

УДК 626/627

4.3.1. Технологии, машины и оборудования для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ПРИНЦИПЫ ПОДХОДА К РАСЧЕТУ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО ВОДОСЛИВА ПРИ ОСНАЩЕНИИ ЕГО СОВРЕМЕННЫМ ПРИБОРОМ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ**

Чураев Александр Анатольевич  
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 8361-0430  
churaev75@mail.ru  
*Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия*

Юченко Любовь Васильевна  
научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 6239-8960  
oamsrosniipm@yandex.ru  
*Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия*

Шепелев Александр Евгеньевич  
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 8732-0086  
oamsrosniipm@yandex.ru  
*Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия*

В статье предлагается рассчитать трапецеидальный водослив с тонкой стенкой и оснастить его современным измерительным прибором. В качестве расходомерных сооружений на открытом канале предложены: водосливы, насадки, приставки и др. Определение расхода воды с помощью гидрометрических сооружений и устройств, предлагается косвенным способом измерения на основе метода «скорость-площадь». При расчете использовались принципы расчета высотного положения и определения основных размеров трапецеидального водослива с перспективой его оснащения современным прибором (гидростатическим уровнемером) работающим совместно с автономным блоком дистанционного контроля. В результате расчета определена ширина водослива ( $b = 2,15$  м) с боковой стенкой ( $tg\alpha = 0,25$ ). Проверено прохождение через водослив заданного максимального расхода ( $Q_{\max} = 2,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Проверены обязательные соотношения между параметрами –  $0,1b \leq H_{\max} \leq b/3$  и  $b \leq B - 2H_{\max}$ . Построен график зависимости удельного расхода воды, протекающей через трапецеидальный водослив на 1 м его ширины, и

UDC 626/627

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**PRINCIPLES OF THE APPROACH TO THE CALCULATION OF THE MAIN PARAMETERS OF A TRAPEZOIDAL SPILLWAY WHEN EQUIPPING IT WITH A MODERN LEVEL MEASUREMENT DEVICE**

Churaev Aleksander Anatolyevich  
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher  
RSCI SPIN-code: 8361-0430  
churaev75@mail.ru  
*Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation*

Yuchenko Lyubov Vasilyevna  
Research Associate  
RSCI SPIN-code: 6239-8960  
oamsrosniipm@yandex.ru  
*Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation*

Shepelev Aleksander Evgenyevich  
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher  
RSCI SPIN-code: 8732-0086  
oamsrosniipm@yandex.ru  
*Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation*

The article proposes to calculate a trapezoidal spillway with a thin wall and equip it with a modern measuring device. As flow-measuring structures on an open channel, the following are proposed: weirs, hydrometric trays, nozzles, prefixes and existing hydraulic structures. To determine water flow using hydrometric structures and devices, an indirect measurement method based on the «velocity-area» method is proposed. The calculation used the principles of calculating the altitude position and determining the main dimensions of the trapezoidal spillway with the prospect of equipping it with a modern device (hydrostatic level gauge) working in conjunction with an autonomous remote control unit. As a result of the calculation, the width of the spillway ( $b = 2,15$  m) with a side wall ( $tg\alpha = 0,25$ ) was determined. The passage through the spillway for a given maximum flow rate ( $Q_{\max} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) was checked. The mandatory relations between the parameters –  $0,1b \leq H_{\max} \leq b/3$  and  $b \leq B - 2H_{\max}$  - have been checked. A graph of the dependence of the specific flow rate of water flowing through a trapezoidal spillway on 1 m of its width is constructed, and a polynomial function is proposed to

предложена полиномиальная функция для определения удельного расхода водослива с расходом до  $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сделаны выводы, что определение расхода воды в открытом канале целесообразно проводить с помощью конструкций гидрометрических сооружений, которые могут быть модернизированы современными измерительными приборами уровня. В результате подобран трапецидальный водослив с тонкой стенкой, отвечающий заданным условиям и предложено его оснащение современным уровнемерным устройством с датчиком давления жидкости. Оперативная передача данных (уровня воды) на расстояние должна значительно сократить время на процесс определения объема поданной или сброшенной воды на канале. Предложенный принцип подхода к расчету трапецидального водослива с тонкой стенкой и определение размера его водопропускного отверстия может быть использован проектными и эксплуатационными организациями

