

кие расчеты методом Монте-Карло / Под ред. А.Ш.Резникова. - М., 1969. 3. Гидрологические расчеты при проектировании водохранилищ СССР / И.В.Боголюбова, В.С.Вугинский, Р.В.Донченко, Б.С.Цейтлин. - Мат-лы Международн. симп. по специфическ. аспектам гидролог. расчетов для водхоз. проект. Л., 1979.

УДК 628.221

Е.А.Казанли, инж. (БПИ)

### К РАСЧЕТУ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАНАЛИЗАЦИИ

Количественную оценку интенсивности ливней при расчете канализационных сетей рекомендуется осуществлять путем специальной обработки записей самопишущих дождемеров за многолетний период. В случае отсутствия таких наблюдений или их краткосрочности строительные нормы и правила (СНиП-П-32-74) рекомендуют пользоваться картами и формулами. Так, для определения интенсивности в таких условиях применяется формула

$$q = \frac{20^n q_{20} (1 + c \lg p)}{t^n}, \quad (1)$$

где  $q$  - средняя максимальная интенсивность дождя, л/с на 1 га;  $t$  - продолжительность дождя, мин;  $n$  - параметр, характеризующий уменьшение средней интенсивности с увеличением продолжительности при заданном периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя  $p$ ;  $q_{20}$  - интенсивность дождя, соответствующая продолжительности 20 мин при  $p=1$  год;  $c$  - параметр, характеризующий вероятность интенсивности.

Из формулы (1) следует, что степень точности определения интенсивности будет зависеть от надежности данных о величинах параметров  $c$ ,  $q_{20}$ ,  $n$ , которые рекомендуется определять по мелкомасштабным картам-схемам. На картах приведена средняя величина параметра  $n$  для  $p$  в пределах  $0,33 \pm 10$ . Однако в ходе определения этой величины замечено, что в ряде пунктов и регионов она устойчиво меняется в зависимости от изменения  $p$ , и особенно при  $p < 1$ . Но пока имеются рекомендации по учету изменения  $n$  только для Средней Азии и Азербайджана по формуле

$$n = n_1 p^k, \quad (2)$$

где  $n_1$  - величина параметра при  $p$ , равном одному году;  $k$  -

параметр, характеризующий изменчивость выпадения осадков и способный изменяться в указанном регионе от 0,05 до 0,15.

В ряде литературных источников имеются указания на то, что и за пределами этого региона величина  $n$  не остается постоянной при изменении  $p$  [1, 2].

В действующих же СНиП на территории БССР показана одна изолиния, соответствующая значению  $n = 0,75$ . Обработка записей плювиографов за 16–22 года в 11 пунктах на территории БССР показала, что  $n$  изменяется от 0,53 до 0,81 при различных  $p$  [3]. Это нельзя не учитывать, так как при определении интенсивности по среднему значению  $n = 0,75$  вероятность ошибки составляет до 33%. Следовательно, в пунктах на территории БССР, где не ведутся наблюдения с помощью самопишущих дождемеров, пользуясь для определения  $n$  только картами, можно допустить значительные ошибки. В целях устранения этого недостатка, основываясь на данных обработки записей плювиографов, разработана формула для определения величины  $n_{cp}$  по сумме осадков теплого периода (апрель – октябрь):

$$n_{cp} = b \pm aN_m, \quad (3)$$

где  $n_{cp}$  – среднеарифметическая величина при  $p$  от 0,33 до 10;  $N_m$  – сумма осадков за апрель – октябрь (берется по ближайшей метеорологической станции), мм;  $a$  и  $b$  – коэффициенты, величина которых определяется по табл. 1 в зависимости от суммы осадков теплого периода (апрель – октябрь), а на севере – за период положительных среднемесячных температур.

