

УДК 628.334

Жук В.М., канд. техн. наук, Павлишин В.Г.

ЗМІНА ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ БЛОЧНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД ПРИ ВІДСУТНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ

Анотація. В статті проаналізовано зміну гідравлічного режиму роботи блочних очисних споруд поверхневих стічних вод (ОСПСВ) з байпасним трубопроводом при відсутності спеціальних пристроїв для регулювання витрати дощового стоку. Розроблено математичну модель для дослідження нерівномірності надходження поверхневих стічних вод на ОСПСВ. Отримано залежності коефіцієнта нерівномірності витрати k від витрати притоку дощових стічних вод при різних значеннях діаметра байпасного трубопроводу d_{bp} , а також залежність коефіцієнта k від безрозмірної витрати притоку Q'_{en} при оптимальному значенні діаметра байпасної лінії.

Ключові слова: очисні споруди поверхневих стічних вод, байпасний трубопровід, коефіцієнт нерівномірності витрати, регулятор витрати.

Аннотация. В статье проанализированы изменения гидравлического режима работы блочных очистных сооружений поверхностных сточных вод (ОСПСВ) с байпасным трубопроводом при отсутствии специальных устройств для регулирования расхода дождевого стока. Разработана математическая модель для исследования неравномерности поступления поверхностных сточных вод на ОСПСВ. Получены зависимости коэффициента неравномерности расхода k от расхода притока дождевых сточных вод при различных значениях диаметра байпасного трубопровода d_{bp} , а также зависимость коэффициента k от безразмерного расхода притока Q'_{en} при оптимальном значении диаметра байпасной линии.

Ключевые слова: очистные сооружения поверхностных сточных вод, байпасный трубопровод, коэффициент неравномерности расхода, регулятор расхода.

Annotation. The paper presents the analysis of the changes in hydraulic regime of the block-type stormwater treatment plant (SWTP) with a bypass line and without special devices, controlling the stormwater discharge. A mathematical model for the investigation of stormwater discharge irregularity is proposed. The dependences of the discharge irregularity coefficient k from the stormwater inflow discharge for various values of the bypass line diameter d_{bp} , as well as the dependence of the coefficient k versus the dimensionless inflow discharge Q'_{en} for the optimal value of bypass line diameter, are obtained.

Key words: stormwater treatment plant, bypass line, discharge irregularity coefficient, discharge regulator.

Постановка проблеми. Очисні споруди поверхневих стічних вод (ОСПСВ) є важливим елементом системи водовідведення. Надійність роботи цих споруд у першу чергу залежить від режиму надходження дощових стічних вод. Відомо, що гідрографи притоку дощових стічних вод характеризується значною нерівномірністю в часі, що впливає на гідравлічний режим роботи очисних споруд. При відсутності специфічних забруднень у поверхневому стоці в склад блочних очисних споруд входять такі основні елементи: вхідний колодязь, блок очисних модулів (пісковловлювач, тонкошаровий і коалесцентний модулі, сорбційний фільтр) та контрольний колодязь. Важливою задачею є стабілізація витрати стічних вод, що надходять на ОСПСВ, при різких змінах витрати притоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні десятиліття відзначаються підвищеним інтересом до розвитку технологій очищення поверхневого стоку. Вітчизняні та закордонні дослідники все більше уваги звертають на пошук нових матеріалів і технологій, які забезпечували б інтенсифікацію процесів очищення на ОСПСВ та надійність їх роботи. Вагомий внесок у дослідження питань, пов'язаних з очищенням поверхневого стоку з урбанізованих територій зробили Алексеев М.И., Баланда В.Ю., Гриднева М.А., Дикаревский В.С., Иванов В.Г., Касаткин А.В., Курганов А.М., Молоков М.В., Нечаев А.П., Тихомирова О.П., Шифрін В.Н. та ін. [1–7].