Ключевые слова: ОТКРЫТЫЙ КАНАЛ, ТРАПЕЦИДАЛЬНЫЙ ВОДОСЛИВ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ПРИБОР ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ, ДАТЧИК УРОВНЯ, ГРАДУИРОВОЧНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

determine the specific flow rate of a spillway with a flow rate of up to  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . It is concluded that it is advisable to determine the flow of water in an open channel using hydrometric structures that can be upgraded with modern level measuring devices. As a result, a trapezoidal spillway with a thin wall was selected that meets the specified conditions and its equipment with a modern level-measuring device with a liquid pressure sensor was proposed. Operational transmission of data (water level) over a distance should significantly reduce the time for the process of determining the volume of supplied or discharged water on the channel. The proposed principle of the approach to the calculation of a trapezoidal spillway with a thin wall and the determination of the size of its culvert can be used by design and operational organizations

Keywords: OPEN CHANNEL, TRAPEZOIDAL SPILLWAY, CALCULATION OF PARAMETERS, LEVEL MEASURING DEVICE, LEVEL SENSOR, CALIBRATION DEPENDENCE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-192-013>

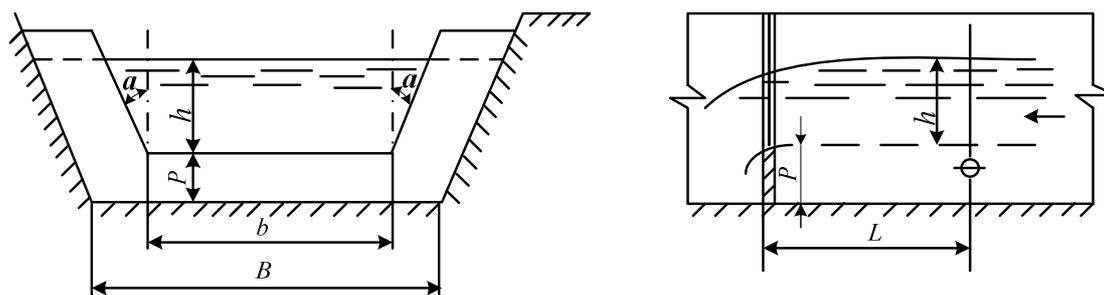
**Введение.** Действующее законодательство в области использования водных ресурсов определяет правовые основы водоучета, которые относятся и к обеспечению точности и достоверности учета расхода оросительной воды на мелиоративных системах. Поэтому в настоящее время все больше внимания уделяется совершенствованию пунктов водоучета на мелиоративных системах сельскохозяйственных земель. Поставленные задачи можно решить созданием пунктов водоучета, состоящих из узлов водораспределения, в состав которых могут входить различные типы гидрометрических сооружений, оснащенных современными техническими средствами. Выбранные средства измерения должны отвечать техническим условиям на данные средства измерений. Современные технические возможности позволяют производить модернизацию приборов водоучета для более прозрачного и быстрого учета воды на напряженных участках мелио-

ративных систем и организовывать дистанционную передачу данных учета водных ресурсов.

**Материалы и методы.** В практической гидрометрии для определения расхода воды в открытых потоках применяются в основном косвенные измерения при помощи метода «скорость-площадь». Используемый метод дает возможность устанавливать зависимость измеряемого параметра от изменения расхода жидкости для каждого типа гидрометрического сооружения [1].

**Результаты и обсуждение.** Цель данной работы: рассчитать основные параметры трапецеидального водослива с тонкой стенкой (без порога) для измерения расхода воды в открытом канале и предусмотреть его оснащение современным измерительным прибором. Расход через трапецеидальный водослив при отсутствии подтопления определяется высотой слоя воды (напором) на гребне водослива. Условия установления водослива и его использование в гидрометрических целях содержатся в МИ 2406-97 [2].

