри для побудування кривої розподілу. Треба мати на увазі, що нульовий та перший зважені моменти є моментами нижчого порядку по відношенню до третього та четвертого звичайних моментів, а тому застосування їх для обчислення параметрів S та E , очевидно, даватиме певніші результати (особливо при коротких рядах) в порівненні із звичайними статистичними моментами. З першим наближенням можна вважати, що b_0 та b_1 можна обчислювати з достатньою для практичних цілей точністю, маючи ряд спостережень $n = 20 - 30$ років, але це питання потребує ще дальшого вивчення та уточнення. Крім того потрібно також з'ясувати, як характеризують експоненціально зважені моменти окремі частини кривої розподілу Шарльє. С. Н. Берштейн вважає, що експоненціально зважені моменти краще характеризують центральну частину цієї кривої. Деякі дослідження в цьому напрямі, виконані автором, показали, що зважені моменти досить добре характеризують і нижню частину цієї кривої, яка власне в гідрологічних дослідженнях становить особливий інтерес.

§ 7. Застосування функції розподілу Шарльє для збудування теоретичної кривої забезпеченості модульних коефіцієнтів

Рівняння інтегральної функції розподілу Шарльє (36) відповідає випадкові, коли розподіл нормований ($\sigma = 1$ і $x_0 = 0$) і початок координат міститься в центрі розподілу. Щоб використати інтегральну функцію розподілу Шарльє для побудування кривої забезпеченості модульних коефіцієнтів, будемо розглядати функцію

$$\begin{aligned} \int_{\pm\infty}^x f_1(x) dx &= F_1(x) = \int_{\pm\infty}^x \varphi(x) dx - \frac{S}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{III}(x) dx + \\ &+ \frac{E}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{IV}(x) dx = \int_{\pm\infty}^0 \varphi(x) dx + \int_0^x \varphi(x) dx - \frac{S}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{III}(x) dx + \\ &+ \frac{E}{3} \int_{\pm\infty}^x \varphi^{IV}(x) dx = 0,5 + \varphi(x) - \frac{S}{3} \varphi^{III}(x) + \frac{E}{3} \varphi^{IV}(x), \end{aligned} \quad (50)$$

де

$$\int_{\pm\infty}^0 \varphi(x) dx = 0,5, ^1)$$

якщо розподіл нормальний. Застосовуючи цю інтегральну функцію розподілу для побудування кривої забезпеченості модульних коефіцієнтів (вкладаючи в поняття забезпеченості ймовірність появлення ознак, рівних да-

¹⁾ Це випливає з природи функції розподілу (площа кривої розподілу завжди дорівнює одиниці).

ній та більших за дану в процентах), одержимо таке рівняння для кривої забезпеченості:

$$p\% = [1 - F_1(x)] 100 \quad (51)$$

Останнє рівняння (51) для кривої забезпеченості за функцією Шарльє в розгорнутому вигляді можна написати:

$$p\% = 0,5 - \left[\psi(x) - \frac{s}{3} \psi'(x) + \frac{E}{3} \psi^{IV}(x) \right] 100 \quad (52)$$

За цим рівнянням, користуючись існуючими таблицями для $\psi(x)$, $\psi'''(x)$ та $\psi^{IV}(x)$ (див. додаток I) та обчисливши відповідні параметри (M_0 , σ , S та E) можна побудувати теоретичну криву забезпеченості модульних коефіцієнтів.

Застосовуючи останнє рівняння (52) для інтерполяційних обчислень, що мають місце у водногосподарських розрахунках, себто, коли для заданого процента забезпеченості p треба відшукати відповідний модульний коефіцієнт $k = \frac{M}{M_0}$ маємо ту незручність, що в цьому рівнянні p — функція, а k — аргумент, зв'язаний з x таким рівнянням:

$$x = \frac{k-1}{\sigma}, \text{ звідки} \quad (53)$$

$$k = x\sigma + 1$$

Спроба розв'язати рівняння (52) аналітично відносно x або k не дала бажаних наслідків, тому що останнє рівняння щодо x є трансцендентне. Щоб запобігти цій незручності, останнє рівняння довелося розв'язувати графічним методом, в наслідок чого складено інтерполяційні таблиці для різних значень x залежно від p в процентах для різних значень параметра асиметрії S від $-0,50$ до $+1,00$ з поправками на ексцес E від $-0,20$ до $+0,20$ (див. додаток III). Порядок користування цими таблицями буде з'ясовано нижче.

Для побудування кривої забезпеченості модульних коефіцієнтів за функцією розподілу Шарльє необхідно визначити чотири таких параметри:

- 1) Середнє арифметичне досліджуваної ознаки; при дослідженні річних значень стоку це буде норма стоку M_0 ; коли брати замість модулів стоку модульні коефіцієнти K , тоді середнє арифметичне $K = 1,0$.
- 2) Середній квадратичний відхил ознаки σ ; коли ознаку будемо брати в частках від середнього арифметичного, себто K , тоді $\sigma = C_v$ тому що:

$$C_v = \frac{\sigma}{K_0} = \frac{\sigma}{1} = \sigma$$

- 3) Асиметрію S .
- 4) Ексцес E .

Для прикладу побудуємо криву забезпеченості модульних коефіцієнтів за функцією розподілу Шарльє для р. Уші біля м. Хабного. Річні модулі за 16 років по р. Уші біля Хабного та обчислення норми стоку M_0 , модульних коефіцієнтів K та середнього квадратичного відхилення σ наводимо в табл. 3.

