

2. Крашин И.И., Пересунько Д.И. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования. — М., 1976. — 206 с. 3. Усенко В.С., Злотник В.А. Математические модели и численные методы в задачах взаимосвязи безнапорных подземных и поверхностных вод. — Доклады III Международного симпозиума. Киев, 1978, ч. 4, с. 108–117. 4. Шаманский В.Е. Численное решение задач фильтрации грунтовых вод на ЭЦВМ. — Киев, 1969. — 376 с. 5. Злотник В.А. Комплекс алгоритмов моделирования динамики подземных вод. — Алгоритмы и программы (ВНТИЦентр), 1978, № 4, с. 19–20. 6. Совершенствование методики оценки эксплуатационных запасов подземных вод с учетом влияния водозаборов на окружающую среду/В.С.Усенко, А.Х.Альтшуль, В.А.Злотник, М.Ю.Калинин. — Труды Международной ассоциации гидрогеологов. М., 1979, т. 15, с. 333–335. 7. Станкевич Р.А., Сытник Е.В., Черепанский М.М. Исследование влияния водозабора подземных вод на прилегающие территории с учетом взаимосвязи с поверхностными водами. — В сб.: Изучение и использование водных ресурсов. М., 1980, с. 153–159. 8. Указания по установлению минимально допустимых расходов воды в реках для охраны природы (временные)/ЦНИИКИВР. — Минск, 1977. — 31 с.

УДК 551.577.36(476)+628.212.2

П.Д.ГАТИЛЛО, канд.техн.наук,
А.Н.ОДИНЕЦ (БПИ)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ОДНОКРАТНОГО ПРЕВЫШЕНИЯ СУММЫ ОСАДКОВ ЗА ДОЖДЬ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССИИ

Количество и режим стоков дождевой канализации формируются прежде всего под влиянием атмосферных осадков и таяния снега. В данной работе исследуются характеристики для описания сумм осадков за дожди различной повторяемости.

По аналогии с характеристикой интенсивности выпадения дождей [1] и в данном случае повторяемость сумм осадков целесообразно выражать в виде периодов однократного их превышения, а в распределениях учитывать все многократно наблюдаемые в течение года дожди. Для аналитического описания распределений можно применить уравнение, аналогичное используемым для явлений, многократно повторяющихся в году [2].

Если все дожди, зафиксированные за n лет плювиографических наблюдений, расположить в убывающем порядке, то для каждого значения суммы осадков за дождь h может быть установлен период превышения этой суммы

$$p = n/s, \quad (1)$$

где n — число лет наблюдений; s — порядковый номер в убывающем ряду члена со значением суммы осадков h (число дождей с суммами осадков $\geq h$).

Такие эмпирические распределения могут быть графически изображены в системе координат $(h; p)$, а уравнение аналитической сглаживающей кривой — представлено в виде

$$h = h_{\text{мин}} + a (\lg \bar{s} + \lg p)^k, \quad (2)$$

где $h_{\text{мин}}$ — сумма осадков за дождь, принятый в качестве минимального из рассматриваемых; a, \bar{s}, k — параметры.

Г.А.Алексеев [2] для установления значений параметров аналогичного уравнения применял искусные графоаналитические приемы. В настоящее время это решение можно выполнить более просто и определенно на ЭВМ, используя методы выравнивания и наименьших квадратов. Поскольку в уравнении (2) четыре параметра, два из них ($h_{\text{мин}}$ и \bar{s}) должны быть установлены на основе исходной информации. По аналогии с [2] следовало бы принимать $h_{\text{мин}} = 0$, а \bar{s} считать характеристикой среднего числа всех дождей в году с суммами осадков $h \geq 0$. Однако координаты плювиограмм и другие сведения публикуются только для дождей с $h \geq 10$ мм [4]. В оформленных архивных материалах (особенно после 1970 г.) практически приводятся данные плювиографических наблюдений лишь за дождями с $h \geq 2,5$ мм. Поэтому авторы были вынуждены принять $h_{\text{мин}} = h_{2,5} = 2,5$ мм, а \bar{s} считать равным среднему за год количеству дождей с суммой осадков $h \geq 2,5$ мм, т.е. $\bar{s} = s_{2,5}/n$. К тому же, как можно увидеть из дальнейшего изложения, отдельно взятые дожди с $h < 2,5$ мм при решении вопросов дождевой канализации расчетными не являются, и на точности определения более высоких значений h такое решение не сказывается.

