

Б.В.Киндюк

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАВОДОЧНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ НА БАЗЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ**

Предложен вариант уточненной генетической формулы стока. Показана возможность применения дебитографических кривых для расчета коэффициентов трансформации ливневых паводков. Приведен пример расчета гидрографа ливневого паводка на р. Рика (пгт. Межгорье).

Исследование условий и закономерностей формирования ливневого стока имеет более чем вековую историю. Интерес к этой проблеме очень усилился в последнее время, после прохождения катастрофических ливневых паводков на реках Украинских Карпат в ноябре 1998г., марте 2001 г., нанесших колоссальный ущерб народному хозяйству этого региона.

Учитывая сложность этого явления, выполнено большое количество исследований с целью построения математической модели, описывающей все основные звенья процесса формирования ливневого паводка. Однако, отсутствие подробной информации о динамике выпадения осадков, гидрографических, гидравлических характеристиках рек и их русел очень усложняет применение «строгих методов», основанных на решении уравнений Сен-Венана. В связи с этим, получили развитие так называемые «упрощенные методы», которые в условиях ограниченной информации часто дают приемлемые для практики результаты. Таким методом является макрогенетическая теория А.В.Огиевского, представляющая процесс формирования паводка в виде трех основных звеньев или укрупненных показателей [9].

Первый из них - процесс выпадения осадков, сопровождающийся потерями воды на перехват растительностью, впитывание в почву, заполнение бессточных углублений. Результатом этого сложного взаимодействия осадков и подстилающей поверхности является

формирование графика интенсивности водоотдачи - склонового притока ( $h_i$ ), переменного по времени  $t$ .

Вторым звеном макрогенетической теории является формирование гидрографа стекания ( $Q_i$ ), как результата движения воды по мелкой гидрографической сети различного порядка к замыкающему створу водосбора. Характер такого поступления зависит от формы идеограммы бассейна или графика распределения единичных ширин ( $B$ ), являющегося функцией длины реки ( $L$ ). Величины расходов стекания могут быть вычислены по известной генетической формуле стока:

$$Q'_t = h_t f_1 + h_{t-1} f_2 + \dots + h_1 f_t = \sum_{j=t}^{j=1} h_j f_{t-j+1}, \quad (1)$$

где  $t = 1, 2, \dots, (t_c + t_p - 1)$  - номер расчетной единицы времени  $\Delta t$ ;  $t_c$  - число единиц времени стекания воды со склонов в русла;  $t_p$  - время руслового добега от наиболее удаленной точки водосбора до створа;  $h_1, h_2, h_3 \dots h_{t_i}$  - интенсивность склонового притока к руслу за последовательную единицу времени через расчетный интервал времени  $\Delta t$ ;  $f_1, f_2, f_3, \dots f_{t_i}$  - частная площадь водосбора, ограниченная изохронами - линиями равного времени добега вод притока до замыкающего створа.

При решении некоторых задач необходимо располагать данными об объеме стока, проходящего через замыкающий створ, что может быть выполнено по формуле:

$$W_t = Q'_t \Delta t = \sum_{j=t}^{j=1} h_j f_{t-j+1} \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $W_t$  - объем стока, а величина  $t$  принимает значение  $t = 1, 2, \dots, (t_c + t_p - 1)$ .

Анализ генетической формулы стока показывает, что общая продолжительность паводка ( $T$ ) составляет величину  $T \leq t_c + t_p - 1$ . За пределами этого ограничения остаются случаи отсутствия притока со склонов, когда  $h_j = 0$  при  $j > t_c$ , а также вариант расчетов в момент времени  $t - j + 1 > t_p$ , тогда  $f_{t-j+1} = 0$ . Такой случай возникает при добегании последней порции склонового притока от наиболее удаленной площадки водосбора до замыкающего створа. Эти ограничения отвечают физической картине формирования паводка, возникающей при использовании генетической формулы стока, как это было показано ее

создателями Н.Е.Долговым, М.М. Протодяконовым и М.А.Великановым [1].