Таблиця 3

| № | Рік | Модуль стоку M_i л/сек з 1 км ² | Модульний коефіцієнт $K = \frac{M_i}{M_0}$ | $K - 1$ | $(K - 1)^2$ |
|--------|---------|--|--|---------|-------------|
| 1 | 1916 | 2,75 | 0,98 | -0,02 | 0,0004 |
| 2 | 1917 | 2,48 | 0,88 | -0,12 | 0,0144 |
| 3 | 1918 | 2,27 | 0,81 | -0,19 | 0,0361 |
| 4 | 1919 | 5,67 | 2,01 | 1,01 | 1,0201 |
| 5 | 1920 | 2,85 | 1,01 | 0,01 | 0,0001 |
| 6 | 1921 | 0,61 | 0,22 | -0,78 | 0,6084 |
| 7 | 1922 | 3,18 | 1,13 | 0,13 | 0,0169 |
| 8 | 1923 | 4,57 | 1,63 | 0,63 | 0,3969 |
| 9 | 1924 | 3,42 | 1,22 | 0,22 | 0,0484 |
| 10 | 1925 | 0,77 | 0,27 | -0,73 | 0,5329 |
| 11 | 1926 | 2,65 | 0,94 | -0,06 | 0,0036 |
| 12 | 1927 | 1,85 | 0,66 | -0,34 | 0,1156 |
| 13 | 1928 | 1,75 | 0,62 | -0,38 | 0,1444 |
| 14 | 1929 | 3,25 | 1,16 | 0,16 | 0,0246 |
| 15 | 1930 | 1,42 | 0,51 | -0,49 | 0,2401 |
| 16 | 1931 | 5,56 | 1,98 | 0,98 | 0,9604 |
| $n=16$ | Сума... | 45,05 | 16,0 | 0 | 4,1643 |

Норма стоку р. Уші, визначена за 16 років (див. табл. 3), дорівнює $M_0 = \frac{\sum M_i}{n} = \frac{45,05}{16} = 2,8$ л/сек з 1 км²; середній квадратичний відхил

$$\sigma = \sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,1643}{15}} = 0,52$$

Для визначення асиметрії S та експесу E обчислимо нульовий b_0 та перший b_1 експоненціально зважені моменти за формулами:

$$b_0 = \frac{2\sqrt{\pi}}{n} \cdot \Sigma \varphi(x)$$

та

$$b_1 = \frac{2\sqrt{\pi}}{n} \Sigma \varphi(x) \cdot x;$$

де

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}};$$

а

$$x = \frac{k-1}{\sigma}$$

Для $\varphi(x)$ в додатку II наведено таблиці. Обчислення b_0 та b_1 зводимо в табл. 4.

Таблиця 4

| № | Рік | $K - \frac{M}{M_0}$ | $X = \frac{K-1}{c}$ | $\varphi(x)$ | $\varphi(x) \cdot x$ |
|--------|---------|---------------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 1 | 1916 | 0,98 | -0,04 | 0,3986 | -0,0159 |
| 2 | 1917 | 0,88 | -0,23 | 0,3885 | -0,0893 |
| 3 | 1918 | 0,81 | -0,37 | 0,3725 | -0,1378 |
| 4 | 1919 | 2,01 | 1,94 | 0,0608 | 0,1179 |
| 5 | 1920 | 1,01 | 0,02 | 0,3989 | 0,0080 |
| 6 | 1921 | 0,22 | -1,50 | 0,1295 | -0,1142 |
| 7 | 1922 | 1,13 | 0,25 | 0,3867 | 0,0967 |
| 8 | 1923 | 1,63 | 1,21 | 0,1919 | 0,2322 |
| 9 | 1924 | 1,22 | 0,42 | 0,3653 | 0,1534 |
| 10 | 1925 | 0,27 | -1,41 | 0,1476 | -0,2081 |
| 11 | 1926 | 0,94 | -0,12 | 0,3661 | -0,0475 |
| 12 | 1927 | 0,66 | -0,66 | 0,3209 | -0,2118 |
| 13 | 1928 | 0,62 | -0,73 | 0,3056 | -0,2231 |
| 14 | 1929 | 1,16 | 0,31 | 0,3802 | 0,1179 |
| 15 | 1930 | 0,51 | -0,94 | 0,2565 | -0,2411 |
| 16 | 1931 | 1,98 | 1,88 | 0,0621 | 0,1280 |
| n = 16 | Сума... | 16,0 | 0 | 4,5677 | -0,4347 |

Звідки:

$$b_0 = \frac{2 \cdot 1,78}{16} \cdot 4,5677 = 1,0049$$

$$b_1 = \frac{2 \cdot 1,78}{16} \cdot -0,4347 = -0,0956$$

Асиметрію S та ексцес E визначаємо за формулами:

$$S = -4b_1 = -4 \cdot -0,0956 = 0,38$$

$$E = 4(b_0 - 1) = 4(1,0049 - 1,0) = 0,02$$

Ординати кривої забезпеченості обчислюємо за рівнянням (52), користуючись інтерполяційними таблицями автора, наведеними в додатку III.

Порядок користування таблицями та обчислення ординат кривої забезпеченості (модульних коефіцієнтів) такий:

Відшукуємо в таблиці значення x для відповідних процентів забезпеченості $p\%$ для даної асиметрії S ; на одержані значення x зводимо поправки на ексцес E , що їх беремо з таблиці поправок на ексцес для різних процентів забезпеченості. Поправка на ексцес або додається до x , або віднімається, залежно від її знака. виправлені значення x помножимо

на σ , тому що таблиці складено для випадку, коли розподіл нормовано ($\sigma = 1$), та додаємо до результату одиницю, щоб одержати K . Отже модульні коефіцієнти для відповідних процентів забезпеченості (P) визначаються за рівнянням (53):

$$K = x\sigma + 1,$$

де x — табличне число з поправкою на ексцес;

$$\sigma = C_v$$

— середній квадратичний відхил, або коефіцієнт варіації.

