



УДК 628.33

С. И. ЭПШТЕЙН, канд. техн. наук, старший научный сотрудник,

З. С. МУЗЫКИНА, канд. техн. наук, ученый секретарь

УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА НАКОПИТЕЛЕЙ ДЛЯ СБОРА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Теоретическим путем получены более точные зависимости для определения объема накопителя дождевых вод, рассчитанного на прием наиболее загрязненной части стока. При этом учтена прямая связь между коэффициентом стока, интенсивностью дождя и временем. Рассмотрены возможные случаи расчета для различных конфигураций водосборного бассейна. Приведенные зависимости рекомендуется использовать при проектировании накопителей для сбора поверхностных сточных вод с территории предприятий.

поверхностный сток, накопители, объем накопителя, водосборный бассейн, очистка стока

Поверхностные сточные воды являются существенным фактором загрязнения природных водоемов.

В поверхностном стоке промышленных предприятий могут содержаться взвешенные вещества, нефтепродукты, бытовой мусор (бумага, тряпки), опавшие листья, мелкие обломки веток, а также вещества, накопление которых на поверхности грунта и дорожных покрытий обусловлено технологическими процессами, принятыми на данном предприятии. Поэтому поверхностные сточные воды обязательно должны подвергаться очистке.

Для сбора дождевых вод с целью их последующей очистки используются различные накопительные емкости (пруды-отстойники, накопители и т. д.). Определение объема накопителей – одна из основных задач, решаемых при выборе очистных сооружений. Поэтому данная работа является достаточно актуальной.

Накопители обычно рассчитываются на задержание стоков от заданной повторяемости [1]. Повторяемость дождей также, как и суточного слоя осадков, характеризуется периодом однократного превышения P интенсивности дождя (или суточного слоя осадков). Задавшись некоторым значением P (1 год, 2 года, полгода), можно при расчете получить такой объем накопителя, который один раз в P лет будет переполняться, и часть стока будет сброшена в водоем без очистки. Поэтому вопрос о выборе величины P (то есть о частоте возможного сброса в водоем неочищенного стока), помимо соответствия нормам СНиП [2], должен быть также предварительно согласован с местными органами защиты окружающей среды.

Объем суточного стока с некоторой территории может быть определен по формуле:

$$W_{\text{сут.дис}} = 10 \cdot H_p \cdot \sum F_i \cdot \psi_{\text{сут.}i} \quad (1)$$

где H_p – слой осадков мм/сутки при принятом значении P [3] (табл. 1);

ψ_i – суточный коэффициент стока в зависимости от покрытия поверхности территории, с которой собирается поверхностный сток (непроницаемые покрытия, газоны, незамощенные и незадернованные поверхности);

F_i – площадь части территории, с которой собирается поверхностный сток.

Суточный коэффициент стока рекомендуется определять по формуле [4]:

$$\psi_{\text{сут}} = (1 - \sqrt{H_0 / H_p})^2, \quad (2)$$

где H_0 – слой начальных потерь, определяемых по таблице, приведенной в работе [5], в зависимости от характера поверхности и климатических условий. В первом приближении H_0 можно определять по табл. 2 [3].

Объем накопителя можно определять также и по полному стоку от дождя заданной интенсивности. Весь объем стока $W_{\text{дж}}$ от одного дождя в данной работе рекомендуется определять по формуле [2]:

$$W_{\text{дж}} = 0,06 \cdot q \cdot t_{\text{дж}} \cdot F \cdot \psi_{\text{сп}}, \quad (3)$$

где $q = q(t)$ – средняя интенсивность дождя за время t (л/(с·га));

$t_{\text{дж}}$ – продолжительность дождя, мин;

F – площадь территории водосборного бассейна, га;

$\psi_{\text{сп}} = F_i \cdot \psi_i / F$, где ψ_i – коэффициент дождевого стока, который зависит от вида покрытия и может не совпадать с $\psi_{\text{сут.}i}$.