Слагаемые выражений (1-2), применительно к ординатам гидрографа притока, представляют средние расходы стекания, образованные перемещением объемов воды в пределах отдельного межизохронного отсека русла за расчетную единицу времени ( $\Delta t$ ) от начала стока, а индексом при ( $f$ ) обозначен номер межизохронной площадки, от которой за заданную единицу времени вода добегают к замыкающему створу.

Формулу (2) можно видоизменить, если ввести обозначения частных объемов  $\Delta w = hf$  с соответствующими индексами, тогда она приобретет следующий вид:

$$W_t = \sum_{j=t}^{j=1} \Delta w_{j,t-j+1}, \quad (3)$$

где  $t = 1, 2, \dots, (t_c + t_p - 1)$ , а индексы при величинах ( $\Delta w$ ) указывают на время его образования в межизохронном отсеке русла ( $j$ ) и число интервалов ( $\Delta t$ ), за которые этот объем добежит до замыкающего створа ( $t - j + 1$ ).

В структуре приведенных выше формул заложены простые кинематические представления о перемещении объемов русловых вод из верхних межизохронных отсеков в нижние, причем, каждый объем размещается точно в границах нижнего участка. Все участки имеют одинаковую длину, поскольку скорости добегания принимаются равными для всего паводка и всех участков русел. Интенсивность водоотдачи или модуля склонового притока принимается постоянной для заданного интервала времени, а также по всем межизохронным площадям или всего водосбора. Эта «идеализированная» картина очень далека от реальных условий формирования и прохождения ливневого паводка. С целью ее приближения к действительности, в качестве первого шага, необходимо принять переменной по длине русла интенсивность склонового притока с межизохронных площадей водосбора, тогда при расчетах паводка можно использовать формулы (1-3). Параметр ( $h$ ) следует идентифицировать двумя индексами, определяющими не только время поступления склонового притока, но и положение участка русла, к которому он поступил за данную единицу времени. С учетом этого, значения частных

объемов притока ( $\Delta w$ ), вычисленных по формуле (3), могут быть записаны в виде:

$$\Delta w_{j,t-j+1} = h_{j,t-j+1} \cdot f_{j,t-j+1} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Расчет величин объемов ( $\Delta w$ ) ведется по формуле (4) дискретно за каждый интервал ( $\Delta t$ ).

Рассмотрим объем воды, заключенный в сечении всех участков русла, который по терминологии, принятой в речной гидравлике, называют «водным телом». Разделим его на отдельные части с шагом  $\Delta x = v\Delta t$ , где  $v$  - скорость добегания воды по руслу. При этом будем считать, что все элементы генетической формулы входят в нее со своими средними значениями за интервал времени ( $\Delta t$ ), которые отнесены к серединам межизохронных участков русла.

С целью дальнейшей разработки модели формирования стока на речном водосборе, введем понятие единичных объемов притока воды, т.е. притока на единицу длины межизохронного отсека. Для этого разделим объемы притока  $\Delta w_{j,t-j+1}$  на длину межизохронного отсека  $\Delta x_{j,t-j+1}$ , в результате получим величину:

$$\Delta C_{j,t-j+1} = \frac{\Delta w_{j,t-j+1}}{\Delta x_{j,t-j+1}}, \quad (5)$$

где  $\Delta C_{j,t-j+1}$  - единичный объем бокового притока, средний на заданном участке русла в заданную единицу времени ( $\Delta t$ ).

Представим на рис.1 схематический график распределения по длине реки единичных объемов склонового притока, одновременно поступивших с площади водосбора в русло в течение  $j$ -й единицы времени ( $\Delta t$ ).

Такие графики можно построить для каждой единицы времени за весь период притока ( $t_c$ ). Входящие в них объемы в различных комбинациях суммируются генетической формулой для подсчета объемов стока всего паводка через замыкающий створ.