Табл. 1. Величины коэффициентов  $a$  и  $b$

Период, за который взяты осадки	Сумма осадков $N_m$ по различным группам районов, мм	Коэффициенты		Возможные отклонения $n$ от определенных путем обработки записей, %	
		$a$	$b$	в сред-	макси- мально
Апрель – октябрь	361–482	0,00106	0,24	3	10
"	223–358	0,00119	0,33	4	10
"	102–219	-0,00061	0,81	5	10
"	40–101	-0,00215	0,79	6	8
"	439–710	-0,00055	0,84	7	10
"	126–206	0,00035	0,50	6,5	11
"	223–386	0,00035	0,50	6,5	11

Обобщение данных по 100 пунктам на территории СССР показывает, что формула (3) применима и за пределами БССР. Формула не рекомендуется для определения  $n$  в пунктах, расположенных в горах до определения величин коэффициентов  $a$  и  $b$ . Но, как уже было сказано, величина  $n_{\text{ср}}$  может существенно отличаться от  $n$ , соответствующих различным величинам  $p$ .

Анализ данных обработки записей дождей на территории БССР [3] позволил предложить формулу для перехода от  $n_{\text{ср}}$  к  $n_p$ :

$$n_p = y n_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где  $y$  – коэффициент, зависящий от периода однократного превышения расчетной интенсивности (табл. 2).

Табл. 2. Величина  $y$  при различных  $p$

$p$	2-10	1	0,5	0,33
$y$	1,03	1,06	0,93	0,88

Отклонения рассчитанных по формуле (4)  $n_p$  от определенных путем обработки записей в среднем не превышают 3-7%.

Возникает вопрос: можно ли применять формулу (4) для определения  $n$  и за пределами БССР.

Ответ на этот вопрос может дать анализ табл. 3. В таблице показаны пункты, в которых параметр  $k$ , входящий в формулу (2), имеет неодинаковые значения. Для Тарту (Эстония) его величина может быть принята равной 0, Баку – 0,1, Минска при  $p$  от 1 до 10 его значение близко к 0, а от 0,5 до 0,33 – к 0,1. По некоторым показателям величина  $k$  для Волгограда, Свердловска, Новосибирска близка к 0,05.

Как видно из табл. 2, расхождения между величиной  $n_p$ , определенной по формулам (2) и (4), невелики и не превышают 14%, а в среднем по всем пунктам равны 3-4%.

Экстремальные отклонения (11-14%) относятся к Тарту и Баку, что объясняется спецификой изменения  $n$ , обусловленной характером климатических условий: величина  $n$  в Баку убывает при изменении  $p$  от 10 до 0,33. В Тарту, наоборот, с убыванием  $p$  от 10 до 0,33  $n$  возрастает. В Минске имеют место обе тенденции:  $n$  возрастает при изменении  $p$  от 10 до 1 и убывает при изменении  $p$  от 1 до 0,33. Отсюда понятно, почему наибольшие расхождения наблюдаются на концевых участках рядов.

Следует отметить, что величины  $n$ , определенные по формуле (2) при величине  $k = 0,05$  и формуле (4), существенных расхождений не дают.