Формула (3) следует из известных зависимостей для определения расхода (а не объема) от дождевого стока [2] с использованием в качестве t значения $t_{дж}$ – полной продолжительности дождя, которая может достигать нескольких часов [3].

Известен ряд зависимостей [1, 2, 3, 4] для определения средней интенсивности дождя к некоторому моменту времени t от начала дождя. Наибольшее распространение получила степенная зависимость:

$$q = A / t^n, \text{ л/(с·га)}, \tag{4}$$

где t – время от начала дождя до рассматриваемого момента в минутах;

A – параметр, зависящий от климатических условий и частоты выпадения дождя данной или большей интенсивности в течение года [2] (табл. 4).

В работе [5] указано, что зависимость справедлива при $t \geq 10$ мин. Там же приводится значение понижающих коэффициентов при $t = 9; 8; 7; 6; 5$ мин.

Чтобы устранить особенность в точке $t = 0$ ($\lim q = \infty$ при $t \rightarrow 0$) и приблизить значения q при $t < 10$ к тем, которые могут быть получены по формуле (1) с учетом понижающих коэффициентов, мы рекомендуем при $t < 10$ пользоваться зависимостью:

$$q = A / [a \cdot (1 - 0,1 \cdot t) + t]^n. \tag{5}$$

Значения a , соответствующие различным n , приведены ниже:

n	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
a	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

Величина A определяется по формуле [2]:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \cdot (1 + \lg \beta / \lg w)^y, \tag{6}$$

где q_{20} – интенсивность дождя двадцатиминутной продолжительности, $\text{дм}^3/\text{с}$ на 1 га для данной местности.

Описание и значения остальных параметров, входящих в формулу (6), можно найти в [2].

Коэффициент стока ψ_i рекомендуется определять по формуле [2, 3]:

$$\psi_i = A^{0,2} \cdot z_i / t^{0,2n-0,1}, \tag{7}$$

где z_i – коэффициент, характеризующий поверхность (твердое покрытие, газон, незадернованная поверхность и пр.).

С учетом выражений для величины q (4) и для коэффициента стока (7) зависимость (3) для полного стока для одного дождя принимает вид:

$$W_{дж} = (0,06 \cdot A^{1,2} \cdot t_{дж}^{0,1-1,2n}) \cdot t_{дж} \cdot \sum z_i \cdot F_i = 0,06 \cdot A^{1,2} \cdot t_{дж}^{1,1-1,2n} \cdot \sum z_i \cdot F_i, \text{ м}^3. \tag{8}$$

В формуле (8) выражение в скобках – это средняя интенсивность дождя за 1 мин, а произведение этого выражения на $t_{дж}$ – общий объем дождя, выпавшего на единицу площади.

Однако объем накопителя для задержания полного стока от дождя может быть весьма значительным, и в ряде случаев целесообразно предусматривать накопитель, рассчитанный на задержание только наиболее загрязненной части стока. Как отмечается в работе [5], максимальная загрязненность стока по времени примерно совпадает с максимальным расходом. Поэтому необходимо по методу предельных интенсивностей [2] найти момент времени T_m , соответствующий максимальному расходу Q_m дождевого стока, а затем, задавшись несколько бóльшим временем (например, $T' = T_m + 5$ мин), определить объем стока, который за это время пройдет через точку 0 (точка выхода общего коллектора дождевой канализации с территории предприятия (рис. 1)) и площадь участка, соответствующего этому времени.

Чаще всего T_m – это время добега воды от самой удаленной от 0 точки водосборного бассейна (обозначим его через T_{max}). Это, например, будет иметь место для водосборных бассейнов, конфигурация которых представлена на рис. 1 (на рис. 1а в качестве такой наиболее удаленной точки принята точка А). Но иногда оказывается, что $T_{max} > T_m$. Это может случиться, если ширина водосборного бассейна резко уменьшается с удалением от точки 0, либо вблизи точки 0 расположены участки бассейна с наиболее высоким (по сравнению с остальной территорией) коэффициентом стока. Такие случаи, как сравнительно редкие, в данной работе не рассматриваются.