При выполнении расчета ступенчатый график распределения единичных объемов можно заменить кривой, проходящей через середины межизохронных отсеков. Это отвечает плавному характеру изменения гидравлических характеристик потока на участках русла. В общем виде эту кривую можно представить уравнением:  $\Delta C_i = f(x_i - 0.5\Delta x)$ .

Величина в скобках представляет собой расстояние от замыкающего створа до середины  $i$ -го межизохронного отсека, которое можно вычислить так:

$$x_i = \sum_{i=1}^{i=t_i/\Delta t} v_i \Delta t - 0,5 \Delta x_i, \quad (6)$$

где  $t_p$  - время руслового добегания воды, а  $v_i$  - постоянная скорость добегания воды по руслу.

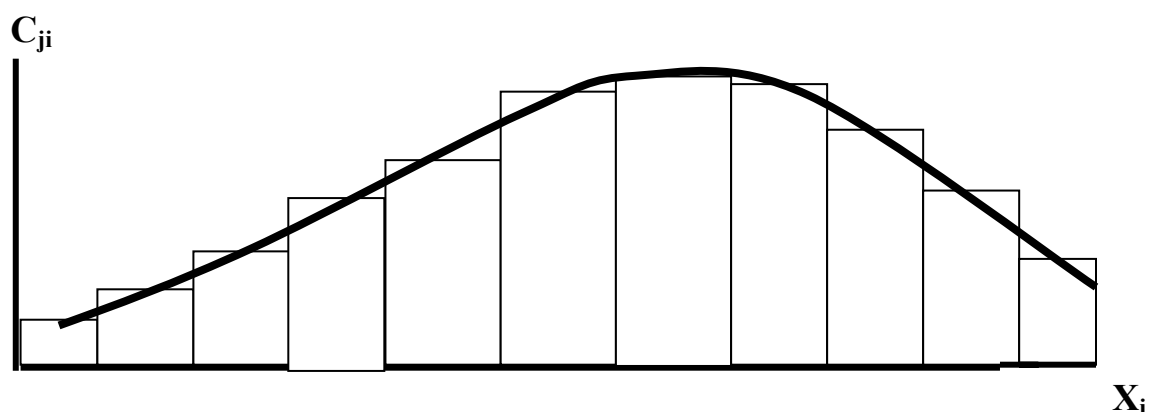


Рис. 1. Кривая распределения единичных объемов склонового притока по длине русла реки для  $j$ -й единицы времени ( $x_i$  - расстояние до  $i$ -й изохроны)

Третьим звеном макрогенетической теории А.В.Огиевского является учет трансформации гидрографа стекания ( $Q'_t$ ) в гидрограф воды в замыкающем створе водосбора ( $Q_t$ ). Известно несколько способов учета трансформации волны паводка русловой емкостью речного бассейна. Так, И.А.Железняк выполнял трансформацию волны паводка путем введения поправки к каждому из расходов стекания [4], И.Н.Гарцман и В.М.Лыло вводили частные трансформационные кривые для различных частей бассейна [3]. Ю.Б.Виноградов, В.И.Корень использовали интеграл Дюамеля для трансформации графика притока в гидрограф стока [2,5]. Нами для учета трансформации волны паводка применен метод, предложенный В.И.Мокляком [7]. Сущность этого метода заключается в том, что каждый из частных объемов воды трансформируется на всех участках, которые он проходит в процессе движения. Для учета этого явления в формулу (4) к объемам  $\Delta w_{j,t-j+1}$  следует ввести коэффициент  $r$  с теми же индексами, что стоят при других сомножителях. Тогда объем воды может быть вычислен по формуле:

$$W_t = \sum_{j=t}^{j=1} \Delta C_{j,t-j+1} \cdot \Delta x_{j,t-j+1} \cdot r_{j,t-j+1}, \quad (7)$$

где  $\Delta C$  - единичный объем.