После преобразования уравнение (2) может быть представлено в виде

$$\lg(h - h_{\text{мин}}) = \lg \alpha + k \lg(\lg \bar{s} + \lg p). \quad (3)$$

Если ввести обозначения $y = \lg(h - h_{\text{мин}})$; $x = \lg(\lg \bar{s} + \lg p)$; $a = k$; $b = \lg \alpha$, то выражение (3) записывается в виде уравнения прямой линии $y = ax + b$.

С учетом уравнения (1) выражение x представим в виде

$$x = \lg(\lg \bar{s} + \lg n - \lg s).$$

Методом наименьших квадратов могут быть установлены значения параметров сглаживающей аналитической кривой распределения $h(p)$, наиболее близко расположенной относительно эмпирической кривой,

$$a = \frac{m \sum_1^m x_i y_i - (\sum_1^m x_i) (\sum_1^m y_i)}{m \sum_1^m x_i^2 - (\sum_1^m x_i)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{(\sum_1^m x_i^2) (\sum_1^m y_i) - (\sum_1^m x_i) (\sum_1^m x_i y_i)}{m \sum_1^m x_i^2 - (\sum_1^m x_i)^2}. \quad (5)$$

Отсюда $k = a$; $\alpha = \text{ant } \lg b$.

Может быть также определено значение коэффициента корреляции между соответствующими точками эмпирических и аналитических кривых. В связи с небольшим объемом памяти использованной клавишной ЭВМ применено уравнение

$$r = \frac{m \sum_1^m x_i y_i - (\sum_1^m x_i) (\sum_1^m y_i)}{\sqrt{[m \sum_1^m x_i^2 - (\sum_1^m x_i)^2] [m \sum_1^m y_i^2 - (\sum_1^m y_i)^2]}} , \quad (6)$$

где m – число точек эмпирической кривой, принятой для определения выражений (4), (5), (6).

Плювиографические наблюдения за интенсивностью дождей ведутся на ряде метеостанций БССР начиная с 1951 г., в результате чего накапливаются также данные о количестве выпавших дождей и суммах осадков за каждый из них. Параметры аналитических кривых нами установлены для 15 станций, расположенных более или менее равномерно по территории Белоруссии с продолжительностью наблюдений в основном 20–30 лет.

Отметим, что в связи с несвоевременными установкой и снятием плювиографов, соответственно, ранней весной и поздней осенью, а также по другим причинам могут быть не зафиксированы отдельные дожди. Бывают случаи браковки их плювиограмм. Однако при этом приводятся указания о времени начала, окончания и сумме осадков за дождь по осадкомеру. Случается, что в некоторые годы данные наблюдений за отдельные месяцы отсутствуют. В работе использованы лишь те данные за апрель, октябрь, ноябрь, которые имеются в оформленных материалах наблюдений с учетом того, что в связи с малым количеством осадков в эти месяцы возможные пропуски в наблюдениях лишь незначительно скажутся на параметрах рассматриваемых распределений. Восстанавливались только пропуски за целые месяцы периода май–сентябрь. Для этого использовались предварительно построенные связи между суммами осадков за сутки и за максимальный дождь, выпавший в эти сутки.

Поскольку для разных станций в зависимости от количества лет наблюдений $s_{2,5} \approx 700-950$ и определение значений (4), (5), (6) на клавишных ЭВМ при таком числе членов слишком трудоемко, авторы решили отбирать их значительно меньше. Выписывались значения координат членов убывающего ряда так, чтобы значения h изменялись примерно через 1 мм. Число членов в новых рядах составляет $m = 38-45$. Для каждого нового ряда вычислялись значения x , y . По ним в соответствии с уравнениями (4), (5) и (6) определялись параметры a , b и коэффициент r , а уже затем параметры k и α (табл. 1). Как видно из таблицы, при принятии в качестве минимального учитываемого дождя $h_{\text{мин}} = 2,5$ мм среднее за год число дождей с суммами осадков $h \geq 2,5$ мм составляет $\bar{s}_{2,5} = 26,6-36$, а значения параметров $\alpha = 12,9-18,1$; $k = 1,16-1,39$.