Обчислення модульних коефіцієнтів для різних процентів забезпеченості для нашого прикладу зводимо в табл. 5.

Таблиця 5

| $\% \text{ забезп.}$ | 0,5 | 1,0 | 3 | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Мод. коеф. | | | | | | | | | | |
| x | 3,08 | 2,76 | 2,22 | 1,90 | 1,39 | 0,79 | 0,59 | 0,42 | 0,12 | -0,13 |
| $\sigma \cdot x$ | 1,60 | 1,44 | 1,16 | 0,99 | 0,72 | 0,41 | 0,31 | 0,22 | 0,06 | -0,07 |
| $K = \sigma x + 1$ | 2,60 | 2,44 | 2,16 | 1,99 | 1,72 | 1,41 | 1,31 | 1,22 | 1,06 | 0,93 |

| $\% \text{ забезп.}$ | 60 | 70 | 75 | 80 | 90 | 95 | 97 | 99 | 99,5 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Мод. коеф. | | | | | | | | | |
| x | -0,37 | -0,61 | -0,74 | -0,88 | -1,4 | -1,47 | -1,63 | -1,85 | -1,94 |
| $\sigma \cdot x$ | -0,19 | -0,32 | -0,38 | -0,46 | -0,63 | -0,76 | -0,85 | -0,96 | -1,00 |
| $K = \sigma x + 1$ | 0,81 | 0,68 | 0,62 | 0,54 | 0,37 | 0,24 | 0,15 | 0,04 | 0,00 |

Поправки на ексцес в цьому прикладі не вводимо, бо $E = 0,02$, себто практично дорівнює нулеві.

За даними табл. 5 будемо криву забезпеченості модульних коефіцієнтів, показану на рис. 3.

§ 8. Порівнення кривої розподілу Шарльє та кривої Пірсона типу III з емпіричним матеріалом

Щоб з'ясувати відповідність кривої розподілу Шарльє до фактичного розподілу річних значень стоку, будемо на одному рисунку теоретичні криві забезпеченості модульних коефіцієнтів за функцією розподілу Шарльє з точками емпіричних кривих забезпеченості, побудованих за формулою

$$P\% = \frac{m - 0,5}{n} 100, \text{ як це показано на рис. 3, 4, 5 та 6.}$$

Такі побудування виконано для р. Уші біля м. Хабного з періодом спостереження в 16 років (рис. 3) і для р. Дніпра біля м. Орші, з періодом спостережень 50 років (рис. 4), біля Києва з періодом спостережень в 54 роки, та коло Лоцманської Кам'янки з періодом спостережень в 53 роки. Параметри теоретичних кривих забезпеченості модульних коефіцієнтів S та E обчислено за методом експоненціально зважених моментів, числові значення яких виписано на відповідних рисунках. На тих же рисунках нанесено теоретичні криві розподілу Пірсона типу III при $C_s = 2C_v$.

Розглядаючи та аналізуючи розміщення точок емпіричних кривих забезпеченості (показаних кружками) модульних коефіцієнтів відносно теоретичних кривих забезпеченості, побудованих за функцією розподілу Шарльє, бачимо, що в усіх розглянутих випадках (рис. 3, 4, 5 і 6) ці точки досить близько, на всьому протязі кривих розміщуються навколо них.

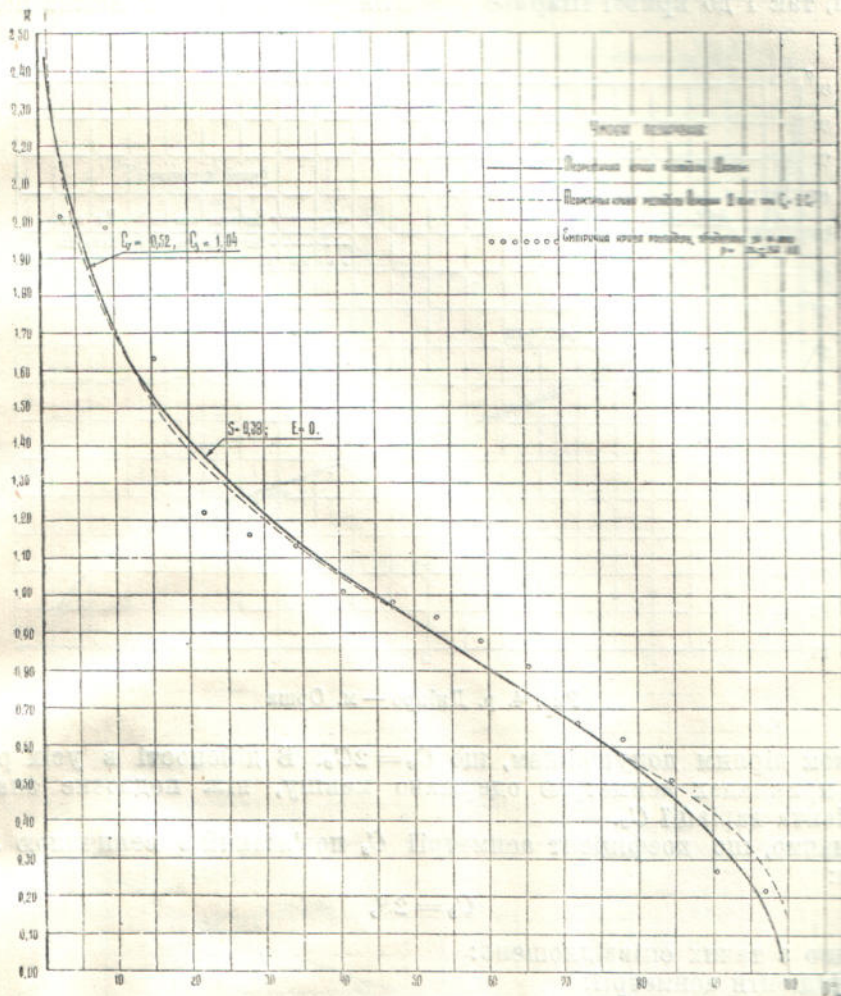


Рис. 3. р. Уша — с. Хабне.