В своих работах В.И.Мокляк называл параметр  $r$  коэффициентом добегания, хотя нам представляется более правильным назвать его коэффициентом трансформации, т.к. этот термин точнее передает его фактическую сущность.

Расчет величины  $r$  может быть выполнен по дебитографической кривой, которая представляет собой график связи между величинами относительных расходов и относительных скоростей:

$$\frac{Q_v}{Q} = f\left(\frac{V_z}{V_{max}}\right) \text{ или } \alpha = f(\beta), \quad (8)$$

где  $Q_v$  - расход воды соответствующий скорости  $V_z$ ;  $V_{max}$  - максимальная скорость, соответствующая расходу  $Q$ . Конкретные значения коэффициентов трансформации можно вычислить по формулам, полученным после несложных преобразований:

$$r_i = \alpha_{i-1} - \alpha_i = d(\beta_{i-1} - \beta_i) = \frac{d}{V_{max}}(V_{i-1} - V_i) = \frac{d \cdot \tau}{t_i \cdot t_{i-1}}(t_{i-1} - t), \quad (9)$$

где  $d$  - угловой коэффициент нижней огибающей графика связи  $\alpha = f(\beta)$ ,  $\tau$  - время добегания.

Учет динамики скорости добегания воды во времени и по длине русла в период паводка является важнейшей задачей построения расчетной модели гидрографа. Необходимость учета изменений скорости добегания подтверждается неравномерным распределением объемов наполнения русел водой, анализ которого приведен выше. Объемы воды на участках русел связаны с «местными» факторами скорости – уровнями и глубинами, а на их продольное изменение влияет уклон водной поверхности. Наряду с показателями шероховатости, которые зависят от уровня затопления русел, они представляются главными факторами, формирующими значения скорости добегания.

Приведенное на рис.1 распределение единичных объемов притока по длине реки, можно отнести к первому расчетному интервалу времени. Тогда к моменту его окончания необходимо учесть динамику скорости добегания на каждом участке реки из-за изменения степени наполнения русла водой. Эту задачу можно решить только методом итерационного

подбора скоростей и расходов, соответствие между которыми дает возможность установить окончательную длину расчетных участков для заданной единицы времени  $\Delta t$ . К началу второй единицы времени кривая единичных объемов, изображенная на рис.1, должна быть сдвинута к начальному створу на длину самого нижнего участка  $\Delta x_l$ , а самый верхний отсек  $\Delta x_{t_p}$  в этот момент времени освободится от воды. Следует отметить, что величина  $\Delta x_1 = v_1 \cdot \Delta t$ , а  $\Delta x_{t_p} = v_{t_p} \cdot \Delta t$ , т.е. одновременно с расчетами объемов вычисляются скорости их перемещения на участках русел.

Во вторую единицу времени на русловые участки уже изменённой длины, поступает новый приток со склонов, объем которого суммируется с объемами, оставшимися от притока за предыдущую единицу времени. Ординаты кривой единичных объемов устанавливаются для заданных расстояний от замыкающего створа до середины новых межизохронных отсеков русла, начиная со второй единицы времени. Аналогичным образом, начиная с последующих, рассчитываются длины межизохронных участков для всех последующих интервалов времени, пока не стечет через замыкающий створ последний по времени объем склонового притока с самой верхней межизохронной площадки водосбора.

Этот вариант уточненной генетической формулы стока имеет один существенный недостаток: в течение расчетного интервала времени  $\Delta t$  система изохрон считается постоянной. С целью его устранения, введем в расчет основной параметр неустановившегося движения – скорость добегания. Для этого запишем формулу по расчету единичного объема (5) и выполним в ней замену величины  $\Delta w$  на выражение (4), тогда получим:

$$\Delta C_{j,t-j+1} = \frac{h_{j,t-j+1} \cdot f_{j,t-j+1} \Delta t}{\Delta x_{j,t-j+1}}. \quad (10)$$

Расход воды представляет собой частное от деления объема ( $W$ ) на величину расчетного интервала времени. Значения  $W$  вычисляются по формуле (7), величина  $\Delta C$  - по выражению (10), тогда формула для определения расхода воды примет следующий вид:

$$Q_t = \frac{W_t}{\Delta t} = \sum_{j=t}^{j=1} \frac{h_{j,t-j+1} \cdot f_{j,t-j+1} r_{j,t-j+1} \cdot x}{\Delta x_{j,t-j+1}}, \quad (11)$$

где  $r$  – коэффициент трансформации.