На практиці сьогодні найчастіше влаштовують ОСПСВ блочного типу без доочищення на сорбційних фільтрах та без додаткових пристроїв для

регулювання витрати (рис. 1). Очевидно, що різке збільшення витрати притоку при випаданні дощів великої інтенсивності призводить до зростання рівня води у вхідному колодязі КК-1. Тому, незважаючи на значно менший гідравлічний опір байпасного трубопроводу, можливе зростання об'ємної витрати поверхневого стоку, який надходить на блочні ОСПСВ. Це призводить до перевантаження та переповнення очисних споруд, зменшення ефективності очищення, загрожує збуренням раніше затриманих забруднень та виносом їх у відвідний трубопровід.

Метою роботи є аналіз зміни гідравлічного режиму роботи блочних ОСПСВ з байпасним трубопроводом при відсутності спеціальних пристроїв для регулювання витрати дощового стоку.

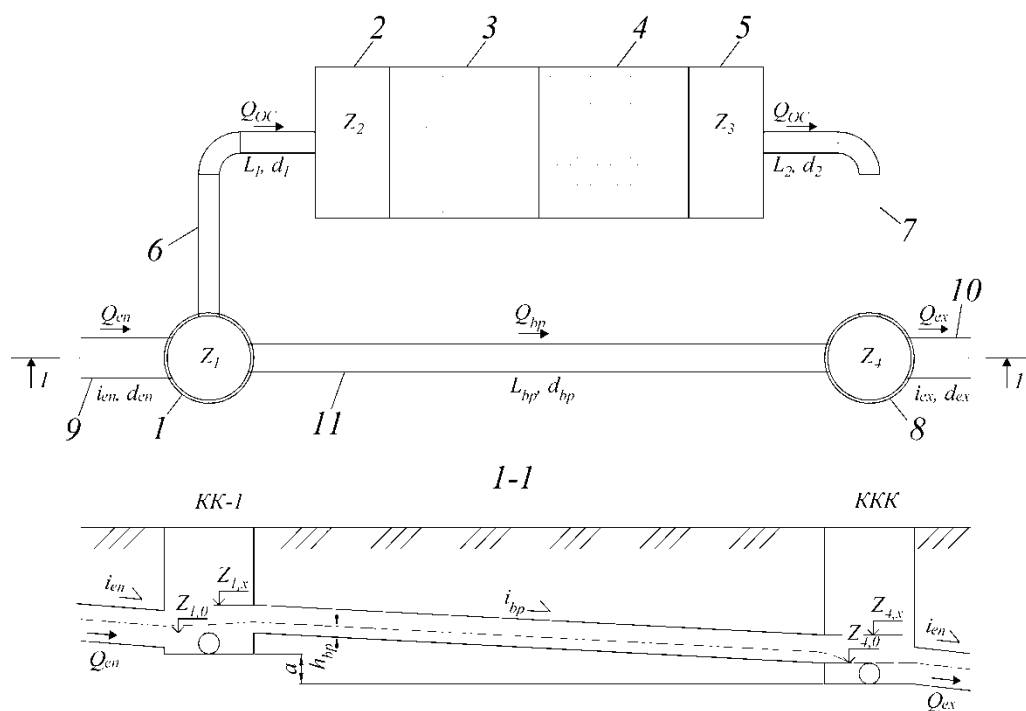


Рисунок 1 – Розрахункова схема блочних ОСПСВ з байпасним трубопроводом: 1 – вхідний колодязь; 2 – пісковловлювач; 3 – блок тонкошарових відстійників; 4 – блок коалесцентного очищення; 5 – вихідне відділення; 6, 10 – підвідний та відвідний трубопроводи блоку ОСПСВ; 7 – трубопровід після ОСПСВ; 8 – контрольний колодязь; 9, 10 – підвідний та відвідний трубопроводи мережі дощового водовідведення; 11 – байпасний трубопровід

В блочних ОСПСВ, представлених на рис. 1, поверхневий стік спочатку потрапляє у вхідний колодязь 1, у якому на різних відмітках влаштовані підвідний трубопровід до блочних ОСПСВ 6 та байпасний трубопровід 11, призначений для згладжування пікових витрат поверхневого стоку. По