Ця обставина дозволяє зробити висновок, що функція розподілу Шарльє досить близько відповідає фактичному розподілові річних значень стоку. Звичайно цей висновок треба ще підтвердити на більш численному фактичному матеріалі, який би охоплював більше число рік з різноманітним режимом.

Щодо кривих забезпеченості модульних коефіцієнтів, побудованих на тому ж матеріалі за функцією розподілу Пірсона типу III, допускаючи, що $C_s = 2C_v$ (рис. 3, 4, 5 та 6 — пунктирні лінії), то можна відзначити, що в усіх розглянутих випадках криві Пірсона в нижній своїй частині, що становить для гідрологів найбільший практичний інтерес, в межах процентів забезпеченості, близьких до ста, проходять вище кривих, побудованих за функцією Шарльє та відповідаючих точкам емпіричної кривої

забезпеченості. З цього можемо зробити висновок, що Пірсонова крива не дає найбільш обережного варіанту щодо визначення стоку для маловодних років, якщо мати на увазі водногосподарські розрахунки, зв'язані з регулюванням стоку водосховищами. Відхилення кривої Пірсона в нижній частині вверх по відношенню як до точок емпіричної кривої забезпеченості, так і до кривої Шарльє у розглянутих випадках можна пояснити

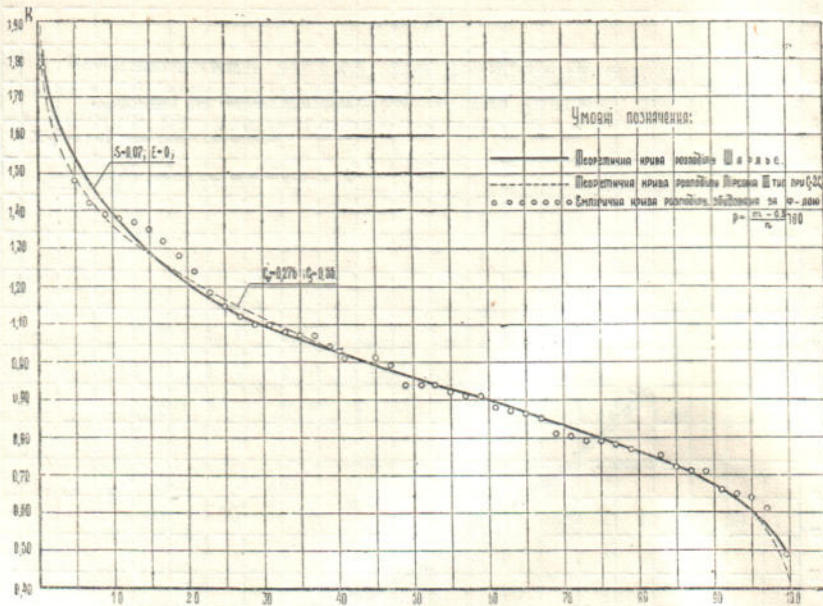


Рис. 4. р. Дніпро — м. Орша

не цілком вірним допущенням, що $C_s = 2C_v$. В дійсності в усіх розглянутих прикладах асиметрію одержано меншу, ніж подвоєне значення коефіцієнта варіації C_v .

Зазначмо, що коефіцієнт асиметрії C_s пов'язаний з величиною S рівнянням:

$$C_s = 2S,$$

що видно з таких співвідношень:

Коефіцієнти асиметрії:

$$C_s = \frac{\Sigma (K - I)^3}{n\sigma^3} = a_3 \quad (57)$$

де a_3 — звичайний момент третього порядку, а з виразу (26) маємо, що

$$S = \frac{a_3}{2}, \text{ звідки}$$

$$a_3 = 2S = C_s$$

Отже виконані автором дослідження щодо застосування кривої розподілу Шарльє в гідрології показали, що остання значно краще відповідає фактичному розподілові, ніж Пірсонова крива типу III. Гнучкість та універсальність функції розподілу Шарльє надає їй значної переваги проти інших типів розподілу, і зокрема проти пірсонівських кривих. Все це дозволяє авторам висунути, в порядку постановки, питання про заміну пірсонівських кривих розподілу в гідрологічних дослідженнях більш