Индексы, находящиеся при сомножителях формулы (11) позволяют определить текущую ординату расхода по двум переменным. Первый из них фиксирует расстояние между створами, а второй определяет сумму интервалов времени  $\Delta t$ , за которые вода, поступившая от бокового притока в  $j$ -й интервал, пройдет через замыкающий створ. Другими словами, это время добегающего до замыкающего створа  $j$ -ой ординаты единичного объема склонового стока.

Путь, пройденный по длине реки, конкретным объемом воды вычисляется по формуле:

$$x_{t,t-j+1} = \sum_{j=1}^{j=t} \Delta x_{j,t-j+1} \quad , \quad (12)$$

где  $\Delta x$  - значение длины соответствующей межизохронной площади.

Величину отрезка пути можно заменить произведением скорости добегающего на расчетный интервал времени, тогда выражения для (х) примет вид:

$$x_{t,t-j+1} = \sum_{j=1}^{j=t} v_{j,t-j+1} \cdot \Delta t - 0,5 \Delta x_{j,t-j+1} \quad , \quad (13)$$

где  $v_{j,t-j+1}$  - средняя скорость добегающего воды на заданном межизохронном отрезке русла  $x_{t,t-j+1}$  в  $j$ -й момент времени.

Величина  $0,5 \Delta x$ , стоящая во второй части выражения (13) указывает на то обстоятельство, что данный расчет выполняется для середины конкретного межизохронного участка.

Аргумент  $x_{t,t-j+1}$  выполняет важную роль в последующих вычислениях при построении алгоритма итерационного процесса. С его помощью определяются координаты схемы изохрон для заданного момента времени  $t$ , объема склонового стока с площади  $f_{j,t-j+1}$ , с учетом переменной скорости добегающего.

Выражение для определения величины межизохронной площади  $f_{j,t-j+1}$  можно заменить произведением двух сомножителей. В качестве первого выступает ширина водосбора по конкретной изохроне ( $B$ ), находящейся на расстоянии от замыкающего створа  $x_{j,t-j+1}$ . Вторым сомножителем является величина  $\Delta x_{j,t-j+1}$ , показывающая длину соответствующей межизохронной площадки. Тогда расчетная формула для величины площади примет вид:

$$f_{j,t-j+1} = B(x_{j,t-j+1}) \cdot \Delta x_{j,t-j+1} \quad (14)$$

Значение  $x_{j,t-j+1}$  вычисляется по формуле (13), а величина  $B(x_{j,t-j+1})$  представляет собой ординату идеограммы бассейна, т.е. его ширину по изохроне. Аргумент, находящийся в скобках, выражает расстояние от заданной изохроны до замыкающего створа в  $j$ -й момент времени.

С учетом изложенного выше, расчетная формула (11) для определения ординат расхода паводка на момент времени  $t$ , будет иметь такой вид:

$$Q_t = \sum_{j=t}^{j=1} h_{j,t-j+1} \cdot B(x_{j,t-j+1}) \cdot r_{j,t-j+1} \cdot \Delta x_{j,t-j+1}, \quad (15)$$

но индексы при сумме сомножителей меняются местами для удобства построения итерационного процесса.

Выражение (15) представляет собой новый вариант уточненной генетической формулы стока, учитывающей все три звена макрогенетической теории А.В.Огиевского, а ее параметры являются переменными по длине водосбора и во времени.