На рисунке 1 показана схема общего вида трапецеидального водослива с тонкой стенкой.



$B$  – ширина дна канала, м;  $b$  – ширина дна водослива, м;  
 $L$  – длина водослива по дну до трубы, соединяющей с успокоительным устройством, м;  
 $h$  – напор над гребнем водосливной стенки, м;  $P$  – высота водосливной стенки, м;  
 $\alpha$  – угол наклона боковых стенок водослива

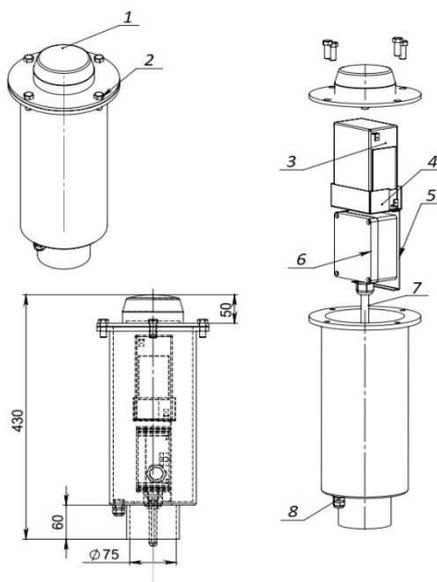
Рисунок 1 – Схема общего вида трапецеидального водослива с тонкой стенкой

В оснащение водослива современным измерительным прибором будет входить: гидростатический уровнемер (датчик давления с преобразовательным элементом) и автономный блок дистанционного контроля, состоящий из контроллера-модема, аккумуляторной батареи, антенны. На рисунке 2 показан гидростатический уровнемер (датчик давления с преобразовательным элементом).



Рисунок 2 – Гидростатический уровнемер (датчик давления с преобразовательным элементом)

На рисунке 3 показан автономный блок дистанционного контроля в антивандальном исполнении.



1 – антенна; 2 – болт М10; 3 – аккумуляторная батарея; 4, 5 – шасси;  
6 – контроллер-модем; 7 – кабель уровнемера; 8 – кабельный ввод  
Рисунок 3 – Блок дистанционного контроля в антивандальном исполнении

Конструкция работает следующим образом. Гидростатический датчик давления, расположенный на дне колодца, передает сигнал в блок дистанционного контроля, который при помощи специальной программы,

определяет уровень воды над дном водослива в канале за заданный период и передает данные посредством GSM связи на диспетчерский пункт.

Где определяется объем или расход воды по градуировочной кривой или расчетной градуировочной таблице. Определение градуировочной характеристики проводится по утвержденной методике (МИ 1759-87[3]).

Использование автономного блока дистанционного контроля с датчиком давления жидкости дает возможность автоматизировать процесс измерения уровня воды (напора) в трапецеидальном водосливе и передаче данных на диспетчерский пункт.

Блок дистанционного контроля можно разместить в колодце, соединенным с подводящим каналом трубопроводом. Диаметр трубопровода должен удовлетворять условия формулы (1):

$$d \leq 0,01\sqrt{A_{\omega \min}}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода, соединяющий подводящий канал с колодцем, м,

$A_{\omega \min}$  – минимальная площадь сечения подводящего канала,  $\text{м}^2$ .

Положительные стороны такой конструкции – быстрый отсчет объема расхода проходящей оросительной воды и автономность блока контроля, не зависящего от электрификации участка мелиоративной системы, его герметичность и вандалоустойчивое исполнение. Быстрый и безопасный демонтаж на зимнее хранение.