Пусть L – расстояние между точкой 0 и наиболее удаленной от нее точкой водосборного бассейна А, причем L примерно равно длине коллектора, соединяющего эти точки.

Если взять элемент площади ΔF_L , находящийся на расстоянии L от точки 0 (точка А), то к моменту $T' = T_m + 5$ через точку 0 пройдет объем воды ΔW_L , выпавший на площадку ΔF_L в течение 5 минут после начала дождя (с учетом коэффициента стока выделенного элементарного участка z):

$$\Delta W_L = 0,06 \cdot q \cdot 5 \cdot q^{0,2} \cdot 5^{0,1} \cdot z \cdot \Delta F_L, \tag{9}$$

где 5 мин – это время, отсчитываемое от начала дождя; q – средняя интенсивность за период 5 мин от начала дождя;

$q^{0,2} \cdot 5^{0,1} \cdot z$ – коэффициент стока для данного выделенного элементарного участка.



Допустим теперь, что выделенный элементарный объем площади ΔF_i находится на расстоянии l от точки A ; тогда к моменту T' через точку O пройдет объем, выпавший на эту площадку за время

$$t = 5 + 0,017 \cdot (l / v_t) \quad (10)$$

Этот объем составит:

$$\Delta W_i = (0,06 \cdot q^{1,2} \cdot t^{0,1} \cdot z_i \cdot \Delta F_i) \cdot t = 0,06 \cdot q^{1,2} \cdot t^{1,1} \cdot z_i \cdot \Delta F_i,$$

где t определяется по формуле (10).

Общий объем стока, выпавший за время $0,017 \cdot (L / v_t) + 5$, равен:

$$W = \int_0^L 0,06 \cdot q^{1,2} \cdot t^{1,1} \cdot z \cdot dF, \quad (11)$$

где $q = q [t (l)]$, а $dF = b \cdot dl$, причем ширина участка b также зависит от l (площадка находится на расстоянии l от точки A , или $(L - l)$ от точки O).

Рассмотрим некоторые простейшие случаи:

1. Водосборный бассейн представляет собой участок территории в виде полосы, расположенный вдоль коллектора дождевой канализации (рис. 1а); причем ширина участка b (в направлении, перпендикулярном коллектору) намного меньше длины участка L и постоянна вдоль всего участка, а коэффициент z также можно принять постоянным на рассматриваемой территории. Тогда:

$$W = 10^{-4} \cdot \int_0^L 0,06 \cdot q^{1,2} \cdot t^{1,1} \cdot z \cdot b \cdot dl. \quad (12)$$

Множитель 10^{-4} введен в связи с тем, что F и dF в предыдущих формулах изменяются в га, а b и dl – в м.

Однако необходимо учесть, что при $t \geq 10$ мин. q определяется по формуле (4), а при $t < 10$ – по формуле (5). Следовательно, интеграл (12) необходимо представить в

виде суммы двух интегралов (при этом q можно выразить через A и t , а постоянные величины вынести за знак интеграла).

$$W = 6 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,2} \cdot b z \int_0^{L_1} \frac{(5 + 0,017 \cdot l / v_t)^{1,1} dl}{\left\{ a \left[1 + 0,9 \cdot (5 + 0,017 \cdot l / v_t) \right] + (5 + 0,017 \cdot l / v_t) \right\}^{1,2 \cdot n} + \int_{L_1}^L (5 + 0,021 \cdot l / v_t)^{1,1 - 1,2 \cdot n} dl}, \quad (13)$$

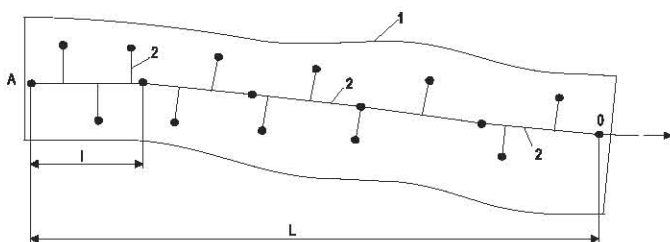
причем L_1 необходимо принять таким, чтобы выполнялось равенство: $0,017 \cdot (L_1 / v_t) = 5$; то есть $L_1 \approx 300 v_t$.