Система изохрон может быть построена на основании данных густой и равномерно распределенной по речному бассейну сети гидрологических постов. Для этого требуется информация о времени добегания волн дождевых паводков, которые сложно определить на небольших участках гидрографической сети. В реальных условиях гораздо более предпочтительно использовать метод эквидистант, предложенный В.И.Мокляком. Сущность этого способа состоит в нанесении на карту водосбора линий равных расстояний от замыкающего створа или эквидистант.

Этот метод использован нами в расчетах гидрографов ливневых паводков по формуле (15). В качестве изохроны с заданным временем добегания выбирается та эквидистанта, которая отстоит от замыкающего створа на длину добегания  $x_{j,t-j+1}$ , вычисленную для момента времени  $t_{j,t-j+1}$ .

Разработка алгоритма решения задачи требует определения ограничительных условий итерационного процесса. В качестве таковых приняты следующие:

- расчет ведется для  $j \leq t_c + t_p - 1$ ;
- при значениях  $t - j + 1 > t_p$   $f_{j,t-j+1}$  принимается равным 0;
- при значениях  $j > t_c$   $h_{j,t-j+1}$  принимается равным 0.

### Пример расчета

В своих работах В.И.Мокляк показал возможность применения метода дебитографических кривых к волнам паводков в створах нижних бьефов, удаленных от ГЭС на различные расстояния [7]. Последующие публикации посвящены расчетам гидрографов весенних половодий на реках Украины, в которых доказана возможность использования вместо величин скорости течения величины скорости добегания волны паводка [8].

Исходя из формулы (15), выполнено построение алгоритма программы для расчета расходов воды. Метод проверялся по материалам Закарпатской воднобалансовой станции в бассейне р. Рика (пгт. Межгорье). Этот водосбор, расположенный в горной части Украинских Карпат, характеризуется частыми и высокими ливневыми паводками и имеет следующие характеристики: площадь водосбора  $F=550 \text{ км}^2$ , длина реки  $L=29 \text{ км}$ , средний уклон  $I=10,7\text{‰}$ .

Построение дебитографической кривой выполнялось двумя способами, исходя из данных о расходах и скоростях добегания высоких ливневых паводков. В качестве первого варианта использовался метод построения кривой русловой емкости  $W = f(Q)$ , предложенный И.А.Железняком. Для этого, по данным о расходах спада трех высоких ливневых паводков построена кривая объемов для створа р. Рика (пгт. Межгорье).

Величины скоростей добегания во всем диапазоне расходов вычислялись, исходя из этой кривой по формулам:

$$V = \frac{L}{\tau}, \text{ а } \tau = \frac{\Delta W}{\Delta Q}. \quad (16)$$

Затем выполнялся расчет относительных значений скоростей добегания  $\beta = V_i/V_{max}$  и расходов  $\alpha = Q_i/Q_{max}$ , данные наносились на соответствующий график (рис. 2).

В качестве второго варианта расчета использована формула для скорости добегания, опубликованная в работе [6]. По значениям  $V_i$  и  $Q_i$ , также рассчитывались величины  $\alpha$  и  $\beta$ .

Сопоставление данных, вычисленных по формуле (15), с измеренными показало их удовлетворительное соответствие, что доказывает возможность практического применения обоих методов в инженерных расчетах, а также их правильную физическую сущность.