трубопроводу 6 поверхневі стічні води надходять до блочних ОСПСВ, які складаються з таких елементів: вхідного відділення, яке виконує функцію пісковловлювача для затримання тяжких мінеральних забруднень; блоку тонкошарових модулів, де затримуються завислі речовини; блоку коалесцентних модулів, призначених для затримання нафтопродуктів; вихідного відділення, з якого очищений стік відводиться в контрольний колодязь 8. Перепад відміток а між вхідним 1 та контрольним 8 колодязями визначається втратами напору в ОСПСВ, підвідному і відвідному трубопроводі. Перепад відміток а пов'язаний з номінальною продуктивністю ОСПСВ Q_{OC} наступною залежністю:

$$a = (Z_{1,0} - Z_{4,0}) = (S_1 + S_2 + S_{OC})Q_{OC}^2, \quad (1)$$

де $Z_{1,0}$, $Z_{4,0}$ – відмітки шелиги підвідного і відвідного трубопроводів ОСПСВ відповідно у вхідному колодязі КК-1 та контрольному колодязі ККК; S_1 , S_2 , S_{OC} – гідравлічний опір відповідно підвідного, відвідного трубопроводу та блочних ОСПСВ.

Номінальна витрата ОСПСВ згідно з діючим нормативним документом [8] визначається за формулою:

$$Q_{OC} = K_{OC}Q_r, \quad (2)$$

де Q_r – розрахункова витрата дощового стоку перед вхідним колодязем; K_{OC} – коефіцієнт, що визначає, яку частину від розрахункової витрати дощового стоку необхідно подати на очисні споруди.

Коефіцієнт K_{OC} залежить в загальному випадку від кліматичних умов, від періоду одноразового перевищення інтенсивності випадання дощу P , на який розрахована водовідвідна мережа, та від періоду $P_{оч}$, на який розраховані очисні споруди; згідно [8] приймають $P_{оч}=0,05-0,1$ року.

Для трубопроводів гідравлічний опір визначається за формулою:

$$S_i = \left(\frac{8(\lambda L/d^5 + \sum \zeta/d^4)}{\pi^2 g} \right), \quad (3)$$

де L , d , λ , $\sum \zeta$ – відповідно довжина, внутрішній діаметр, коефіцієнт гідравлічного тертя та сума коефіцієнтів місцевих опорів трубопроводу. Як

правило, діаметри підвідного і відвідного трубопроводів приймають однаковими ($d_1=d_2=d$).

Аналіз втрат напору всередині блочних ОСПСВ показує, що в них переважають місцеві втрати напору (за винятком схем з доочищенням стоку на сорбційних фільтрах), що дозволяє при $Re > 10^4$ визначати гідравлічний опір ОСПСВ за аналогічною формулою:

$$S_{oc} = \frac{\sum \zeta_{oc}}{\pi^2 g d^4}, \quad (4)$$

де $\sum \zeta_{oc}$ – сумарний коефіцієнт місцевого опору ОСПСВ, приведений до діаметра відвідного трубопроводу.

Для збільшення пропускної здатності байпасного трубопроводу його доцільно прокладати з максимально можливим похилом. Це відповідає такому висотному розташуванню байпаса, при якому відмітки його лотків на початку та в кінці дорівнюють відповідним відміткам шелиги підвідного та відвідного трубопроводів (рис. 1). Знаючи перепад a , можна визначити похил байпасного трубопроводу i_{bp} :

$$i_{bp} = \frac{a}{L_{bp}}, \quad (5)$$

де L_{bp} – довжина байпасного трубопроводу.

При незначній інтенсивності випадання дощу весь поверхневий стік з витратою Q_{en} , який потрапляє у вхідний колодязь 1, надходить на очищення в блочні ОСПСВ. При значенні притоку $Q_{en}=Q_{oc}$, позначка $Z_1=Z_{1,0}$, $Z_4=Z_{4,0}$ і трубопроводи 6 і 7 починають працювати повним перерізом, а витрата по трубопроводу байпасу все ще відсутня: $Q_{bp}=0$.