Следует отметить, что между приведенными параметрами корреляционные связи не выявлены. Не выявлены они и между значениями этих параметров и нормами сумм осадков за теплый период.

Применение теоретических кривых распределения для описания статистических совокупностей требует проверок однородности и случайности исходного эмпирического материала, а также степени согласия с ним теоретических схем [5]. На величине осадков, фиксируемых за выпавший дождь, в общем

Табл. 1. Характеристики кривых распределения периодов однократного превышения сумм осадков по данным всего ряда наблюдений

Станции	Период плювиографических наблюдений, годы	Значения параметров аналитических кривых			Значения критерия согласия аналитической и эмпирической кривых χ^2		Значения отклонений ординат аналитической и эмпирической кривых $\Delta h, \%$		среднеквадратические
		$\bar{s}_{2,5}$	a	k	k $\Sigma d^2/E$ l	при числе градаций	максимальные		
							+	-	
Верхнедвинск	1955–1980	33,3	12,9	1,39	33,15	15	+44,4	-20,8	$\pm 21,8$
Витебск	1955–1977	33,8	14,1	1,29	15,9	16	+31,8	-8,6	$\pm 13,8$
	1979–1980								
Сенно	1964–1980	29,1	17,3	1,28	14,0	15	+18,8	-15,2	$\pm 11,5$
Горки	1951–1980	31,5	14,9	1,16	17,1	15	+10,8	-7,7	$\pm 4,5$
Борисов	1955–1980	33,5	15,7	1,31	17,76	16	+30,5	-6,9	$\pm 9,6$
Минск	1951–1980	34,7	15,7	1,36	33,82	16	+19,6	-9,7	$\pm 9,0$
Гродно	1961–1980	29,6	14,7	1,22	13,9	15	+26,6	-9,4	$\pm 12,8$
Новогрудок	1956–1980	36,0	16,2	1,23	28,6	15	+25,7	-13,5	$\pm 12,6$
Костюковичи	1961–1980	26,6	14,1	1,28	17,4	14	+17,6	-11,4	$\pm 7,7$
Волковыск	1962–1980	33,3	14,9	1,33	23,3	15	+60,6	-7,7	$\pm 22,4$
Бобруйск	1952–1977	31,6	18,1	1,31	15,9	15	+69,1	-13,8	$\pm 21,3$
Пружаны	1955–1980	32,7	15,6	1,29	11,81	15	+39,9	-10,6	$\pm 12,8$
Василевичи	1955–1980	29,9	15,3	1,25	17,86	15	+28,7	-9,55	$\pm 10,9$
Пинск	1951–1980	30,7	14,9	1,27	16,56	15	+21,2	-11,8	$\pm 8,5$
Брест	1958–1980	31,0	17,7	1,34	19,42	15	+26,4	-8,63	$\pm 9,16$

случае могут сказываться многие факторы. Возможностей проанализировать влияние каждого из них в отдельности авторы не имели. Суждения о степени однородности исходных данных выносили в основном по характеру эмпирических кривых распределения. Случайность эмпирического материала в данном случае можно не проверять, ибо общепризнано, что климатические явления относятся к случайным. Проверку степени согласия аналитических и эмпирических кривых распределения производили с помощью критерия [3, 5]

$$\chi^2 = \sum_1^t \frac{d^2}{E} ,$$

где E — число членов, ожидаемое в градациях аналитического распределения; $E + d$ — их число, наблюдаемое фактически; $d = E + d - E$ — разность между фактическим и ожидаемым числами членов в градациях; t — число градаций (интервалов).

Для оценки нужного числа t использовано эмпирическое выражение [5] $t = 5 \lg s$, где s — общий объем наблюдений.

В данных условиях $t = 14-15$. Нами это требование обеспечено путем принятия в качестве границ градаций величин h , соответствующих значениям периодов однократного превышения p , упоминаемым в нормативной литературе ($p = 100-0,05$). Для станций, у которых значению $h = 2,5$ мм соответствует $p < 0,033$, добавлялась градация, соответствующая $p = 0,05-0,033$ (см. табл. 3). Для принятых значений p по уравнению (2) при известных параметрах $h_{\text{мин}}, \bar{s}, \alpha, k$ определялись соответствующие значения h аналитических кривых, а по выражению (1) при известном n — и соответствующие значения s . Величина E для каждой градации устанавливалась в виде разности между значениями s для границ этой градации.