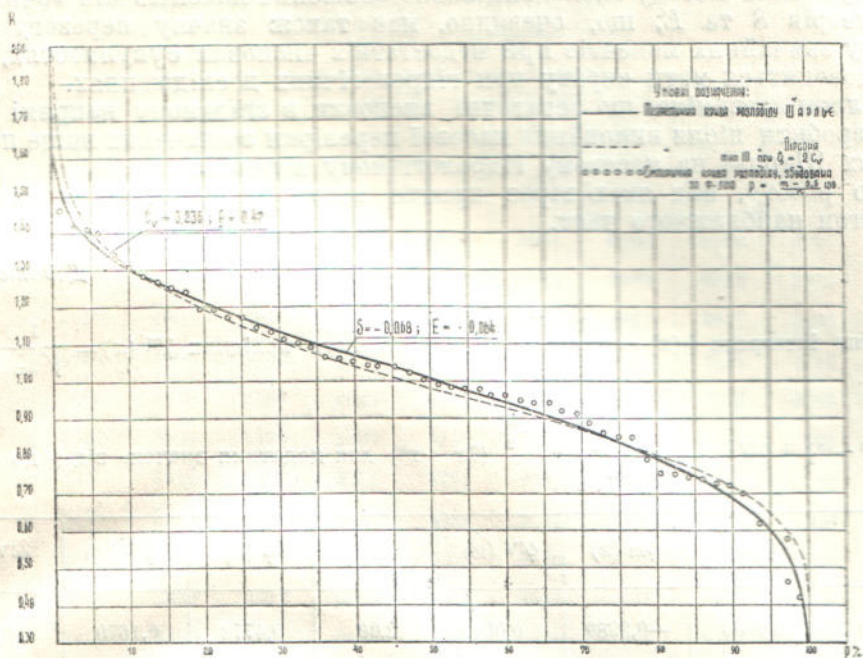


Рис. 5. р. Дніпро — м. Київ.

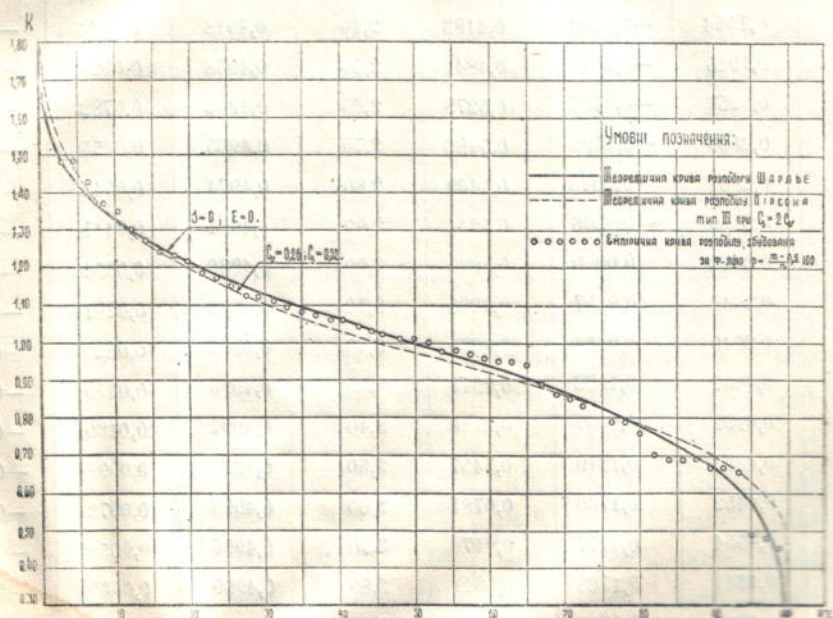


Рис. 6. р. Дніпро—Лоцманська Кам'янка.

відповідним типом, себто функцією розподілу Шарльє, з рівнобіжним застосуванням методу експоненціально зважених моментів для обчислення параметрів S та E , що, очевидно, має також значну перевагу проти методу звичайних моментів при недостатніх числових сукупностях, з чим нам доводиться мати справу при гідрологічних дослідженнях.

Цілком зрозуміло, що остаточні висновки в згаданому напрямі можна буде зробити після виконання масової перевірки зазначених вище переваг кривих Шарльє на масовому гідрологічному матеріалі.

Цю роботу, над якою зараз працює автор, передбачається виконати протягом найближчого часу.

Додаток I

Значення інтеграла $\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ та його похідних $\psi^{III}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

$(x^2 - 1)$ і $\psi^{IV}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} (3x - x^3)$ для додатних значень від 0 до 4,0

| x | $\psi(x)$ | $\psi^{II}(x)$ | $\psi^{IV}(x)$ | x | $\psi(x)$ | $\psi^{III}(x)$ | $\psi^{IV}(x)$ |
|------|-----------|----------------|----------------|------|-----------|-----------------|----------------|
| 0,00 | 0,0000 | -0,3989 | 0,0000 | 2,00 | 0,4772 | 0,1620 | -0,1080 |
| 0,10 | 0,0398 | -0,3930 | 0,1187 | 2,10 | 0,4821 | 0,1500 | -0,1302 |
| 0,20 | 0,0793 | -0,3754 | 0,2315 | 2,20 | 0,4861 | 0,1362 | -0,1436 |
| 0,30 | 0,1179 | -0,3471 | 0,3329 | 2,30 | 0,4893 | 0,1215 | -0,1492 |
| 0,40 | 0,1554 | -0,3093 | 0,4183 | 2,40 | 0,4918 | 0,1066 | -0,1483 |
| 0,50 | 0,1915 | -0,2640 | 0,4841 | 2,50 | 0,4938 | 0,0920 | -0,1424 |
| 0,60 | 0,2257 | -0,2133 | 0,5278 | 2,60 | 0,4953 | 0,0782 | -0,1328 |
| 0,70 | 0,2580 | -0,1592 | 0,5486 | 2,70 | 0,4965 | 0,0655 | -0,1207 |
| 0,80 | 0,2881 | -0,1043 | 0,5469 | 2,80 | 0,4974 | 0,0541 | -0,1073 |
| 0,90 | 0,3159 | -0,0506 | 0,5244 | 2,90 | 0,4981 | 0,0441 | -0,0934 |
| 1,00 | 0,3413 | 0,0000 | 0,4839 | 3,00 | 0,4986 | 0,0354 | -0,0798 |
| 1,10 | 0,3643 | 0,0457 | 0,4289 | 3,10 | 0,4990 | 0,0281 | -0,0669 |
| 0,20 | 0,3949 | 0,0854 | 0,8635 | 3,20 | 0,4993 | 0,0220 | -0,0552 |
| 1,30 | 0,4032 | 0,1182 | 0,2918 | 3,30 | 0,4995 | 0,0170 | -0,0448 |
| 1,40 | 0,4192 | 0,1437 | 0,2180 | 3,40 | 0,4997 | 0,0130 | -0,0359 |
| 1,50 | 0,4332 | 0,1619 | 0,1457 | 3,50 | 0,4998 | 0,0098 | -0,0282 |
| 1,60 | 0,4452 | 0,1730 | 0,0781 | 3,60 | 0,4998 | 0,0073 | -0,0219 |
| 1,70 | 0,4554 | 0,1777 | 0,0176 | 3,70 | 0,4999 | 0,0054 | -0,0168 |
| 1,80 | 0,4641 | 0,1768 | -0,0341 | 3,80 | 0,4999 | 0,0039 | -0,0127 |
| 1,90 | 0,4713 | 0,1713 | -0,0760 | 3,90 | 0,4999 | 0,0028 | -0,0095 |