При витраті притоку $Q_{en} > Q_{oc}$ рівень води у вхідному колодязі зростає ($Z_1 > Z_{1,0}$) і трубопровід байпасу 11 працює в безнапірному режимі (1 етап). Глибину наповнення байпасного трубопроводу за умови рівномірного руху можна прийняти рівною:

$$h_{bp} = (Z_1 - Z_{1,0}). \quad (6)$$

При зростанні рівня води у вхідному колодязі до відмітки $Z_{1,x}$ починається напірний режим течії в байпасному трубопроводі. Запишемо рівність втрат напору на паралельних лініях у цей момент часу:

$$(Z_{1,x} - Z_{4,x}) = (S_1 + S_2 + S_{OC})Q_{оч,x}^2 = S_{bp} \cdot Q_{bp,x}^2, \quad (7)$$

де $Q_{оч,x}$, $Q_{bp,x}$ – об’ємна витрата рідини відповідно крізь ОСПСВ та в байпасному трубопроводі на початку напірного режиму; $Z_{1,x}$, $Z_{4,x}$ – рівень води відповідно у вхідному та контрольному колодязях на початку напірного режиму течії води в байпасному трубопроводі; $Z_{1,x} = (Z_{1,0} + d_{bp})$; S_{bp} – гідравлічний опір байпасного трубопроводу, визначається за формулою (3).

З рівняння (7):

$$Q_{bp,x} = Q_{оч,x} \cdot \sqrt{\frac{S_1 + S_2 + S_{OC}}{S_{bp}}}. \quad (8)$$

Позначимо відношення гідравлічних опорів на паралельних ділянках ОСПСВ через A :

$$(S_1 + S_2 + S_{OC}) / S_{bp} = A. \quad (9)$$

Витрата притоку на початку напірного режиму роботи байпасного трубопроводу дорівнює $Q_{ен,x}$. З рівняння матеріального балансу:

$$Q_{ен,x} = (Q_{оч,x} + Q_{bp,x}) = Q_{оч,x} (1 + \sqrt{A}),$$

звідки

$$Q_{оч,x} = \frac{Q_r}{1 + \sqrt{A}}; \quad (10)$$

$$Q_{bp,x} = \frac{Q_r \sqrt{A}}{1 + \sqrt{A}}. \quad (11)$$

При безнапірному режимі руху в байпасному трубопроводі, при $Q_{OC} < Q_{ен} < Q_r$, витрату Q_{bp} можна знайти, використовуючи рівняння Шезі для безнапірного потоку. У випадку визначення коефіцієнта Шезі за формулою Маннінга об’ємна витрата байпасного потоку на першому етапі:

$$Q_{bp} = C_{bp} \cdot \omega_{bp} \cdot \sqrt{R_{bp} \cdot i_{bp}} = \frac{1}{n} \cdot R_{bp}^{\frac{2}{3}} \cdot \omega_{bp} \cdot \sqrt{i_{bp}}, \quad (12)$$

де C_{bp} – коефіцієнт Шезі; ω_{bp} – площа живого перерізу; R_{bp} – гідравлічний радіус потоку; n – коефіцієнт шорсткості байпасного трубопроводу.

При напірному русі поверхневих стічних вод у байпасному трубопроводі (2 етап), тобто при $Z_1 > Z_{1,x}$:

$$(Z_1 - Z_4) = (S_1 + S_2 + S_{oc}) Q_{oc}^2 = S_{bp} \cdot Q_{bp}^2, \quad (13)$$

де Q_{oc} , Q_{bp} – об'ємна витрата рідини, яка в деякий момент часу t проходить відповідно через очисні споруди та байпасний трубопровід.

Тоді витрата дощового стоку, що надходить на ОСПСВ на другому етапі:

$$Q_{oc} = \frac{Q_{en}}{1 + \sqrt{A}}. \quad (14)$$

Використовуючи залежності (1–14) та застосовуючи чисельні методи, виконано типовий гідравлічний розрахунок блочних ОСПСВ, влаштованих згідно схеми, представленої на рис. 1, при різній об'ємній витраті притоку Q_{en} . Розрахункова витрата дощових стічних вод прийнята рівною $Q_f = 50$ л/с (при періоді $P = 1$ рік). При значенні коефіцієнта $K_{oc} = 0,2$ необхідна номінальна продуктивність ОСПСВ складає $Q_{oc} = 10$ л/с.