Величину v_t – скорость воды в трубопроводах ливневой канализации на начальных участках сети (то есть в первом интеграле в правой части) можно принимать 1,0–1,2 м/с.

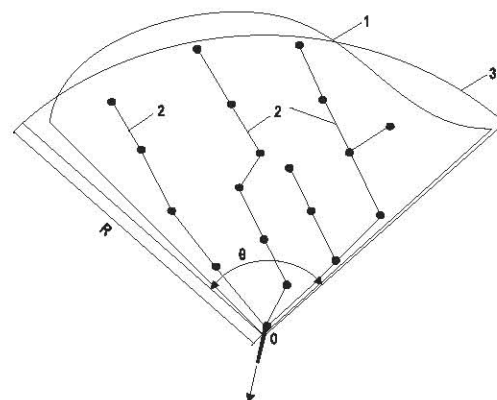
Значения первого интеграла при изменении v_t в пределах 0,8–1,4 м/с и различных величинах n (и соответствующих им a , приведенных выше) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения первого интеграла при различных скоростях воды в трубопроводах ливневой канализации

v	N					
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
0,80	470,483	415,661	367,907	326,274	289,948	258,230
0,85	499,888	441,640	390,901	346,666	308,070	274,369
0,90	529,293	467,619	413,896	367,058	326,191	290,508
0,95	558,698	493,598	436,890	387,450	344,313	306,648
1,00	588,103	519,577	459,884	407,842	362,435	322,787
1,05	617,509	545,556	482,878	428,234	380,557	338,926
1,10	646,914	571,535	505,872	448,627	398,678	355,066
1,15	676,319	597,513	528,867	469,019	416,800	371,205
1,20	705,724	623,492	551,861	489,411	434,922	387,344
1,25	735,129	649,471	574,855	509,803	453,044	403,484
1,30	764,534	675,450	597,849	530,195	471,165	419,623
1,40	823,345	727,408	643,838	570,979	507,409	451,902



а)



б)

Рис.1. Схемы участков водосборного бассейна (в плане):

а) ленточный; б) в виде сектора

1 – граница участка; 2 – сеть ливневой канализации; 3 – условная граница участка в виде сектора

Расчет выполнил М. Примак
С учетом этого:

$$W = 6 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,2} \cdot bz \cdot \left\{ I_1 + \frac{v_T}{0,017 \cdot (2,1 - 1,2 \cdot n)} \cdot \left[(5 + 0,017 \cdot L / v_T)^{2,1-1,2 \cdot n} - (5 + 0,017 \cdot L_1 / v_T)^{2,1-1,2 \cdot n} \right] \right\}, \quad (14)$$

где I_1 – значение первого интеграла по табл. 1 в зависимости от v_T и n .

Выражение (14) дает больший объем стока, чем известные зависимости [3, 5], то есть приводит к необходимости принять больший объем накопителя.

2. Участок водосборного бассейна a , соответствующий максимальному расходу, имеет в плане начертание, позволяющее рассматривать его как сектор круга радиуса R с центральным углом θ ; в вершине угла находится точка O (рис. 16). Угол θ принимается в радианах.