Примітка. Із виразу $\psi(x)$, $\psi^{III}(x)$ і $\psi^{IV}(x)$ видно, що при від'ємних значеннях x , значення цих функцій відшукаємо, користуючись рівностями $\psi(-x) = -\psi(x)$; $\psi^{III}(-x) = \psi(x)$; $\psi^{IV}(-x) = -\psi^{IV}(x)$.

Значення $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$
 (Всі значення помножені на 10 000)

| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,0 | 3989 | 3989 | 3989 | 3988 | 3986 | 3984 | 3982 | 3980 | 3977 | 3973 |
| 0,1 | 3970 | 3965 | 3961 | 3956 | 3951 | 3945 | 3939 | 3932 | 3925 | 3918 |
| 0,2 | 3910 | 3902 | 3894 | 3885 | 3876 | 3867 | 3857 | 3847 | 3836 | 3825 |
| 0,3 | 3814 | 3802 | 3790 | 3778 | 3765 | 3752 | 3739 | 3725 | 3712 | 3697 |
| 0,4 | 3683 | 3668 | 3653 | 3637 | 3621 | 3605 | 3589 | 3572 | 3555 | 3538 |
| 0,5 | 3521 | 3503 | 3485 | 3467 | 3448 | 3429 | 3410 | 3391 | 3372 | 3352 |
| 0,6 | 3332 | 3312 | 3292 | 3271 | 3251 | 3230 | 3209 | 3187 | 3166 | 3144 |
| 0,7 | 3123 | 3101 | 3079 | 3056 | 3034 | 3011 | 2989 | 2966 | 2943 | 2920 |
| 0,8 | 2897 | 2874 | 2850 | 2827 | 2803 | 2780 | 2756 | 2732 | 2709 | 2685 |
| 0,9 | 2661 | 2637 | 2613 | 2589 | 2565 | 2541 | 2516 | 2492 | 2468 | 2444 |
| 1,0 | 2420 | 2396 | 2371 | 2347 | 2323 | 2299 | 2275 | 2251 | 2227 | 2203 |
| 1,1 | 2179 | 2155 | 2131 | 2107 | 2083 | 2059 | 2036 | 2012 | 1989 | 1965 |
| 1,2 | 1942 | 1919 | 1895 | 1872 | 1849 | 1826 | 1804 | 1781 | 1758 | 1736 |
| 1,3 | 1714 | 1631 | 1669 | 1647 | 1626 | 1604 | 1582 | 1561 | 1539 | 1518 |
| 1,4 | 1497 | 1476 | 1456 | 1435 | 1415 | 1394 | 1374 | 1354 | 1334 | 1315 |
| 1,5 | 1295 | 1276 | 1257 | 1238 | 1219 | 1200 | 1182 | 1163 | 1145 | 1127 |
| 1,6 | 1109 | 1092 | 1074 | 1057 | 1040 | 1023 | 1006 | 0989 | 0973 | 0957 |
| 1,7 | 0940 | 0925 | 0909 | 0893 | 0878 | 0863 | 0848 | 0833 | 0818 | 0804 |
| 1,8 | 0790 | 0775 | 0761 | 0748 | 0734 | 0721 | 0707 | 0694 | 0681 | 0669 |
| 1,9 | 0656 | 0644 | 0632 | 0620 | 0608 | 0596 | 0584 | 0573 | 0562 | 0551 |
| 2,0 | 0540 | 0529 | 0519 | 0508 | 0498 | 0488 | 0478 | 0468 | 0459 | 0449 |
| 2,1 | 0440 | 0431 | 0422 | 0413 | 0404 | 0396 | 0387 | 0379 | 0371 | 0363 |
| 2,2 | 0355 | 0347 | 0339 | 0332 | 0325 | 0317 | 0310 | 0303 | 0297 | 0290 |
| 2,3 | 0283 | 0277 | 0270 | 0264 | 0258 | 0252 | 0246 | 0241 | 0235 | 0229 |
| 2,4 | 0224 | 0219 | 0213 | 0208 | 0203 | 0198 | 0194 | 0189 | 0184 | 0180 |
| 2,5 | 0175 | 0171 | 0167 | 0163 | 0158 | 0154 | 0151 | 0147 | 0143 | 0139 |
| 2,6 | 0136 | 0132 | 0129 | 0126 | 0122 | 0119 | 0116 | 0113 | 0110 | 0107 |
| 2,7 | 0104 | 0101 | 0099 | 0096 | 0093 | 0091 | 0088 | 0086 | 0084 | 0081 |
| 2,8 | 0079 | 0077 | 0075 | 0073 | 0071 | 0069 | 0067 | 0065 | 0063 | 0061 |
| 2,9 | 0060 | 0058 | 0056 | 0055 | 0053 | 0051 | 0050 | 0048 | 0047 | 0046 |
| 3 | 0044 | 0033 | 0024 | 0017 | 0012 | 0009 | 0006 | 0004 | 0003 | 0002 |
| 4 | 0001 | 0001 | 0001 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 |