При розрахунках прийнято наступні геометричні параметри ОСПСВ:

- байпасний трубопровід: $L_{bp} = 6,76$ м; $d_{bp} = 150, 160, 170, 180, 190, 200$ мм;
- підвідний трубопровід до ОСПСВ: $L_1 = 3$ м; $d_1 = 126,6$ мм;
- відвідний трубопровід після ОСПСВ: $L_2 = 3$ м; $d_2 = 126,6$ мм;
- ОСПСВ: загальна довжина $L = 4,76$ м.

Аналіз показує, що при збільшенні витрати притоку понад $Q_{en,x}$ має місце досить швидке зростання витрати рідини, що надходить в ОСПСВ. За основний показник, який характеризує нерівномірність гідравлічного навантаження на ОСПСВ, прийнято коефіцієнт нерівномірності витрати k :

$$k = Q_{oc} / Q_{oc} \cdot \quad (15)$$

На рис. 2 представлено залежності коефіцієнта нерівномірності k для ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с та $K_{OC}=0,2$ від безрозмірної витрати Q'_{en} у вхідному колодязі:

$$Q'_{en} = Q_{en} / Q_r. \quad (16)$$

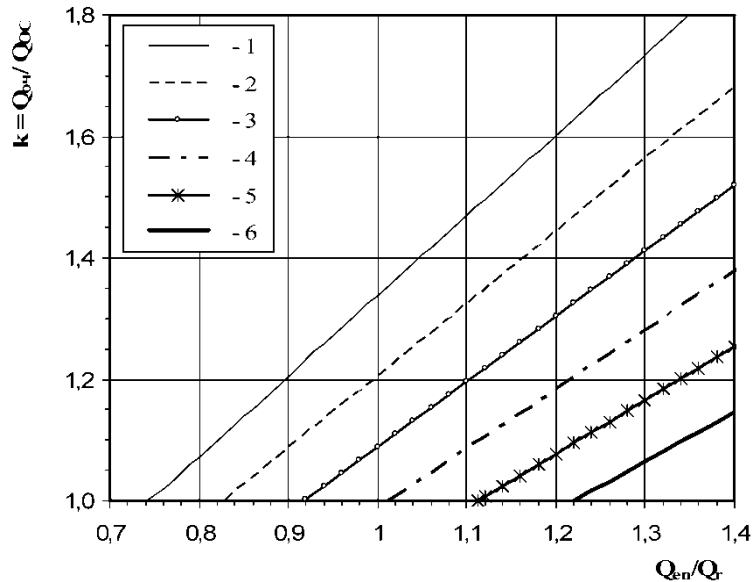


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнта нерівномірності надходження дощового стоку на ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с від співвідношення Q_{en}/Q_r при різних значеннях діаметра байпасного трубопроводу d_{bp} : 1 – 150 мм; 2 – 160 мм; 3 – 170 мм; 4 – 180 мм; 5 – 190 мм; 6 – 200 мм

Як видно з рис. 2, нерівномірність надходження дощових стічних вод на ОСПСВ істотно залежить від діаметра байпасного трубопроводу. Для розглянутого типорозміру ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с та без сорбційного фільтра при діаметрах байпасного трубопроводу $d_{bp}=150$ – 170 мм вже при значеннях притоку, менших за розрахункове значення Q_r має місце напірний режим рідини в байпасному трубопроводі та досить значний коефіцієнт нерівномірності k . Наприклад, при $Q_{en}=Q_r=50$ л/с та діаметрі байпасної лінії $d_{bp}=150$ мм має місце зростання витрати через ОСПСВ на 33,7% вище за номінальну витрату, при $d_{bp}=160$ мм перевищення номінальної продуктивності складає 20,5%, а при $d_{bp}=170$ мм – 8,9%. Оптимальним для розглянутих ОСПСВ є байпасний трубопровід з внутрішнім діаметром $d_{bp}=180$ мм, для якого початок напірного режиму має місце при $Q_{en}=Q_r$.