Для расчета по форме исследуемого оросительного канала выбираем трапецеидальный водослив с тонкой стенкой. Определяем его высотное положение и размеры. Для расчета берем основные параметры исследуемого оросительного канала: максимальный расход ( $Q$ ) – 2,1  $\text{м}^3/\text{с}$ ; ширина дна канала ( $B$ ) – 3,5 м; коэффициент заложения откоса ( $m$ ) – 0,25; отметка дна в створе сооружения ( $\nabla_{\text{дна}}$ ) – 60,0 м; отметка наивысшего уровня воды

( $\nabla_{yp}$ ) – 60,8 м; отметка наивысшего подпорного уровня ( $\nabla_{НПУ}$ ) в верхнем бьефе – 61,6 м. На основании заданных величин устанавливаем, что максимальному уровню канала (0,8 м) соответствует площадь сечения потока [4]:

$$\omega = (B + mH)H = (3,5 + 0,25 \times 0,8)0,8 = 2,96 \text{ м}^2 \quad (2)$$

где  $\omega$  – площадь сечения потока,  $\text{м}^2$ ,

$B$  – ширина канала по дну, м,

$m$  – коэффициент заложения откоса,

$H$  – максимальная глубина воды в канале, м.

Расчет высотного положения водослива и его параметров производят по значениям максимального расхода. Вначале необходимо установить значение числа Фруда для створа сооружения, что определяет возможности использования водослива с тонкой стенкой по критерию турбулентности потока. Формула числа Фруда имеет вид:

$$Fr = Q / (\omega \sqrt{gH}) = 2,1 / (2,96 \sqrt{9,81 \times 0,8}) = 0,25 < Fr, \quad (3)$$

где  $Q$  – максимальный расход,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$\omega$  – площадь поперечного сечения канала,  $\text{м}^2$ ,

$g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ,

$H$  – максимальная глубина воды в канале, м.

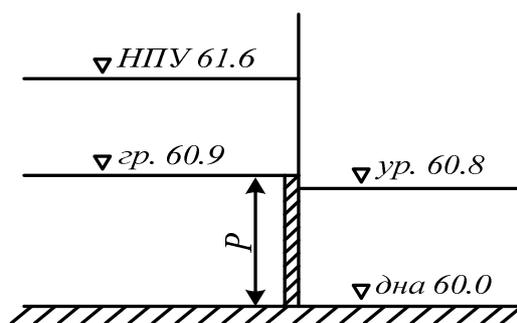
Полученное число Фруда, равное 0,25, не противоречит использования водослива с тонкой стенкой на заданном канале. Теперь нужно определить размеры водослива, чтобы напор на его гребне не превышал разность отметок уровней, как показано на рисунке 4, (61,6 м – 60,9 м = 0,7 м). Величина 0,7 м показывает, что напор на гребне не должен превышать эту величину. Для гарантии успеха в расчете возьмем величину немного меньше – 0,65 м ( $H_{\max}$ ). По таблице 4 приложения 1 [4] находим, что напору 0,65 м соответствует 0,975  $\text{м}^3/\text{с}$  удельного расхода воды, протека-

ющего через трапециевидальный водослив, на его 1 м ширины. Для пропуска максимального расхода ширина выреза водослива по дну должна быть:

$$b = Q_{\max} / 0,975 = 2,15 \text{ м}, \quad (4)$$

где  $b$  – ширина выреза водослива по дну, м,

$Q_{\max}$  – максимальный расход в канале, м<sup>3</sup>/с.



$P$  – высота водосливной стенки;  $\nabla$ НПУ – отметка наивысшего подпорного уровня в верхнем бьефе;  $\nabla$ гр. – отметка гребня водосливной стенки;  $\nabla$ ур. – отметка наивысшего уровня воды;  $\nabla$ дна – средняя отметка дна в створе сооружения.