Відхилення ординат кривих забезпеченості
від значень S при $E=0$ та $Cv=1$

| Коеф. асим. S \ % % забезпеч. | % % забезпеч. | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| -0,50 | 1,82 | 1,75 | 1,57 | 1,44 | 1,21 | 0,89 | 0,75 | 0,62 | 0,39 |
| -0,40 | 1,92 | 1,84 | 1,62 | 1,47 | 1,22 | 0,88 | 0,74 | 0,61 | 0,37 |
| -0,30 | 2,03 | 1,93 | 1,68 | 1,50 | 1,23 | 0,87 | 0,72 | 0,59 | 0,34 |
| -0,20 | 2,20 | 2,05 | 1,74 | 1,54 | 1,24 | 0,86 | 0,70 | 0,57 | 0,31 |
| -0,10 | 2,40 | 2,18 | 1,80 | 1,59 | 1,26 | 0,85 | 0,68 | 0,55 | 0,28 |
| 0,00 | 2,60 | 2,33 | 1,87 | 1,64 | 1,27 | 0,84 | 0,68 | 0,53 | 0,25 |
| 0,10 | 2,75 | 2,46 | 1,96 | 1,70 | 1,30 | 0,83 | 0,66 | 0,50 | 0,22 |
| 0,20 | 2,90 | 2,60 | 2,06 | 1,78 | 1,34 | 0,89 | 0,64 | 0,48 | 0,19 |
| 0,30 | 3,00 | 2,69 | 2,14 | 1,85 | 1,36 | 0,80 | 0,61 | 0,44 | 0,15 |
| 0,40 | 3,10 | 2,77 | 2,24 | 1,92 | 1,40 | 0,79 | 0,59 | 0,41 | 0,12 |
| 0,50 | 3,17 | 2,86 | 2,30 | 2,00 | 1,44 | 0,77 | 0,55 | 0,38 | 0,10 |
| 0,60 | 3,20 | 2,92 | 2,39 | 2,07 | 1,49 | 0,75 | 0,52 | 0,34 | 0,05 |
| 0,70 | 3,27 | 2,98 | 2,45 | 2,14 | 1,55 | 0,73 | 0,49 | 0,31 | 0,02 |
| 0,80 | 3,30 | 3,03 | 2,51 | 2,18 | 1,60 | 0,70 | 0,45 | 0,26 | -0,02 |
| 0,90 | 3,38 | 3,06 | 2,57 | 2,26 | 1,68 | 0,66 | 0,41 | 0,23 | -0,06 |
| 1,00 | 3,38 | 3,13 | 2,62 | 2,31 | 1,73 | 0,63 | 0,37 | 0,19 | -0,07 |

Поправки відхилень ординат
від середини на ексцес при

| Ексцес E \ % % забезп. | % % забезп. | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| -0,20 | -0,390 | -0,250 | -0,050 | +0,030 | +0,095 | +0,110 | +0,115 | +0,105 | +0,055 |
| -0,10 | -0,250 | -0,150 | -0,040 | +0,020 | +0,050 | +0,070 | +0,060 | +0,050 | +0,025 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| +0,10 | +0,330 | +0,230 | +0,045 | -0,020 | -0,065 | -0,070 | -0,060 | -0,045 | -0,025 |
| +0,20 | +0,570 | +0,435 | +0,115 | -0,045 | -0,135 | -0,125 | -0,110 | -0,085 | -0,040 |

від середини залежно
за функцією розподілу Шарльє

| 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 90 | 95 | 97 | 99 | 99,5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -0,16 | -0,08 | -0,38 | -0,55 | -0,77 | -1,44 | -2,00 | -2,32 | -2,88 | -3,16 |
| -0,13 | -0,12 | -0,41 | -0,58 | -0,79 | -1,40 | -1,92 | -2,25 | -2,80 | -3,08 |
| -0,10 | -0,15 | -0,44 | -0,61 | -0,81 | -1,36 | -1,84 | -2,16 | -2,71 | -3,00 |
| -0,07 | -0,19 | -0,47 | -0,63 | -0,82 | -1,34 | -1,77 | -2,06 | -2,61 | -2,92 |
| -0,03 | -0,22 | -0,50 | -0,65 | -0,83 | -1,31 | -1,70 | -1,96 | -2,46 | -2,73 |
| 0,00 | -0,25 | -0,53 | -0,68 | -0,84 | -1,27 | -1,65 | -1,87 | -2,32 | -2,60 |
| -0,04 | -0,29 | -0,55 | -0,70 | -0,85 | -1,27 | -1,60 | -1,80 | -2,20 | -2,40 |
| -0,07 | -0,31 | -0,57 | -0,71 | -0,86 | -1,25 | -1,55 | -1,73 | -2,06 | -2,29 |
| -0,10 | -0,34 | -0,59 | -0,72 | -0,87 | -1,23 | -1,50 | -1,67 | -1,92 | -2,03 |
| -0,13 | -0,37 | -0,61 | -0,74 | -0,88 | -1,21 | -1,47 | -1,62 | -1,83 | -1,92 |
| -0,15 | -0,39 | -0,62 | -0,75 | -0,88 | -1,21 | -1,44 | -1,57 | -1,76 | -1,82 |
| -0,19 | -0,42 | -0,64 | -0,76 | -0,89 | -1,19 | -1,41 | -1,53 | -1,69 | -1,74 |
| -0,22 | -0,44 | -0,65 | -0,77 | -0,90 | -1,18 | -1,39 | -1,49 | -1,63 | -1,68 |
| -0,24 | -0,46 | -0,67 | -0,78 | -0,90 | -1,18 | -1,37 | -1,46 | -1,59 | -1,63 |
| -0,27 | -0,48 | -0,68 | -0,78 | -0,90 | -1,17 | -1,34 | -1,43 | -1,55 | -1,59 |
| -0,29 | -0,49 | -0,69 | -0,79 | -0,91 | -1,17 | -1,32 | -1,41 | -1,52 | -1,55 |