Затем для принятых градаций (по h) на основе эмпирического распределения определялись попадающие в эти интервалы количества дождей $E + d$ и значения d .

По таблице критических значений χ^2 [3] рассчитывали $\chi_{0,05}^2$ и $\chi_{0,01}^2$ для уровней значимости 5 и 1 % при числе степеней свободы $l = t - c - 1$, где t — число градаций; c — параметров распределения (здесь $c = 4$).

При сопоставлении вычисленных с критическими значениями χ^2 могут иметь место три случая: 1. При $\chi_{0,05}^2 > \sum_1^t d^2/E$ считается, что гипотеза о приемлемости испытываемой теоретической схемы для описания эмпирического распределения верна. 2. При $\chi_{0,05}^2 < \sum_1^t d^2/E < \chi_{0,01}^2$ правильность гипотезы вызывает сомнение, но и отрицать ее полностью нельзя. 3. Если $\chi^2 < \sum_1^t d^2/E$, то гипотеза неправильна. Расчеты показали, что при построении аналитических кривых при предположении однородности всех членов выборки случай 1 имеет место на 9, случай 2 — на 2 и случай 3 — на 4 станциях (см. табл. 1).

Табл. 2. Характеристики составных участков суммарных кривых распределения периодов однократного превышения сумм осадков по отношению к однородным совокупностям

Станции	Значения параметров аналитических кривых по участкам							Значения критерия согласия аналитических и эмпирических кривых				Значения отклонений ординат аналитических и эмпирических кривых, %				
	нижнему			среднему				верхнему						максимальные		среднеквадратические
	$\bar{s}'_{2,5}$	α'	k'	$h''_{мин}, мм$	ξ''	α''	k''	$h'''_{мин}, мм$	\bar{s}'''	α'''	k'''	$\frac{\sum d^2}{E}$	t	+	-	
Верхнедвинск	33,3	11,2	1,24	18,9	1,46	34,5	1,13	38,1	0,346	47,8	0,80	7,0	15	+11,8	-9,5	±5,1
Витебск	33,8	12,9	1,25					31,8	0,4	49,1	0,867	8,08	15	+9,2	-8,4	±4
Сенно	29,1	13,9	1,15	18,8	2,17	19,8	0,78	36,7	0,412	38,3	0,64	7,62	14	+9,98	-5,36	±4,9
Горки	31,5	14,9	1,23	25,7	1,2	24,7	1,32	37,5	0,3	24,6	1,33	8,77	15	+5,6	-5,9	±2,87
Борисов	33,5	14,5	1,22	22,9	1,62	31,2	0,976	52	0,192	31,6	1,26	15,1	15	+17	-8,2	±5,82
Минск	34,7	13,2	1,19	18,1	2,73	27,0	1,11	38,8	0,467	31,6	0,556	13,66	15	+4,4	-5,6	±2,94
Гродно	29,6	13,6	1,20					28,9	0,55	33,5	0,753	12,51	14	+10,4	-8,5	±5,1
Новогрудок	36,0	13,9	1,15	24,3	1,36	25,9	0,862	39,6	0,4	34,5	0,817	12,41	15	+9,2	-6,3	±4,7
Костюковичи	26,6	14,2	1,31					35,0	0,2	42,9	1,27	20,2	14	+9,2	-13,4	±5,8
Волковыск	33,3	14,0	1,24	22,3	1,42	27,5	0,97	45,3	0,211	78,7	0,84	22,75	15	+4,04	-6	±3,33
Бобруйск	31,6	15,7	1,21	26,0	1,39	24,4	0,665	45,4	0,308	26,7	0,607	15,52	15	+4,1	-7,6	±3,13
Пружаны	32,7	15,6	1,27					41,4	0,192	49,5	0,78	11,36	15	+13,2	-6,7	±5,61
Василевичи	29,9	14,3	1,19	14,0	4,5	20,2	0,997	44,3	0,154	47,5	0,725	15,9	14	+6,1	-7,1	±4,03
Пинск	30,7	14,2	1,28	13,0	4,87	21,4	0,921					7,34	15	+17,5	-8,2	±7,24
Брест	31	15,8	1,23	19,0	2,91	27	0,907	43,7	0,391	45,5	0,888	9,99	15	+9	-8,7	±4,46