Табл. 3. Величина  $n$  в некоторых пунктах

Пункт	$n_{\text{ср}}$	$n_p$						
		$p_{10}$	$p_5$	$p_3$	$p_2$	$p_1$	$p_{0,5}$	$p_{0,33}$
Баку								
обработка записей	0,59	0,69	0,65	0,62	0,59	0,55	0,51	0,49
формула (4)	0,57	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,53	0,51
отклонение, %	4	14	9	5	0	9	4	4
Тарту								
обработка записей	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,68	0,68
формула (4)	0,67	0,69	0,69	0,69	0,69	0,71	0,62	0,59
отклонение, %	2	6	6	6	6	7	10	13
формула (2), $k = 0$	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
отклонение, %	0	2	2	2	2	0	3	3
Минск								
обработка записей	0,72	0,76	0,74	0,76	0,76	0,73	0,67	0,64
формула (4)	0,71	0,73	0,73	0,73	0,73	0,75	0,66	0,63
отклонение, %	1	4	1	4	4	3	1	2
формула (2), $k = 0,05$	0,75	0,81	0,79	0,77	0,76	0,73	0,71	0,69
отклонение, %	4	7	7	1	0	0	6	8
Волгоград								
формула (4)	0,69	0,71	0,71	0,71	0,71	0,73	0,64	0,61
формула (2), $k = 0,05$	0,72	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66
отклонение, %	4	11	7	4	1	4	6	8
Свердловск								
формула (4)	0,76	0,78	0,78	0,78	0,78	0,81	0,69	0,66
формула (2), $k = 0,05$	0,75	0,81	0,79	0,77	0,76	0,73	0,71	0,69
отклонение, %	1	4	1	1	3	11	3	5
Новосибирск								
формула (4)	0,72	0,74	0,74	0,74	0,74	0,76	0,67	0,64
формула (2), $k = 0,05$	0,74	0,80	0,78	0,76	0,75	0,72	0,70	0,68
отклонение, %	3	8	5	3	1	5	4	6

Однако при пользовании формулой (2) необходимо знать величину  $n$  при  $p = 1$  году, определяемую путем обработки записей дождей (как и величину  $k$ ), что не везде возможно. В то же время, зная количество осадков теплого периода, по формулам (3) и (4) и табл. 1 и 2 можно с достаточной степенью точности определить величины  $n_p$  и  $n_{ср}$  не только на территории БССР, но и на всей Европейской части СССР, в Уральском и Западно-Сибирском регионах, так как климатические характеристики на территории БССР во многом схожи с их характеристиками (табл. 4).

По мере же накопления фактических данных о величинах  $n_p$  значения  $n$ , приведенные в табл. 3, могут быть уточнены применительно к особенностям климатических условий.

До последнего времени мало уделялось внимания расчету интенсивности часто повторяющихся дождей при  $p < 0,33$ . Однако в связи с необходимостью очистки поверхностных сточных вод с осадочных территорий городов и других населенных пунктов перед сбросом их в водоемы из коллекторов при раздельной системе канализации вопрос этот становится весьма актуальным.

В литературе [5] для определения интенсивности дождей при  $p < 0,33$  рекомендована формула

$$q_p = \frac{20^n q_{20} (m \sqrt[p]{p} - \tau)}{t^n (1 - \tau)}, \quad (5)$$

Табл. 4. Основные характеристики осадков на территории СССР [4]

Регионы	Диапазон осадков за апрель – октябрь, мм	Средне-суточный максимум, мм	Суточный максимум обеспеченностью 63%, мм	Максимальная 20-минутная интенсивность, мм
Белорусский	370-482	34-41	25-31	0,8-2,2
Центральный	372-429	29-40	24-32	1,0-1,8
Юго-Западный, /Донецко-Приднепровский	236-403	33-42	27-36	0,7-1,9
Северо-Западный	335-462	27-33	22-30	0,6-1,9
Прибалтийский	402-471	32-39	29-30	0,8-1,1
Южный	236-294	35-39	29-30	0,8-1,1
Западно-Сибирский	324-372	26-34	22-30	0,7-1,1

где  $q_p$  - интенсивность дождя при  $p < 0,33$  л/с на 1 га;  $\tau$  - величина, связанная с климатическими условиями;  $m$  - показатель корня (может изменяться от 2 до 4).

Формула выведена на основании обработки многолетних записей плювиографами дождей, выпавших в Ленинграде, и подтверждена данными наблюдений по Архангельску и Таллину, т. е. в приморских пунктах, где ход выпадения и интенсивность дождей имеют свою специфику по отношению к пунктам, удаленным от морских побережий и крупных озер. Для этих условий приняты  $\tau = 0,2$  и  $m = 3$ .