Рисунок 4 – Схема уровней

Необходимо проверить соотношения между параметрами, которые для данного водослива должны быть такими [2]:

$$0,1b \leq H_{\max} \leq b/3, \quad (5)$$

по нашим расчетам:  $0,1 \times 2,15 \leq 0,65 \leq 2,15/3$ , т. е.  $0,215 \leq 0,65 \leq 0,72$ ;

$$b \leq B - 2H_{\max}, \quad (6)$$

или:  $2,15 \leq 3,5 - 2 \times 0,65$      $2,15 \leq 3,5 - 1,3$      $2,15 \leq 2,2$ ;

$$P \geq 0,3 \text{ м или } P = 0,9 \text{ м} > 0,3.$$

Все условия выполнены для подбора водослива с тонкой стенкой.

При оснащении водослива современным измерительным прибором, место измерения напора над гребнем водослива должно находиться в верхнем бьефе на расстоянии не меньше чем  $3H_{\max}$  [2] от водосливной стенки, т. е. по нашим расчетам не меньше 1,95 м.

В дальнейшем при подборе трапециевидальных водосликов с тонкой стенкой может возникнуть проблема с расходами воды в канале до 5,0 м<sup>3</sup>/с

и более. Расчету препятствует отсутствие графика зависимости для определения удельного расхода на 1 м ширины водослива.

По известному нормативу [2] расход трапецеидального водослива с тонкой стенкой можно определить:

$$Q = C_D C_f [b + 0,8(tq\alpha)h] \sqrt{2gh}^{3/2}, \quad (7)$$

где  $C_D$  – коэффициент расхода без учета постоянного числового множителя и скорости подхода,

$C_f$  – коэффициент формы поперечного сечения русла, который можно рассчитать –  $C_f = \frac{b+h}{b+0,25h}$ ,

$b$  – ширина водослива по дну, м,

$tq\alpha$  – величина измерения откоса трапецеидального водослива с тонкой стенкой,

$h$  – напор над гребнем водослива, м.

Расчетная формула расхода для трапецеидального водослива с боковой стенкой с  $tq\alpha = 0,25$  равна [2]:

$$Q = 1,86bh^{3/2}, \quad (8)$$

Если обе части формулы (8) разделим на ширину водослива  $b$ , то получим формулу для определения удельного расхода ( $q$ ) на 1 м ширины водослива:

$$\frac{Q}{b} = \frac{1,86bh^{3/2}}{b} \text{ или } q = 1,86h^{3/2}. \quad (9)$$

Диапазон применения формулы (9) составляет при напоре над гребнем от 0,05 до 1,0 м и рекомендуется автором [4].

Для больших диапазонов значений напора над гребнем водослива от 1 м до 1,22 м авторами данной статьи рекомендуется применять зависимость, полученную в результате применения полиномиальной функции

при обработке результатов построения зависимости, используемой в формуле (9), которая изображена на рисунке 5.