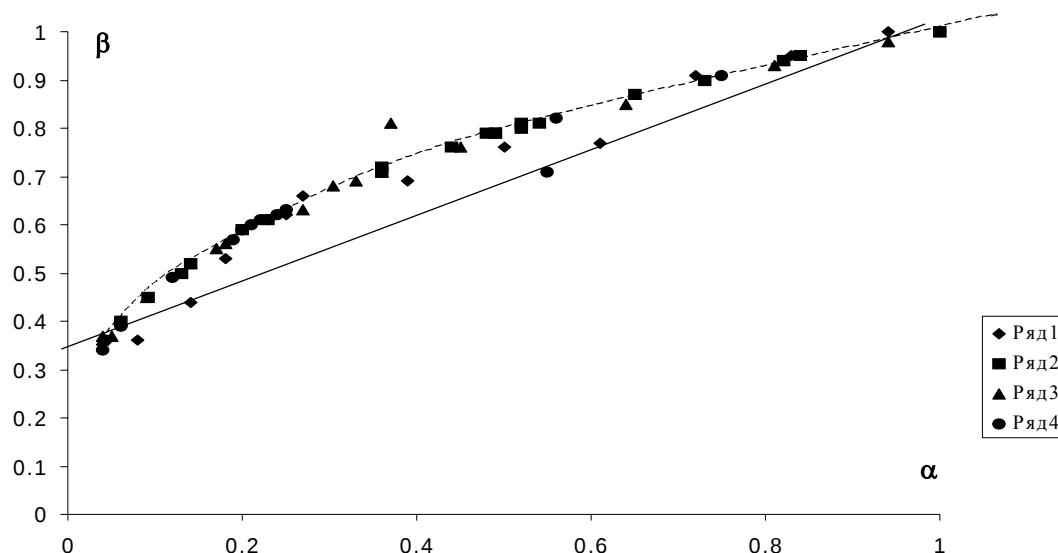


Рис. 2. Дебитографическая кривая (---) р.Рика (пгт.Межгорье), построенная по кривой русловой емкости (ряд 1) и по данным А.Г.Иваненко для дождевых паводков 1964 г. (ряд 2), 1968 г. (ряд 3) и 1974 г. (ряд 4)

Моделирование процесса формирования ливневого паводка по формуле (15) предполагает наличие данных об эквидистантах. Для этого по данным о притоках р. Рика до пгт. Межгорье построена идеограмма водосбора в виде функции  $B = f(L)$ . Исходя из кривой русловой емкости  $W = f(Q)$ , определено время добегания  $\tau=4$  час, а максимальная скорость оказалась равной 7,25 км/ч. По значениям  $V$  и  $Q$  выполнен расчет трансформационных коэффициентов  $r_i$  для каждой из межизохронных площадей.

Третьей составляющей, необходимой для выполнения расчета по формуле (15) является график водоотдачи или притока склонового стока к руслу реки. По предложению А.В.Огиевского, в качестве такового могут быть приняты расходы воды малого бассейна-индикатора, который удовлетворяет ряду условий, подробно изложенных в работе [9].

В качестве примера, для выполнения расчета по формуле (15), из материалов наблюдений за стоком р. Рика (пгт. Межгорье), выбран паводок, прошедший с 27 по 30 июня 1974 г. Максимальный срочный расход 306 м<sup>3</sup>/с зафиксирован в 1 час 40 мин. 28.06.74 г. Паводок

сопровождался выпадением очень сильного ливня. За первые два часа, с момента его начала, на метеопосту Верхний Студеный зафиксирован слой осадков 35,0 мм, а максимальная интенсивность по метеопосту Подобец составила 3,0 мм/мин. Формированию высокого паводка способствовало также то обстоятельство, что вся вторая декада июня была очень дождливой.

Общая сумма осадков за период прохождения ливня (27–29.06.74 г.) по метеопосту Нижний Звир составила 86,3 мм. Результатом такого ливневого процесса стало формирование в течение пяти часов крутой ветви подъема гидрографа паводка. Проанализировав изогеты этого ливня, в качестве бассейна-индикатора выбран ручей Студеный (с. Нижний Студеный) с площадью водосбора  $F=25,4 \text{ км}^2$ , длиной  $L=7,5 \text{ км}$ . Усреднив расходы этого паводка за расчетный интервал времени  $\Delta t = 1$  час, приняли его в качестве бокового притока  $h_i=Q_i/F$ . По этим данным по формуле (15) вычислены ординаты гидрографа высокого ливневого паводка, прошедшего на р. Рика у пгт. Межгорье с 27 по 29 июня 1974 г. Полученные значения сопоставлялись с фактическими (рис. 3), а оценка точности проводилась путем подсчета критерия качества методики -  $S/\sigma$ , где  $S$  - средняя погрешность проверочных расчетов,  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение.