Табл. 3. Координаты аналитических суммарных кривых распределения периодов однократного превышения сумм осадков за дожди

Станции	Наибольшие из наблюдаемых значений h, мм	Ожидаемые значения слоя осадков (мм) за дождь при периоде однократного превышения p (лет)							p члена h = 2,5 мм, лет								
		100	50	25	20	10	5	3	2	1	0,50	0,33	0,20	0,1	0,05	0,033	
Верхнедвинск	79,3	105,6	94,8	83,5	79,7	67,3	53,3	39,9	33,4	23,4	16,9	14,3	11,3	7,5	4,2	2,7	0,03
Витебск	77,5	105,7	93,5	80,9	76,7	63,4	49,1	37,2	30,0	24,5	19,2	16,2	12,7	8,3	4,5	2,8	0,03
Сенно	69,9	88,7	82,3	75,3	72,9	64,7	54,9	45,0	32,7	27,3	20,2	16,1	12,7	8,3	4,2	2,7	0,034
Горки	57	78,9	68,1	58,1	55,1	46,7	39,9	37,1	32,6	26,6	21,0	17,7	13,8	8,8	4,5	2,6	0,032
Борисов	86,8	95,3	82,9	71,5	68,1	58,5	51,2	44,5	39,0	29,6	21,0	17,8	14,0	9,1	4,8	2,8	0,03
Минск	72,2	80,7	76,4	71,5	69,8	64,0	56,9	49,6	37,4	28,9	21,0	16,7	13,3	8,9	4,9	2,9	0,029
Гродно	62	79,7	72,9	65,8	63,4	55,6	46,9	39,2	31,9	24,1	18,9	15,9	12,5	8,0	4,1	2,7	0,034
Новогрудок	79,7	90,2	82,3	74,1	71,3	62,4	52,5	43,9	36,9	28,9	20,6	17,6	14,2	9,6	5,4	3,2	0,028
Костюковичи	62,8	94,9	77,9	62,2	57,5	44,3	40,4	35,4	31,4	25,0	19,0	15,7	11,8	7,1	3,4	2,6	0,038
Волковыск	98,5	144,9	125,5	105,1	98,3	75,8	48,5	39,9	35,1	26,7	20,4	17,2	13,5	8,8	4,7	2,8	0,030
Бобруйск	128,5	79,4	75,0	70,2	68,5	62,7	55,0	43,7	40,2	32,6	22,0	18,5	14,5	9,2	4,7	2,6	0,032
Пружаны	90,1	101,6	90,2	78,1	74,0	59,9	41,5	39,9	35,8	28,9	22,4	18,7	14,5	9,2	4,7	2,7	0,031
Василевичи	77,2	98,1	87,8	76,5	72,5	58,4	41,3	36,8	33,3	27,2	21,1	17,5	13,1	8,4	4,3	2,5	0,033
Пинск	58	66,2	60,7	55,1	53,3	47,6	41,9	37,6	34,2	28,1	21,9	18,0	13,0	8,2	4,3	2,5	0,033
Брест	85,5	112,4	100,8	88,8	84,9	72,3	58,9	48,0	40,2	32,5	24,2	18,5	14,4	9,1	4,6	2,6	0,032

Определены также отклонения ординат аналитических и эмпирических кривых. Как оказалось, максимальные отклонения — от $-20,8$ до $+69,1$ %, среднеквадратические — от $8,5$ до $22,4$ %.

Все это показывает, что описание распределений при помощи единой аналитической кривой не всегда дает удовлетворительные результаты. Эмпирические кривые ранжированных величин $h(p)$ в некоторых местах имеют изломы (рис. 1). Между ними выделяются 2–3 участка. Можно считать, что заключенные в пределах этих участков совокупности являются относительно одно-