гривних забезпеченості

$C_v = 1$ на експес

| 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 90 | 95 | 97 | 99 | 99,5 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,00 | -0,060 | -0,110 | -0,115 | -0,125 | -0,100 | -0,025 | +0,050 | +0,230 | +0,370 |
| 0,00 | -0,025 | -0,50 | -0,060 | -0,065 | -0,060 | -0,010 | +0,025 | +0,135 | +0,220 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | +0,025 | +0,045 | +0,055 | +0,065 | +0,060 | +0,020 | -0,040 | -0,240 | -0,340 |
| 0,00 | +0,050 | +0,085 | +0,110 | +0,115 | +0,140 | +0,050 | -0,120 | -0,460 | -0,590 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Проф. А. В. Огієвський, Гідрологія (басейнів суходолу), ОНТВУВ-во „Вугілля руда“, 1933.
2. Проф. А. В. Огієвський, Режим стока верхнего и среднего Днепра, изд. 1. НИВХ УССР и Днепростроя, Киев, 1932.
3. Проф. А. В. Огієвський, Главнейшие факторы годового и помесячного стока р. Днепра у г. Киева, „Вісті НДІВГУ“, т. V, ч. 1, Київ, 1932.
4. Инж. Д. Л. Соколовский, Применение кривых распределения к установлению вероятных колебаний годового стока рек Европ. части СССР, Ленинград, „Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР“, вып. III, 1929 г.
5. Инж. Д. Л. Соколовский, Применение кривых вероятностей к расчетам годового и максимального стока, „Мат. по гидр. и водным силам СССР“, вып. XXIII, 1935.
6. С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель, Расчеты речного стока, ОНТИ, Госстройиздат, 1934.
7. А. Я. Боярский, В. Н. Старовский, В. И. Хотимский, Б. Т. Ястремский, Теория математической статистики. Под ред. проф. Б. С. Ястремского и В. И. Хотимского, М.—Л., 1931.
8. Проф. В. В. Голубев, Элементы математической статистики в приложении к лесному делу, 1927.
9. С. Н. Берштейн, Теория ймовірностей, Харків, 1934.
10. Л. К. Лахтин, Курс теории вероятностей, изд. ГИЗ, М., 1924.
11. Л. К. Лахтин, Кривые распределения, ГИЗ, 1922.
12. В. Кригер и Дж. Джестин, Гидроэлектрический справочник, т. I, Энергоиздат, 1934.
13. Кочерин, Вопросы инженерной гидрологии, 1932.
14. М. Э. Шевелев, Коэффициент вариации годового речного стока, как функция некоторых климатических и гидрологических параметров, Гидротехническое строительство 1934, № 6.
15. М. В. Потапов, О непосредственном построении интегральных кривых распределения, „Труды I-го всесоюзного съезда НИТО гидравликов и гидротехников“, М.—Л., 1934, сс. 56—59.
16. H. Alden Foster, Theoretical Frequency Curves and their Application to Engineering Problems, „Proceedings Am. Soc. Civ. Eng.“, May, 1923.
17. Allen Hazen, Storage to be Provided in Impounding Reservoirs for Municipal Water supply, „Transactions Am. Soc. Civ. Eng.“, 1917.
18. L. Standish Hall, The Probable Variations in Early Run off as determined from a Study of California Streams, „Transactions Am. Soc. Civ. Eng.“, 1921.
19. Arne Tisher, The mathematical Theory of Probabilities, ch. XIII & XVI.
20. Charlier, Grundzüge der Mathematischen Statistik.

Инж. М. В. Мялковский

К вопросу о применении в гидрологии кривой распределения Шарлье

Резюме

В практике инженерно-гидрологических исследований для установления вероятных отклонений годового и максимального стока от нормы применяют статистические кривые распределения, в частности — тип III кривой Пирсона. Известно, что кривые Пирсона вообще, в том числе и применяемый тип III, являются чисто формальными, недостаточно гибкими и в силу этого имеют ряд недостатков.

Как основной недостаток типа III кривой распределения Пирсона, нужно считать, что этот тип далеко не во всех случаях соответствует фактическому распределению модульных коэффициентов годового стока. Выполненные автором исследования в этом направлении в настоящей работе целиком это подтверждают.

Имея в виду отмеченные недостатки типа III кривой Пирсона, автор в порядке постановки выдвигает вопрос о применении в гидрологических исследованиях кривой распределения Шарлье, которая, как более

ПРИЙМАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ТА ПЕРЕДПЛАТИ

на всі видання Української Академії Наук провадиться в секторі
поширення Видавництва Української Академії Наук
Київ, вул. Чудновського, 2

ПРОДАЖ ВИДАНЬ

у науковій книгарні Української Академії Наук — Київ, вул. Леніна, 12
і по всіх книгарнях Книгокультторгу, Книгоцентру ОГІЗа
та Книгозбуту ОНТИ
