

**Забрудська В.М., студентка групи ДЕ- 21,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДА ІЗОХРОН ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ДОЩОВОГО СТОКУ З МАЛИХ ВОДОЗБОРІВ**

Процес поверхневого стоку складається з двох основних етапів: стікання зі схилів і стікання по логу (руслове добігання).

Розглянемо найпростішу схему формування стоку на схилі, що має нахил у бік дороги. Будемо розглядати схил, що має прямокутну форму. Його площа

$$F = lB,$$

де  $l$  - довжина ділянки вздовж дороги,  $B$  - ширина ділянки.

Ділянка має сталий похил  $i_0$  у бік дороги, незмінними залишаються також властивості поверхні: шорсткість, рослинність, тип ґрунту, швидкість випаровування і т. ін.

Будемо вважати, що початок дощу співпадає з початком поверхневого стоку, тобто інтенсивність дощу перевищує втрати на інфільтрацію і відсутні від'ємні форми рельєфу (або вони заповнені водою). Дощ під час випадіння має сталу інтенсивність, яка не змінюється в межах схилу. Останнє передбачає, що початок і закінчення дощу по всій площі відбувається одночасно. Час випадіння повинен бути більшим, ніж необхідний для надходження стоку від найвіддаленіших ділянок схилу до розрахункового створу дороги.

Перераховані вище умови повинні забезпечити рівні по всьому водозбору умови водовіддачі безпосередньо після початку випадіння дощу і однакові умови стікання по схилу. Будемо вважати інтенсивністю водовіддачі  $a$  товщину шару води, що утворює в одиницю часу на даній площі стік за рахунок різниці в інтенсивностях дощу і втрат на інфільтрацію. Розіб'ємо водозбір на  $n$

однакових прямокутників, площею  $f$  і довжиною  $l$ . Припустимо, що вода з усіх точок кожної ділянки досягає розрахункового стовору (дороги) одночасно. Час необхідний для цього називають часом добігання. Верхні сторони прямокутників є також лініями рівних часів добігання або ізохронами. Позначимо час добігання води до розрахункового створа від найвіддаленішої точки водозбору через  $\tau_0 = n\Delta t$ , де  $\Delta t$  - час добігання від першої ділянки.

Розглянемо явище стоку від початку водовіддачі до її кінця. Через час  $\Delta t$  після початку водовіддачі біля замикаючого створу збирається вода з першої ділянки, яка безпосередньо примикає до цього створу і обмежена зверху першою ізохроною. Таким чином, витрата в кінці інтервалу часу

$$Q_1 = af.$$

В момент часу  $2\Delta t$  вода з другої ділянки, обмеженої зверху ізохроною під другим номером, підійде до замикаючого створу і витрата буде становити

$$Q_2 = 2af.$$

До кінця часу добігання від найвіддаленішої точки басейну до розрахункового створу вода буде надходити зі всього басейну і, відповідно, витрата досягне максимального значення

$$Q_n = naf = Fa$$

і буде залишатися сталим доки буде йти дощ, тобто до часу водовіддачі  $t_0$ , на протязі якого шар опадів у басейні перевищує інфільтрацію. Незалежність витрати від часу відповідає фазі усталеного режиму. Тільки при  $t > t_0$  витрата почне зменшуватись. Якщо нехтувати різницею у характері неусталеного руху

по схилу на стадіях зростання і спаду паводка, то ліва і права частини гідрографа будуть симетричними.

Якщо площу басейна ділити на стрічки нескінченно малої ширини, то ступінчастий гідрограф набуде вигляду трапеції. Проекції правої і лівої частини трапеції на вісь абсцис визначають відповідно час підйому  $t_n$  і час спаду  $t_{cn}$  паводка. Проекція верхньої основи – час незмінної витрати  $t_n$ . Сума трьох інтервалів часу дає нижню основу гідрографа – час проходження стоку через розрахунковий створ, тобто час паводка  $t_{нав}$ . Сума часу підйома паводка і стояння максимум витрати визначає час водовіддачі; під час спаду паводка відбувається стік по нижнім частинам басейну шару, що утворився раніше на його верхній частині.

Якщо ж час водовіддачі менший, ніж час добігання від найвіддаленішої ділянки, витрата буде збільшуватись лише до кінця часу водовіддачі. Починаючи з часу водовіддачі діюча площа буде збільшуватись за рахунок верхніх ділянок і зменшуватись за рахунок нижніх. Через те, що кількість ділянок обмежена, згодом їх буде ставати менше доки стік з басейну не припиниться. Форма гідрографа паводка залишиться незмінною.

З вище сказаного можна зробити певні висновки. Час підйому дорівнює часу спаду паводка і дорівнює часу водовіддачі при  $t_g < \tau_{\bar{o}}$  або часу добігання при  $t_g > \tau_{\bar{o}}$ .