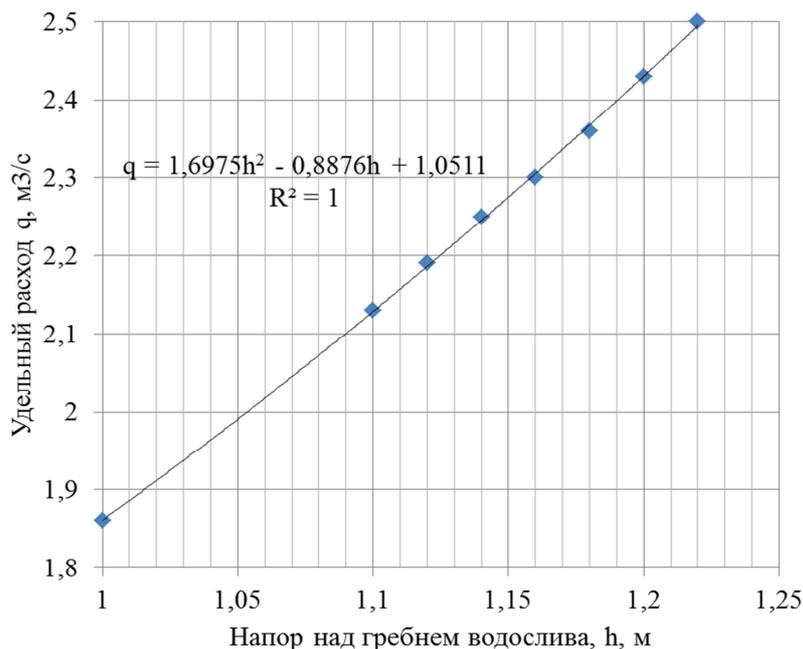


Рисунок 5 – Зависимость удельного расхода воды на 1 м ширины водослива

Предлагаемая формула полиномиальной зависимости устанавливает зависимость величины удельного расхода воды, проходящего через 1 м ширины трапецеидального водослива с тонкой стенкой с откосом боковой стенки ( $tq\alpha = 0,25$ ) от напора над гребнем водослива. Формула имеет следующий вид:

$$q = 1,6975 \cdot h^2 - 0,8876 \cdot h + 1,0511, \quad (10)$$

где  $q$  – величина удельного расхода воды, м<sup>3</sup>/с,

$h$  – величина напора над гребнем водослива, м.

Формула (10) для указанного диапазона отвечает требованиям точности, так как величина аппроксимации составляет –  $R^2 = 1$ .

**Выводы.** Опыт эксплуатации гидромелиоративных систем показал, что оптимальным решением для организации водоучета и водоизмерения на открытом канале, является сочетание гидрометрического сооружения и современного прибора измерения уровня.

Принцип подхода к расчету основных параметров конструкции трапецеидального водослива и оснащение его прибором водоучета включает:

- определение высотного положения водослива (по максимальному расходу в канале);
- определение параметров водослива и соответствия критерию турбулентности потока воды (по числу Фруда);
- проверку выполнения соотношений между параметрами рассчитанного водослива по действующей методике (МИ 2406-97);
- определение места измерения (расстояния) напора над гребнем водослива при оснащении его измерительным прибором.

В результате проведенного расчета подобран трапецеидальный водослив с тонкой стенкой, отвечающий всем заданным условиям (при расходе воды в канале  $Q_{\max} = 2,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ), определено место измерения напора над гребнем для средства водоучета (не менее 1,95 м от водосливной стенки водослива) и теоретически рассчитан график зависимости  $q = f(h)$  (при определении удельного расхода воды на 1 м ширины водослива (при  $Q_{\max} = 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ )).

#### Список источников

1. Филиппов, Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков /Е. Г. Филиппов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288 с.
2. Расход жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков: МИ 2406-97: утв. Всерос. науч.-исслед. ин-том расходомерии (ВНИИР): введ. в действие с 15.05.97. – М.: ВНИИР, 1997. 33 с.
3. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь»: МИ 1759-87: утв. приказом ФГУП ВНИИФ № 8от 11.06.86: введ. в действие с 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 21 с.
4. Субботин А. С. Гидрометрические сооружения: учеб. пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 256 с.

### References

1. Filippov, E. G. Gidravlika gidrometriceskih sooruzhenij dlja otkrytyh potokov / E. G. Filippov. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. 288 s.
2. Rashod zhidkosti v beznapornyh kanalah sistem vodosnabzhenija i kanaliza-cii. Metodika vypolnenija izmerenij pri pomoshhi standartnyh vodoslivov i lotkov: MI 2406-97: utv. Vseros. nauch.-issled. in-tom rashodometrii (VNIIR): vved. v dejstvie s 15.05.97. – M.: VNIIR, 1997. 33 s.
3. Gosudarstvennaja sistema obespechenija edinstva izmerenij. Rashod vody na rekah i kanalah. Metodika vypolnenija izmerenij metodom «skorost' – ploshhad'»: MI 1759-87: utv. prikazom FGUP VNIIF № 8ot 11.06.86: vved. v dejstvie s 01.01.88. M.: Izd-vo standartov, 1987. 21 s.
4. Subbotin A. S. Gidrometriceskie sooruzhenija: ucheb. posobie. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 256 s.