З іншого боку, зростання витрати притоку понад Q_r спричиняє суттєве перевантаження ОСПСВ у випадку відсутності регулятора витрати. Наприклад,

при випаданні дощу з $P=2$ роки витрата притоку згідно з нормативним документом [9] становить:

$$Q_{en} = Q_{r,P=2} = Q_r \cdot (1 + \lg P / \lg m_p)^\gamma = 50 \cdot (1 + \lg 2 / \lg 110)^{1,54} = 61,8 \text{ л/с},$$

де m_p , γ – кліматичні коефіцієнти; для рівнинних областей України згідно з [1] $m_p=110$; $\gamma=1,54$. Безрозмірна витрата притоку у цьому випадку: $Q'_{en}=1,236$.

У таблиці наведено значення коефіцієнта нерівномірності витрати k залежно від періоду одноразового перевищення інтенсивності дощу P для розглянутих вище ОСПСВ при оптимальному для них значенні діаметра байпаса $d_{bp}=180$ мм.

Таблиця 1 -Залежність коефіцієнта нерівномірності находження стічних вод на блочні ОСПСВ без регулятора витрати від значення періоду P ($Q_r=50$ л/с; $Q_{oc}=10$ л/с; $d_{bp}=180$ мм)

P , роки	1	1,5	2	3	4	5	10
$Q_{r,P}$, л/с	50	56,79	61,80	69,09	74,44	78,69	92,39
Q'_{en}	1	1,136	1,236	1,382	1,489	1,574	1,848
k	1	1,121	1,218	1,361	1,465	1,548	1,815

Аналіз результатів, представлених у табл., показує що для розглянутих ОСПСВ коефіцієнт нерівномірності витрати k пов'язаний з безрозмірною витратою притоку Q'_{en} лінійною залежністю:

$$k = 0,985Q'_{en}, \quad (17)$$

що добре узгоджується з теоретичним розв'язком $k=Q'_{en}$, який має місце при автотельності гідравлічних опорів всіх ділянок та за умови початку напірного режиму роботи байпаса при витраті притоку $Q_{en}=Q_r$.

Висновок

У роботі проаналізовано зміну гідравлічного режиму роботи блочних очисних споруд поверхневих стічних вод з байпасним трубопроводом при відсутності пристроїв для регулювання витрати дощового стоку. Отримано, що при відсутності регулятора витрати вже при незначному перевищенні

інтенсивності дощу над розрахунковою інтенсивністю, що відповідає значенню $P=1$ рік, надходження дощового стоку на ОСПСВ характеризується суттєвою нерівномірністю. Для стабілізації витрати стічних вод на ОСПСВ у широкому діапазоні вхідних витрат доцільно використовувати спеціальні регулятори витрати.

Література

1. Молоков М. В. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок / М. В. Молоков, В. Н. Шифрин. — М.: Стройиздат, 1977. — 104 с.
2. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. — 224 с.
3. Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.04 / Иванов В.Г. — СПб., 1998. — 304 с.
4. Баланда В. Ю. Оптимизация локальной очистки поверхностного стока предприятий железнодорожного транспорта: дис. канд. тех. наук: 05.23.04 / Баланда Виталий Юрьевич. — СПб., 2004. — 166 с.
5. Касаткин А. В. Разработка метода очистки поверхностного стока с проезжей части автомобильных дорог: дис. канд. тех. наук: 05.23.11, 05.23.04 / Касаткин Андрей Валерьевич. — М., 2007. — 157 с.
6. Гриднева М.А. Совершенствование отведения и очистки поверхностных сточных вод урбанизированных территорий: дис. канд. тех. наук: 05.23.04 / Гриднева Марина Александровна. — Самара, 2002. — 202 с.
7. Тихомирова О.П. Блочные установки для очистки сточных вод предприятий железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. Серия "Строительство. Проектирование" / О. П. Тихомирова. — Л ЦНИИТЭИ МПС, 1996. — Вып. 2. — С. 1–21.
8. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. — М.: ВНИИ "ВОДГЕО" Госстроя СССР, 1982. — 50 с.
9. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 72 с.