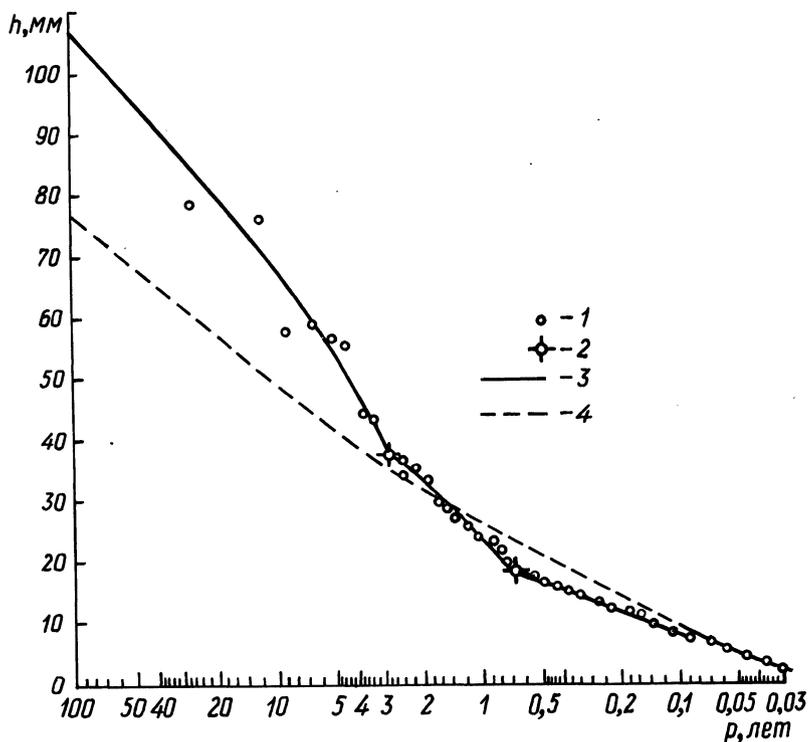


Рис. 1. Кривые распределения периодов однократного превышения суммы осадков за дождь на метеостанции Верхнедвинск: 1 — эмпирические точки; 2 — точки излома кривой; 3 — аналитическая суммарная кривая из составных участков с относительно однородными совокупностями; 4 — аналитическая кривая с параметрами, установленными сразу по всему ряду относительно разнородной совокупности.

родными. При расчетах речного стока в аналогичных случаях [5] рекомендуется устанавливать вероятные причины возникающей неоднородности в пределах всей совокупности, а также однородности ее отдельных частей. Затем определяются параметры кривых обеспеченности стока для каждого участка и методом композиции строится расчетная кривая, отвечающая всей совокупности.

Физических причин нарушения однородности изменения сумм осадков за

дожди разной повторяемости авторы назвать не могут. Прямо из [5] перенести методику построения суммарных кривых распределения нельзя. Нами для каждого из выделенных участков определялись параметры аналитических кривых по изложенной методике: во-первых, для определения $h_{\text{мин}}$ и \bar{s} в каждом случае используются минимальное значение h и максимальное s последнего члена совокупности участка (где значения h и s отсчитываются от общего начала координат, т.е. в число s входят дожди не только данного, но и вышележащих участков); во-вторых, при определении параметров α и k применяются члены совокупности только данного участка (в выражениях (4), (5), (6) число m равно числу членов в пределах участка). Построенные для каждого участка аналитические кривые ограничены снизу и не ограничены сверху. Их нижние точки фиксируются принятыми по эмпирическим данным параметрами $h_{\text{мин}}$ и \bar{s} . Точки излома общей кривой нами включались попеременно в качестве последнего члена вышележащего и первого члена нижележащего участка. Практически в верхних частях аналитические кривые нижнего и среднего участков совсем близко подходят к точкам излома. Поэтому не представляет трудности графически объединить аналитические кривые участков в общую для всей совокупности суммарную кривую.

Значения параметров аналитических кривых участков приведены в табл. 2, а координаты суммарных аналитических кривых — в табл. 3. Как показано в табл. 2 и на рис. 1 (на примере одной стадии), эти аналитические кривые согласуются с эмпирическими. Здесь для 13 станций вычисленные значения критерия меньше критических 5 %-ной значимости и для 2 станций находятся между значениями критических 5- и 1 %-ной значимости. Величины отклонений ординат аналитических и эмпирических кривых не превышают 17 %, среднеквадратические составляют 3–7 %.

Значения коэффициентов корреляции, установленные по формуле (6), имеют очень высокие значения, превышающие 0,8 ($r = 0,972–0,998$) для единых кривых; 0,895–0,997 для верхних, 0,982–0,997 для средних, 0,986–0,999 для нижних участков суммарных кривых). Коэффициенты дают общее представление о тесноте связей сопоставляемых кривых, однако они не могут быть использованы для оценки согласия между аналитическими и эмпирическими кривыми.