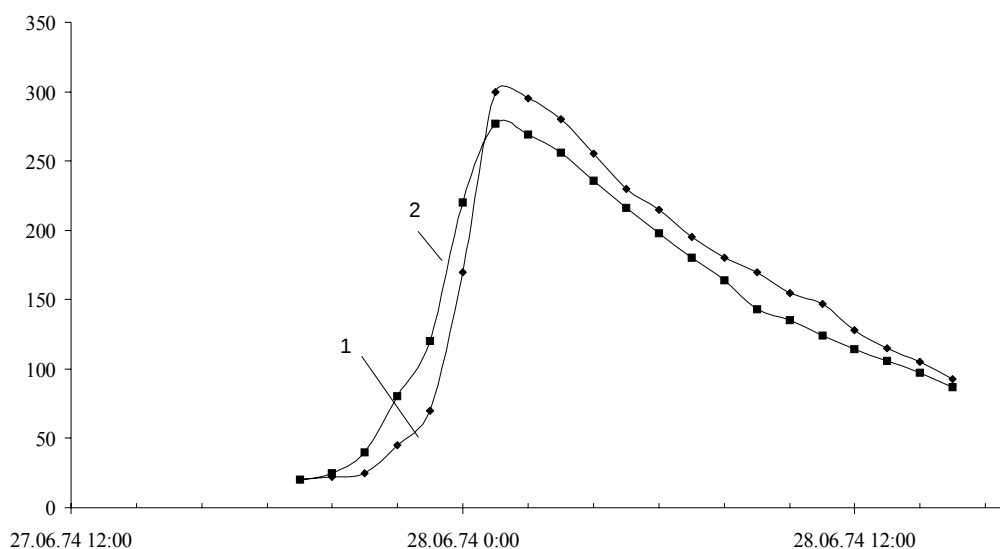


Рис. 3. Гидрограф дождевого паводка р. Рика (пгт. Межгорье): фактический (1), вычисленный (2)

Рассчитанная величина ( $S/\sigma$ ) оказалась равной 0,30, что позволяет сделать вывод о достаточной точности предлагаемого метода.

\* \*

*Запропонований новий варіант уточненої генетичної формули стоку. Показана можливість застосування дебітографічних кривих для розрахунку коефіцієнтів трансформації зливових паводків. Наведено приклад розрахунку гідрографу зливогого паводку на р. Ріка біля пгт. Міжгір'я.*

\* \*

1. Великанов М.А. Гидрология суши. -Л.: Гидрометеиздат,1948.- 503 с.
2. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 312 с.
3. Гарцман И.А., Лыло В.М. Процессы формирования дождевых паводков // Тр. ДВНИГМИ. -1970. - Вып.31. - С. 3-40.
4. Железняк И.А. Русловая емкость, водоотдача речного бассейна и гидрограф половодья малой реки // Тр. УкрНИИ Госкомгидромета. – М., 1969. - Вып.80. – С. 3-23.
5. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 199 с.
6. Иваненко А.Г. Исследование скоростей добегания паводков на реках Закарпатской области // Тр. ОГМИ. - 1961. - Вып.24. – С. 52-59.
7. Мокляк В.И. Построение гидрографов по уточненным генетическим формулам стока // Метеорология и гидрология. -1958. - № 8. – С.17-23.
8. Мокляк В.И. О построении единичного гидрографа // Тр. УкрНИГМИ. – 1965. – Вып.51. - С. 3-11.
9. Огиевский А.В. Бассейны-индикаторы // Тр. НИУГУГМС. - 1947. - Вып.26. – 283 с.