В других пунктах рекомендуется принимать  $\tau$  в зависимости от величины параметра  $s$  в пределах  $0,2-0,27$ , а  $m = 3$ . Однако, как показала обработка записей дождей в Минске, Пинске, Горках (Белоруссия),  $m = 2,55$ , что существенно влияет на величину интенсивности. Следовательно, до разработки более точного метода определения величин  $m$  при расчете интенсивности дождя по формуле (5) возможны существенные ошибки.

В условиях БССР  $q_p$  при  $p < 0,33$  в пунктах, где не ведутся записи дождей плювиографами, величину  $q_p$  целесообразно определять по формуле

$$q_p = \frac{A_p}{t n_p} [6]. \quad (6)$$

Величину  $A$  при  $p = 0,25-0,07$  рекомендуется рассчитывать по формуле

$$A_p = 20^{n_{cp}} q_{20} \left(\frac{n_p}{n_{cp}}\right)^2 p^\mu, \quad (7)$$

где  $\mu$  - показатель степени равен  $0,57$  для условий БССР и для пунктов, где коэффициент  $s$ , входящий в формулу (1), изменяется от  $0,85$  до  $1,0$ . Там же, где  $s = 1,1-1,2$ , величина  $\mu = 0,72$ .

При  $p = 0,05-0,03$   $A_p$  следует рассчитывать по формуле

$$A_{p \ 0,05-0,03} = 20^{n_{cp}} q_{20} (2,2p - 0,033); \quad (8)$$

$n_p$  при  $p < 0,33$  - по формуле

$$n_p = n_{cp} p^{0,11}. \quad (9)$$

До накопления данных формулы (6)-(9) за пределами БССР можно применять там, где сумма осадков за апрель-октябрь равна  $402-482$  мм,  $q_{20} = 80-103$  л/с на 1 га,  $n_{cp} = 0,65-0,74$ , т. е. в сходных условиях.

Уточнение расчетной интенсивности дождей на территории БССР позволяет снижать диаметры труб на один сортамент в сравнении с расчетами по рекомендации СНиП в периоды превышения расчетной интенсивности  $p_{1-0,33}$ . Это способствует снижению капитальных затрат до  $3,0 \div 8,0$  тыс. руб. на 1 км водосточной коллекторной сети. Возможна экономия приведенных затрат на 850–1650 руб. ежегодно на тот же измеритель.

Таким образом, проведенные исследования по уточнению параметра  $n$ , входящего в формулу для расчета интенсивности дождей, позволяют более обоснованно выполнять расчеты ливневой канализации не только на территории Белоруссии, но и далеко за ее пределами. Это найдет применение в первую очередь при проектировании водосточной сети в усадьбах колхозов, совхозов, на промышленных площадках, особенно в малообжитых районах СССР и позволит значительно снизить сметную стоимость строительства водосточной сети.

#### Л и т е р а т у р а

1. Молоков М.В., Гулиев Ф.С. Новые данные по нормам интенсивности дождей для расчета дождевой канализации. – Водоснабжение и санитарная техника, 1970, № 1. 2. Молоков М.В., Кичев С.Н. Нормы интенсивности дождей для юго-востока Европейской территории СССР. – Информационно-реферативный сборник, Сер. IY "Проектирование водоснабжения и канализации". – М., 1976, вып. 4 (102). 3. Молоков М.В., Казанли Е.А. Определение параметра  $n$  по сумме осадков теплого периода в различных зонах СССР. – В сб.: Проблемы очистки и использования природных и сточных вод. – Минск, 1975. 4. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л., 1968. 5. Молоков М.В. Вывод формулы интенсивности дождей для расчета ливнеспусков новой канализации г. Ленинграда. – В сб.: Санитарная техника. Л., 1949, вып. 1/4. 6. Казанли Е.А. Расчет интенсивности дождей частой повторяемости. – В сб.: Проблемы использования и охраны вод. – Минск, 1979.