В верхних участках эмпирических кривых экстремальные значения сумм осадков за дождь иногда значительно отличаются от всех других значений. Проверка однородности этих совокупностей с помощью критерия Диксона [6] показала, что лишь для станции Бобруйск экстремальная величина 128,5 мм могла быть признана непрезентативной и подлежащей исключению при определении параметров.

Приведенные в табл. 3 значения сумм осадков с периодом однократного превышения $p > 20–30$ лет, хотя и являются экстраполяцией аналитических кривых за пределы наблюдений, не противоречат полученным представлениям о возможных их значениях. Исключение — по станции Волковыск.

Полученные результаты о суммарных аналитических кривых (см. табл. 2 и 3) могут быть использованы для практических целей. Открытым остается вопрос построения таких кривых для пунктов без плювиографических наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-32-74. Нормы проектирования. Канализация, Наружные сети и сооружения. — М., 1975, с. 89. 2. Алексеев Г.А. Расчеты паводочного стока рек СССР. — Л., 1955, с. 198. 3. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии: Пер. с англ. — Л., 1963, с. 416. 4. Метеорологический ежемесячник. Вып. 7, ч. 2, № 1–13. — Минск, 1961–1980. 5. Рождественский А.В., Чеботаров А.И. Статистические методы в гидрологии. — Л., 1974, с. 424. 6. Артемьева Н.П., Лившиц И.М. Применение статистических критериев для исключения выделяющихся членов гидрологических рядов. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Минск, 1972, вып. 2, с. 5–16.

УДК 628.143.001.2

В.Л.СТАРИНСКИЙ, канд.техн.наук (БПИ)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОВЫПУСКОВ И ВОЗДУХОВПУСКНЫХ УСТРОЙСТВ ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ

Расчет водовыпусков и воздухопускных устройств водопроводных линий, разработанный А.А.Суриным несколько десятилетий назад [1, 2] и используемый до настоящего времени без каких-либо изменений, имеет ряд существенных недостатков и требует уточнения. Во-первых, он предусматривает ограничения на длину опораживаемых линий (до 1,5 км) и вполне определенное соотношение между диаметрами этих линий и их водовыпусков (около 3,5). Во-вторых, не учитывает влияния напора водовыпуска и гидравлического сопротивления линий на процесс и время их опорожнения.

В связи с необходимостью учета этих факторов при современном проектировании водопроводных сетей рассмотрим процесс опорожнения наклонных водопроводных линий без наложения на факторы каких-либо искусственных ограничений. В частности, из условия баланса напоров представленной на рис. 1, а опораживаемой линии можно составить равенство

$$H_{\text{В}} + H_{\text{Л}} = (r_{\text{В}} + r_{\text{ОЛ}} l_{\text{Л}}) Q_{\text{В}}^2, \quad (1)$$

где $H_{\text{В}}$ и $H_{\text{Л}}$ — напоры водовыпуска и опораживаемой линии, соответственно; $r_{\text{В}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления водовыпуска; $r_{\text{ОЛ}}$ — коэффициент удельного (на единицу длины) гидравлического сопротивления опораживаемой линии; $l_{\text{Л}}$ — длина заполненной водой части этой линии; $Q_{\text{В}}$ — расход воды из водовыпуска.

Если величину $l_{\text{Л}}$ представить через $H_{\text{Л}}$ и $I_{\text{Л}}$ как $l_{\text{Л}} = H_{\text{Л}} : I_{\text{Л}}$, то выражение (1) получим в виде

$$H_{\text{В}} + H_{\text{Л}} = \left(r_{\text{В}} + r_{\text{ОЛ}} \frac{H_{\text{Л}}}{I_{\text{Л}}} \right) Q_{\text{В}}^2 = (r_{\text{В}} + r'_{\text{ОЛ}} H_{\text{Л}}) Q_{\text{В}}^2, \quad (2)$$

где $r'_{\text{ОЛ}} = r_{\text{ОЛ}} : I_{\text{Л}}$ — коэффициент удельного гидравлического сопротивления опораживаемой линии, отнесенный к единице длины ее вертикальной проекции; $I_{\text{Л}}$ — геометрический уклон рассматриваемой линии.