Підтримання впродовж певного часу сталого максимуму витрати визначається тим, що в цей період залишається сталою діюча площа. В першому випадку вона рухається по басейну, а у другому дорівнює площі басейну.

У формуванні максимуму витрати при  $t_g < \tau_{\bar{o}}$  бере участь весь дощ, а при  $t_g > \tau_{\bar{o}}$  - тільки його частина впродовж часу  $\tau_{\bar{o}}$ . Тому якщо не враховувати в обох випадках різниці в товщині шару водовіддачі, то максимум витрати при  $t_g > \tau_{\bar{o}}$  буде вище, ніж при  $t_g < \tau_{\bar{o}}$ . Час водовіддачі в першу чергу залежить від

часу випадіння дощу, а останній, як показують спостереження, визначає інтенсивність дощу. Зазвичай чим менший час випадіння дощу, тим вища його інтенсивність.

Викладені обставини дають можливість припустити, що максимум витрати досягається за умови, що час добігання дорівнює часу випадіння дощу, тобто має місце так звана критична тривалість дощу. Інтенсивність дощу при критичній тривалості називається граничною інтенсивністю і позначається  $S_p$ .

Перейдемо від найпростішої схеми до реальних умов. В дійсності басейн має неправильну форму, характеристики дощу змінюються у часі і по площі, по площі змінюються також характеристики басейну (рельєф, рослинність, тип ґрунту). З якісної точки зору це приводить до того, що гідрограф стає несиметричним, а максимальна витрата не здатна зберігатися тривалий час.

Враховуючи перераховані вище фактори витрата у розрахунковому створі визначається за формулою

$$Q(t) = \sum_{k=1}^n a_{t-k\Delta t} f_k,$$

де  $f_k$  — площі між ізохронами з номерами  $k-1$  і  $k$ .

Спрямовуючи інтервал між ізохронами до нуля одержимо формулу у вигляді інтеграла

$$Q(t) = \int_0^t h_{t-\tau} df_\tau,$$

де  $\tau$  — час добігання від елементарної ділянки площею  $df_\tau$ .

Таким чином, побудова гідрографа зводиться до побудови плану басейна в ізохронах. Скористаємося для цього гіпсометричною картою, яка дозволяє визначити похил земної поверхні у будь-якому напрямку. Будемо вважати, що рух води в басейні відбувається у напрямку найбільшого похилу, тобто вздовж градієнта функції  $H(x, y)$  висоти місцевості від планових координат.

Величина швидкості добігання через турбулентний характер руху визначається за формулою

$$v = k\sqrt{|\nabla H|},$$

де  $|\nabla H|$  — величина похилу земної поверхні.

Зважаючи на те, що потік на схилі розгалужується через нерівності земної поверхні на значну кількість потоків утворюючи мережу, формула для швидкості добігання за формою і змістом нагадує формулу для швидкості турбулентної фільтрації за винятком того, що коефіцієнт пропорційності залежить не від крупності часток ґрунту, а в першу чергу від порізаності поверхні басейну.

Робимо висновок, що вектор швидкості добігання можна визначити за формулою

$$\mathbf{v} = -k \frac{\nabla H}{\sqrt{|\nabla H|}}.$$

Відкладаючи від кожної точки розрахункового створу відрізки довжиною  $\Delta l = v\Delta t$  у напрямку протилежному швидкості добігання і з'єднуючи їх верхні кінці плавною лінією одержуємо першу ізохрону. За аналогічною процедурою послідовно будуються інші ізохрони.

Аналогічно формується водопілля при таненні снігу. Особливості пов'язані з тривалістю утворення стоку при таненні і порівняно великими розмірами території охоплених цим процесом.

Гідрографи будують для багаторічного, річного та інших характерних періодів. Для дорожнього і аеродромного будівництва найбільш цікавими є гідрографи паводків і водопіль. Без них неможливі гідравлічні розрахунки розмиву русла біля мостових переходів, отворів дорожніх труб і малих мостів, прогноз замулення. Складний процес взаємодії багатьох факторів при формуванні стоку відбивається різними формами гідрографів.

Відносно короткі дощі, у яких  $t_e \ll \tau_{\bar{\sigma}}$ , формуються одиничні елементарні паводки, тривалі дощі із змінною інтенсивністю викликають складні багатопікові паводки. Тривалість елементарних паводків приблизно однакова. Відповідно, вимірювання параметрів одного паводка можуть бути основою для моделювання іншого.

## Література

1. О.В. Біловол. Загальна гідрологія: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Харків: видавництво ХНАДУ, 2007. -196с.

*Науковий консультант: Біловол О.В., доц. каф. теоретичної механіки.*