Тогда выражение для объема стоков можно представить в виде суммы двух интегралов:

$$W = 6 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,2} \cdot bz \int_0^{L_1} \frac{(5 + 0,017 \cdot l / v_T)^{1,1} dl}{\left\{ a \left[1 - 0,1 \cdot (5 + 0,017 \cdot l / v_T) \right] + (5 + 0,017 \cdot l / v_T) \right\}^{1,2 \cdot n}} + 6 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,2} \cdot z \int_{L_1}^L (5 + 0,017 \cdot l / v_T)^{1,1-1,2 \cdot n} \cdot \theta \cdot rdr, \quad (15)$$

где $l = L - r$, а $\theta \cdot rdr$ – элементарный участок площади, расположенный вдоль дуги радиуса r . В первом интеграле можно принять $b = \theta \cdot (L + L_1) / 2$ и определить его по аналогии с первым интегралом формулы (13). Второй интеграл в формуле (15) определяется известными приемами и равен:

$$I_2 = \frac{v_T}{0,017 \cdot (2,1 - 1,2 \cdot n)} \cdot \left[\frac{v_T \cdot (5 + 0,017 \cdot L / v_T)^{3,1-1,2 \cdot n} - (5 + 0,017 \cdot L_1 / v_T)^{3,1-1,2 \cdot n}}{0,017 \cdot 3,1 - 1,2 \cdot n} - (L - L_1) \cdot (5 + 0,017 \cdot L_1 / v_T)^{2,1-1,2 \cdot n} \right]. \quad (16)$$

Таким образом:

$$W = 6 \cdot 10^{-6} \cdot A^{1,2} \cdot z \cdot \left[\frac{\theta \cdot (L + L_1)}{2} \cdot I_1 + I_2 \right]. \quad (17)$$

Итак, получены зависимости для вычисления объема наиболее загрязненной части стока для простых случаев, когда участок водосборного бассейна имеет в плане вид полосы или сектора. Для участков иной конфигурации можно использовать приведенные выше соображения с учетом конкретных особенностей каждого участка. Полученные выражения более сложные, чем приведенные в литературе [5], однако при выводе их было учтено то обстоятельство, что в начальной стадии дождя интенсивность его q описывается зависимостью более точной, чем $q = At^n$. Также принимается во внимание, что коэффициент стока ψ растет с увеличением q и t . Это обуславливает более высокую точность определения необходимого объема накопителя при расчете его по формулам (14) и (15).

ВЫВОДЫ

Получены формулы для определения объема накопителя дождевых вод, рассчитанного на прием наиболее загрязненной части стока. При выводе этих зависимостей принято уточненное выражение для интенсивности дождя, а также учтена прямая связь между коэффициентом стока и интенсивностью дождя и временем. В связи с этим полученные расчетные зависимости являются более точными, чем известные, и их рекомендуется использовать при проектировании прудов-накопителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. – М.: ВНИИВОДГЕО, ВНИИВО, 1983. – 46 с.
2. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 72 с.
3. Отведение и очистка поверхностных сточных вод /В. С. Диканевский, А. М. Курганов, А. Г. Нечаев, М. И. Алексеев – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
4. Курганов А. М. Таблицы параметров предельной интенсивности дождя для определения расходов в системах водоотведения. – М.: Стройиздат, 1984. – 111 с.
5. Молоков М. В., Шифрин В. М. Очистка поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 164 с.



Поступила в редакцию 10.08.05

Теоретичним шляхом отримані більш точні залежності для визначення об'єму накопичувача дощових вод, призначеного для прийняття найбільш забрудненої частини стоку. При цьому врахований прямий зв'язок між коефіцієнтом стоку, інтенсивністю дощу і часом. Розглянуті можливі випадки розрахунку для різних конфігурацій водозбірного басейну. Наведені залежності рекомендується використовувати під час

проекування накопичувачів для збору поверхневих стічних вод на території промислових підприємств. More exact dependences for determining a volume of a store of rain waters designed for reception of the most polluted part of a drain were obtained in a theoretical way. Thus the direct connection between the factor of a drain, intensity of a rain and time was taken into account. Calculations for various configurations of a catchment area were considered. The resulted dependences can be used at designing of stores for effluents from the territory of enterprises.